

การประยุกต์ใช้เทคนิค PLSR และ GLM เพื่อพยากรณ์สัดส่วน
ด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าว จากข้อมูล NIRS

APPLICATION OF PLSR AND GLM TECHNIQUES FOR PREDICTING THE
PROPORTION OF RICE WEEVIL IN RICE SAMPLES FROM NIRS SPECTRUM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-EN-M-100-189

การประยุกต์ใช้เทคนิค PLSR และ GLM เพื่อพยากรณ์สัดส่วน

ด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าว จากข้อมูล NIRS

APPLICATION OF PLSR AND GLM TECHNIQUES FOR PREDICTING THE
PROPORTION OF RICE WEEVIL IN RICE SAMPLES FROM NIRS SPECTRUM



วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ KMITL-2014-EN-M-100-189 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF PLSR AND GLM TECHNIQUES FOR PREDICTING THE
PROPORTION OF RICE WEEVIL IN RICE SAMPLES FROM NIRS SPECTRUM



SORNNARIN TOONTHAISONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

KMITL-2014-EN-M-100-189

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

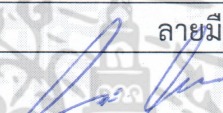




FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้เทคนิค PLSR และ GLM เพื่อพยากรณ์สัดส่วนด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าวจากข้อมูล NIRS
Thesis Title Application of PLSR and GLM Techniques for Predicting the Proportion of Rice Weevil in Rice Samples from NIRS Spectrum
นักศึกษา นายศรณรินทร์ ทูนไธสง
รหัสประจำตัว 54612202
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2014-EN-M-100-189

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ทรงวุฒิ	แสงจันทร์	
ดร.วสุ	อุดมเพทายกุล	
ผศ.ดร.ศจี	สุวรรณศรี	
ดร.จิราพร	ศรีวิญญ์วิวัฒน์ชัย จงยิ่งเจริญ	
ผศ.ดร.ประสันท์	ชุ่มใจหาญ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2557 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ฉบับนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2557

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้เทคนิค PLSR และ GLM เพื่อพยากรณ์สัดส่วนด้วงงวงข้าว
ในตัวอย่างข้าว จากข้อมูล NIRS
นักศึกษา นายศรณรินทร์ พูนไธสง
รหัสประจำตัว 54612202
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ. 2557
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

บทคัดย่อ

ด้วงงวงข้าว (มอด) เป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของธัญพืชที่ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของข้าว การวิเคราะห์สัดส่วนของด้วงงวงข้าวจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดโอกาสการเกิดการสูญเสียที่ตามมาดังกล่าว การวิเคราะห์นี้ประยุกต์การใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ร่วมกับวิธีการ Partial least squares, PLSR และวิธีการ General Linear Model, GLM เพื่อประเมินสัดส่วนของด้วงงวงข้าวที่ปนอยู่ในข้าวตัวอย่างเป็นวิธีการที่เป็นนวัตกรรมของการตรวจสอบโดยใช้เครื่อง NIRs การทดลองนี้ใช้ตัวอย่างข้าวเปลือก, ข้าวกล้อง และข้าวขาว ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ ด้วงงวงข้าวที่เลี้ยงไว้เป็นตัวอย่างในการทดลอง จากการทดลองพบว่าการใช้เทคนิค ด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้ Near-infrared spectroscopy ด้วยเครื่อง FQA NIR Gun ยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร เมื่อสร้างสมการทำนายค่าด้วยวิธี PLS โดยเลือกวิธี Multiplicative Scatter Correction (MSC) : แบบ Full MSC เหมาะสำหรับการทำนายด้วงงวงข้าวที่ปนในข้าวเปลือกซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.818 และส่วนการหาค่าของปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวกล้องและข้าวสารที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2nd Derivative จะให้ค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงเหมาะกับการนำไปวิจัยเท่ากับ 0.943 และ 0.823 ตามลำดับ สำหรับการคำนวณวิธีการ GLM พบว่าสามารถทำนายได้ดีสำหรับตัวอย่างข้าวสาร ซึ่งความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ใช้ในการคำนวณคือที่ 726.419 nm และ 900.193 nm ซึ่งคือความยาวคลื่นที่เป็นเอกลักษณ์ของด้วงงวงข้าวและข้าวสาร โดย raw spectrum ดังกล่าวได้ถูกจัดการเบื้องต้นด้วยวิธี Range Normalization สัดส่วนที่ได้จากการคำนวณสอดคล้องกับสัดส่วนเชิงพื้นที่ภาพถ่ายของด้วงงวงข้าว ต่อ ข้าวสาร และการทำนายให้ค่า R^2 และค่า RMSE เท่ากับ 0.8959 และ 0.0722 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Application of PLSR and GLM Techniques for Predicting the Proportion of Rice Weevil in Rice Samples from NIRs Spectrum.
Student	Mr. Sornnarin Toonthaisong
Student ID	54612202
Degree	Master of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Asst.Prof. Dr. Prasan Choomjaihan

ABSTRACT

Rice Weevil is one of the most important infesting insect which can cause the quality reduction of rice kernel. The rice weevil proportion analysis has become an important task for decreasing the chance of losses. The combination evaluating technique between the NIR spectroscopy technique for measuring and the applying Linear algebra for analyzing is one of the innovative non-destructive inspecting procedures for evaluating the proportion of rice weevil in rice sample. The Khao Dok Mali 105 rice variety (paddy, brown rice and milled rice) and feed rice weevil were used as a raw material in this experiment. The FQA-NIR Gun in range of 600-110nm was used as a tool for measuring. The results showed that the PLS technique with Full MSC pre-treatment technique was suited for predicting the amount of rice weevil in paddy with R^2 of 0.818, and with 2nd derivative pre-treatment technique was suited for predicting the amount of rice weevil in brown rice and milled rice with R^2 of 0.943 and 0.823 respectively. For solving the General Linear Model (GLM), it can evaluate well with the amount of rice weevil on the milled with the pre-treated raw spectrum by Range Normalization technique. The calculation were matched with the proportion of projected area of the rice weevil versus milled rice. The prediction provided R^2 and RMSE of 0.8959 and 0.0722 respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ และอาจารย์ที่ให้ความรู้ และชี้แนะคือ รศ .ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา อีกทั้งความรู้ที่เกี่ยวกับงานวิจัย ตลอดจนงานวิจัยแล้วเสร็จ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรม เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ใน ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ช่วยเหลือทำการทดลอง และให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา และผู้มีพระคุณ ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ศรณรินทร์ ทุนไรสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 แผนการดำเนินการ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ความรู้ทั่วไปของข้าว.....	7
2.1.1 ชีวิตวิทยาของข้าว.....	7
2.1.2 องค์ประกอบทางกายภาพของต้นข้าว.....	8
2.1.3 องค์ประกอบทางกายภาพของเมล็ดข้าว.....	11
2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2 ความรู้ทั่วไปของดั่งวงงข้าว.....	16
2.2.1 รูปร่างลักษณะและชีวประวัติ.....	16
2.2.2 ลักษณะการทำลาย.....	17
2.2.3 การแพร่กระจายและช่วงฤดูกาลระบาด.....	18
2.2.4 อาหารของดั่งวงงข้าว.....	18
2.2.5 การป้องกันกำจัด.....	19
2.3 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (NIR Spectroscopy).....	21
2.4 หลักการพื้นฐานของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy.....	22
2.5 การเลือกวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น (Selecting the Data Preprocessing Model Method).....	24
2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR.....	27
2.6.1 ขั้นตอนการทำ Calibration.....	27
2.6.2 ขั้นตอนการทำ Validation.....	30
2.6.2.1. Full cross validation.....	30
2.6.2.2 การทดสอบผลการประเมิน (Prediction testing).....	30
2.7 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของโมเดล.....	31
2.7.1 Mean (ค่าเฉลี่ย).....	31
2.7.2 Standard deviation (SD).....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.7.3 Bias (ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และข้อมูลที่อ้างอิง)	31
2.7.4 สัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination, R^2)	32
2.7.5 Root mean square error of estimation (RMSEE)	33
2.7.6 Root mean square of the prediction (RMSEP)	34
2.7.7 Ratio of SEP to the SD (RPD)	34
2.8 ระบบสมการเชิงเส้น (system of linear equations)	37
2.8.1 สมการเชิงเส้นสองตัวแปร (Linear equation with two variable)	37
2.8.2 กราฟสมการเชิงเส้นสองตัวแปรกราฟของสมการเชิงเส้นสองตัวแปร	37
2.8.3 ระบบสมการเชิงเส้นสองตัวแปร (system of linear equation with two variable)	37
2.8.4 การประมาณค่าโดยวิธี General Linear Model (GLM)	38
2.9 ประโยชน์ของการใช้เทคนิค NIR	39
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	44
3.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวและดั่งวงงข้าว	44
3.1.1 การเตรียมตัวอย่างข้าว	44
3.1.2 การเตรียมตัวอย่างดั่งวงงข้าว	45
3.2 การวัดตรวจวัดค่าสเปกตรัมโดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN	46
3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	47
3.3 การประเมินผลค่าสัญญาณที่ได้รับจากเครื่อง FQA NIR GUN และ การวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม.....	48
3.4 การคำนวณหาสัดส่วนของดั่งงวงข้าวในตัวอย่างข้าวโดยวิธีการแก้สมการเชิงเส้น (General Linear Model, GLM).....	48
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	50
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าว และดั่งงวงข้าว.....	50
4.2 ผลการวัดค่าสัญญาณโดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN แบบ Raw Spectrum.....	51
4.3 ผลการสร้างสมการทำนายปริมาณดั่งงวงข้าวในข้าวเปลือก, ข้าวกล้อง และข้าวสารด้วยวิธี Partial Least Square (PLS).....	55
4.4 การคำนวณหาสัดส่วนของดั่งงวงข้าวในตัวอย่างข้าวโดยวิธีการแก้สมการเชิงเส้น (General Linear Model, GLM).....	64
4.4.1 สัดส่วนทางกายภาพต่างๆของการเจือปนของดั่งงวงข้าวในตัวอย่างข้าว.....	64
4.4.2 ผลการคัดเลือกช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของดั่งงวงข้าวในตัวอย่างข้าว.....	66
4.4.3 ผลการคำนวณหาสัดส่วนดั่งงวงข้าวในตัวอย่างข้าว.....	70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	76
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	76
5.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม.....	76
5.1.2 ผลการสร้างสมการทำนายด้วยวิธี Partial least square (PLS).....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1.3 ผลจากการคำนวณหาสัดส่วนระหว่างดั่งวงข้าวและข้าวโดยวิธีการแก้สมการเชิงเส้น (General Linear Model, GLM).....	77
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	78
เอกสารอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	84
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวและดั่งวงข้าว.....	85
ภาคผนวก ข. ข้อมูลจากการทดลอง.....	90
ภาคผนวก ค. การคำนวณหาสัดส่วนของดั่งวงข้าวในตัวอย่างข้าวโดยวิธีการแก้สมการเชิงเส้น (General Linear Model, GLM).....	105
ภาคผนวก ง. ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่.....	108
ประวัติผู้เขียน.....	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแปลความหมายของค่า R^2	33
2.2 ค่าทางสถิติ RPD.....	35
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าว และด้วงงวงข้าว.....	50
4.2 การกำหนดประเภทการสันสะเทือนของพันธุ์ต่างๆของแถบการดูดซับคลื่นที่มีค่าสูงของสเปกตรัม ตัวอย่างชนิดต่างๆ.....	54
4.3 ผลการสร้างสมการและการทำนายปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวเปลือกด้วยวิธี PLS.....	56
4.4 ผลการสร้างสมการและการทำนายปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวกล้องด้วยวิธี PLS.....	58
4.5 ผลการสร้างสมการและการทำนายปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวสารด้วยวิธี PLS.....	61
4.6 การคำนวณสัดส่วนเชิงต่างๆของด้วงงวงข้าวและตัวอย่างข้าว (ต่อหนึ่งหน่วย).....	65
4.7 สัดส่วนทางกายภาพต่างๆของการเจือปนของด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าวจำนวน 1 หน่วย.....	66
4.8 ค่าการดูดซับคลื่น NIR ของด้วงงวงข้าว และข้าวสาร ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัม ด้วยวิธีต่างๆ.....	71
4.9 ค่าการดูดซับคลื่น NIR ของตัวอย่างข้าวที่เจือปนด้วยด้วงงวงข้าวที่ระดับการเจือปนต่างๆ ที่ความยาวคลื่น ต่างๆ ที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่างๆ.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนผังการดำเนินการทดลอง.....	4
1.2 แผนผังการดำเนินการทดลองการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมวิธีการ PLSR.....	5
1.3 แผนผังการดำเนินการทดลองการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมวิธีการ GLM.....	6
2.1 องค์ประกอบทางกายภาพของต้นข้าว	8
2.2 ลำต้น (haulm หรือ culm).....	9
2.3 ช่อดอกและดอกข้าว.....	10
2.4 ดอกข้าว.....	10
2.5 องค์ประกอบทางกายภาพของเมล็ดข้าว.....	11
2.6 โครงสร้างของอะไมโลส.....	13
2.7 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน.....	13
2.8 ตัวงวงข้าว <i>Sitophilus oryzae</i> L.....	17
2.9 ลักษณะการทำลายของตัวงวงข้าว <i>Sitophilus oryzae</i> L.....	18
2.10 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ.....	22
2.11 NIR สเปกตรัมของมือคน; วัตแบบการสะท้อนแบบแพร่.....	25
3.1 ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการทดสอบคือข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และ ข้าวสาร.....	45
3.2 ตัวอย่างตัวงวงข้าวที่ใช้ตลอดการทดลอง.....	46
3.3 เครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร.....	46
3.4 การสแกนข้าวด้วย FQA NIR GUN.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ความแตกต่างระหว่างของสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับสอง ของข้าวเปลือก และด้วงวงข้าว	51
4.2 ความแตกต่างระหว่างของสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับสอง ของข้าวกล้อง และด้วงวงข้าว.....	52
4.3 ความแตกต่างระหว่างของสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับสอง ของข้าวสาร และด้วงวงข้าว	53
4.4 สเปกตรัมเฉลี่ยของด้วงวงข้าวโดยการสแกนด้วย FQA-NIR Gun Spectrometer.....	53
4.5 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณด้วงวงข้าวในข้าวเปลือกที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี Multiplicative Scatter Correction (MSC) : แบบ Full MSC.....	57
4.6 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณด้วงวงข้าวในข้าวกล้องที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2 nd Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2 (Calibration set).....	59
4.7 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณด้วงวงข้าวในข้าวสารที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2 nd Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2 (Prediction set).....	60
4.8 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณด้วงวงข้าวในข้าวสารที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2 nd Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2 (Calibration set).....	62
4.9 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณด้วงวงข้าวในข้าวสารที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2 nd Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2 (Prediction set).....	63
4.10 การปรับแต่งสเปกตรัมแบบอนุพันธ์อันดับ 2 ของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร และด้วงวงข้าว	67
4.11 สเปกตรัมตั้งต้น (Raw Spectrum) ของการเจือปนด้วงวงข้าว จำนวน 25 50 100 150 และ 200 ตัว ในตัวอย่างข้าวเปลือก (ซ้าย) ข้าวกล้อง (กลาง) และข้าวสาร (ขวา).....	68
4.12 ตัวอย่างการปรับแต่งสเปกตรัมตั้งต้นของตัวอย่างข้าวเปลือก (ซ้าย), ข้าวกล้อง (กลาง) และข้าวสาร (ขวา) ที่มีระดับการเจือปนของด้วงวงข้าวแตกต่างกัน	69

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 การปรับแต่งสเปคตรัมตั้งต้นของตัวอย่างข่าวสารที่ระดับการเจือปนของด้วงวงข่าวแตกต่างกัน ด้วยวิธี Minimum-MSC, Minimum Normalization, Mean Normalization, Max Normalization, Range Normalization และ SNV.....	70
4.14 สัดส่วนของด้วงวงข่าวต่อข่าวสารที่ผ่านการคำนวณด้วยวิธีการแก้สมการเชิงเส้น (Range Normalization).....	73



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

NIRS	Near Infrared Spectroscopy
MSC	Multiplicative Scatter Correction
PCA	Principle Components Analysis
PCR	Principle Components Regression
PLS	Partial Least Squares
MLR	Multiple linear regression
r	Coefficient of correlation
R ²	Coefficient of determination
PC	Principle Component
RMSEE	Root Mean Square Error of Estimation
SD	Standard Deviation
SEP	Standard error of prediction
SEC	Standard error of calibration
RPD	Ratio of the SD to SEP of prediction set
RER	Ratio of the SEP to the range of prediction set
nm	Nanometer
°C	Degree Celsius
GLM	General Linear Model

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าว (*Oryza sativa*) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอันดับหนึ่งในแถบทวีปเอเชีย ก่อนการจำหน่าย บริโภค หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เมล็ดข้าวที่ผ่านการเก็บเกี่ยว ชัดสี และขัดขาวจะถูกเก็บไว้ในโรงเก็บ ซึ่งพบว่ามีแมลงหลายชนิดเข้ามาทำลายเมล็ดข้าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้วงวงข้าว (rice weevil : *Sitophilus oryzae* L.) ซึ่งจะทำลายทั้งข้าวเปลือกและข้าวสาร [1] โดยที่ตัวเมียจะใช้ปากเจาะเข้าไปในเมล็ดข้าวเพื่อทำการวางไข่ หลังจากนั้นตัวอ่อนก็จะกัดกินและเจริญเติบโตภายในเมล็ดข้าว เมื่อโตเต็มที่ก็จะเจาะเมล็ดข้าวออกมาเป็นตัวแก่ จึงส่งผลให้เมล็ดข้าวเป็นรูและข้างในเป็นโพรง ใช้ประโยชน์ไม่ได้ แมลงชนิดนี้มีการระบาดแพร่กระจายไปทั่วพื้นที่ที่มีสภาพอากาศร้อนและอบอุ่น การระบาดเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งปีในแหล่งที่มีการเก็บข้าวในโรงเก็บ [2] การป้องกันกำจัดด้วงวงข้าวโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การป้องกันกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมี เช่น การรักษาความสะอาดของโรงเก็บ การลดความชื้นในเมล็ด การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ความร้อนหรือเย็นจัด และการเก็บรักษาในสภาพสุญญากาศ ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการที่ต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างโรงเก็บสูงเพื่อควบคุมปัจจัยต่างๆ อีกวิธีการหนึ่งคือการป้องกันกำจัดแบบใช้สารเคมี แต่การใช้สารเคมีในการกำจัดด้วงวงข้าวอาจทำให้มีสารตกค้างในผลผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารเคมีปริมาณมากเกินความจำเป็น ซึ่งส่งผลต่อปริมาณสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ข้าวในการส่งออก [3] ดังนั้นการทราบปริมาณด้วงวงข้าวที่มีอยู่ในผลผลิตว่ามีปริมาณเท่าใดจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับใช้คำนวณปริมาณสารเคมีได้อย่างเหมาะสม

เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจในการวิเคราะห์การเกิดด้วงวงข้าว(มอด)ในข้าว คือ การใช้ Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่มีการทำลายตัวอย่าง โดยการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่น NIR ลงไปบนตัวอย่างแสงที่มีพลังงานเพียงพอจะถูกดูดกลืนและกระตุ้นให้เกิดการสั่นของโมเลกุลใน Functional Groups ต่าง ๆ 2 ลักษณะ คือ การยืดหด (Stretching) และการเปลี่ยนมุม (Bending) ช่วงความถี่ Overtones และ Combination ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, N-H และ O=H ทั้งหมดเป็น โมเลกุลหลักของสารอินทรีย์ [4] ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ผลที่ดีและรวดเร็วถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิค NIRS เป็นวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ของด้วงงวงข้าวและข้าวมีความแตกต่างกันนอกจากนี้วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบ ที่รวดเร็ว แม่นยำ ไม่ต้องใช้สารเคมี เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ต้องเตรียมตัวอย่างที่ซับซ้อนมาก แต่การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้จำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการทำนาย (Calibration Model) ก่อนการนำไปใช้งาน เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำกับวิธีอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานในปัจจุบัน และการประมาณค่าโดยวิธี Numerical Method สามารถคำนวณอย่างง่ายโดยวิธีทางเมทริกซ์แบบ Linear Algebra เพื่อหาค่าเมทริกซ์ x โดยความสัมพันธ์ของการคำนวณ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบ การประยุกต์ใช้วิธีการ PLSR และ GLM แนวทางศึกษาวิธีการประมาณปริมาณด้วงงวงข้าวที่ปนเปื้อนในผลผลิตข้าวเปลือก , ข้าวกล้อง และข้าวสาร ด้วยวิธี Near Infrared Spectroscopy เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับผู้ประกอบการในการกำหนดปริมาณการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดด้วงงวงข้าวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (NIRs) ในการวิเคราะห์ประมาณปริมาณด้วงงวงข้าวที่ปนเปื้อนในผลผลิตข้าวเปลือก , ข้าวกล้อง และข้าวสาร โดยตรงเป็นวิธีไม่ทำลาย ซึ่งช่วยให้ประหยัดเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับผู้ประกอบการในการกำหนดปริมาณการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดด้วงงวงข้าว

1.2.2. เพื่อเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้วิธีการ PLSR และ GLM และเพื่อสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ประมาณปริมาณด้วงงวงข้าวที่ปนเปื้อนในผลผลิตข้าวเปลือก , ข้าวกล้อง และข้าวสาร โดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่ได้รับจากการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยคาดว่าจะการวัดปริมาณด้วงงวงข้าวด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer (NIRs) จะทำให้ทราบถึงปริมาณด้วงงวงข้าวที่ปะปนในข้าวประเภทต่างๆโดยประมาณ ซึ่งจะเอื้อประโยชน์แก่ผู้ประกอบการที่มีภาระงานที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ผู้ประกอบการจะสามารถคำนวณปริมาณสารเคมีได้อย่างเหมาะสมในการกำจัดด้วงวงข้าว และที่สำคัญการใช้สารเคมีอย่างเหมาะสมยังช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในข้าว ส่งผลดีต่อผู้บริโภคอีกด้วย

1.4 สมมุติฐานของงานวิจัย

ปริมาณของด้วงวงข้าวที่มีในข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวสาร มีความสัมพันธ์กับสมบัติของสเปกตรัมช่วงเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (600-1100 นาโนเมตร)

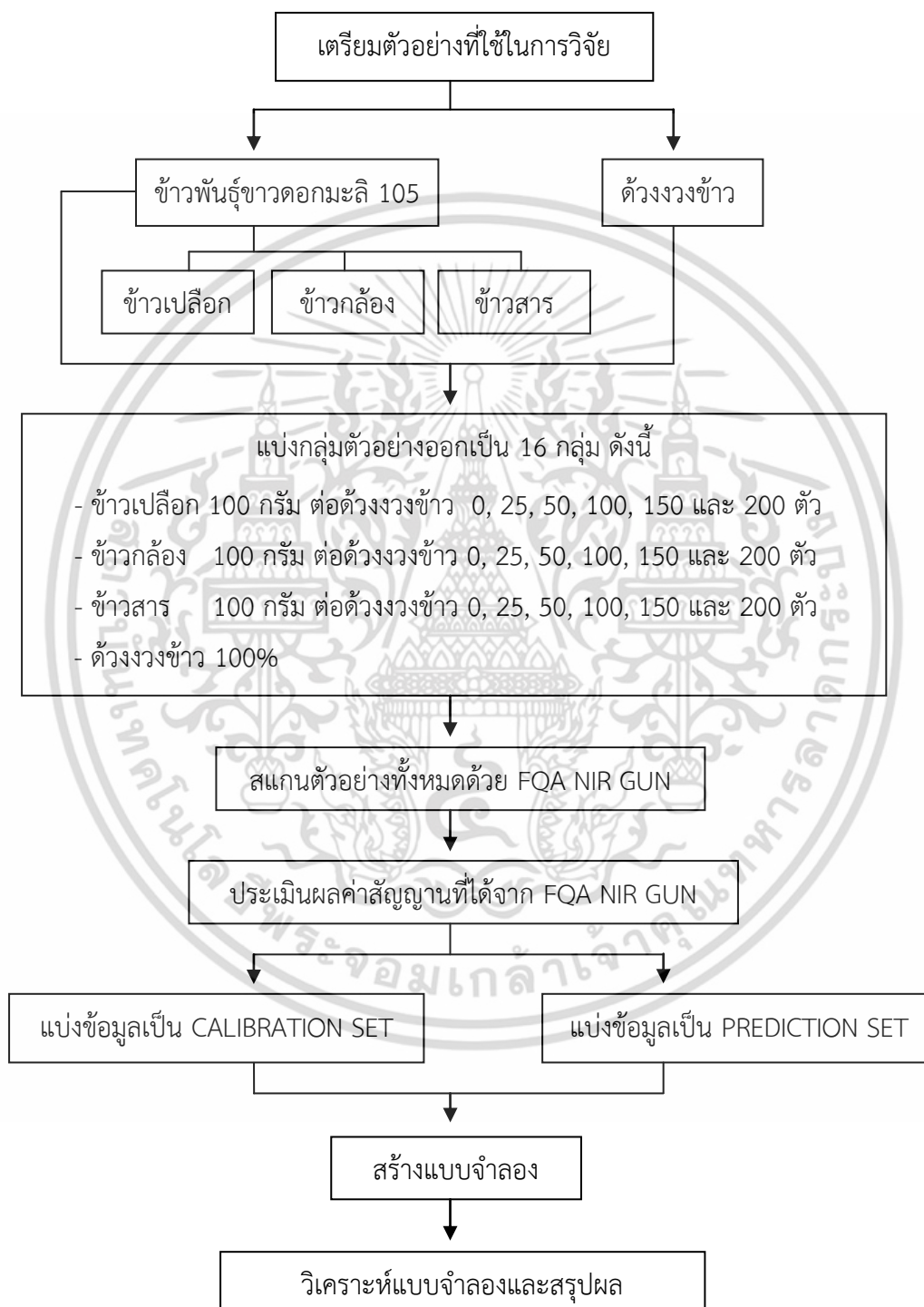
1.5 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาปริมาณของด้วงวงข้าวที่มีในข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวสารที่แตกต่างกัน ด้วยการตรวจวัดสมบัติเชิงแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer ที่มีการทำงานแบบ Reflectance ที่ช่วงคลื่น 600-1100 นาโนเมตร และทดลองหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการทำนายค่าอัตราส่วนของด้วงวงข้าวที่อยู่ในข้าวประเภทต่างที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนการดำเนินการ

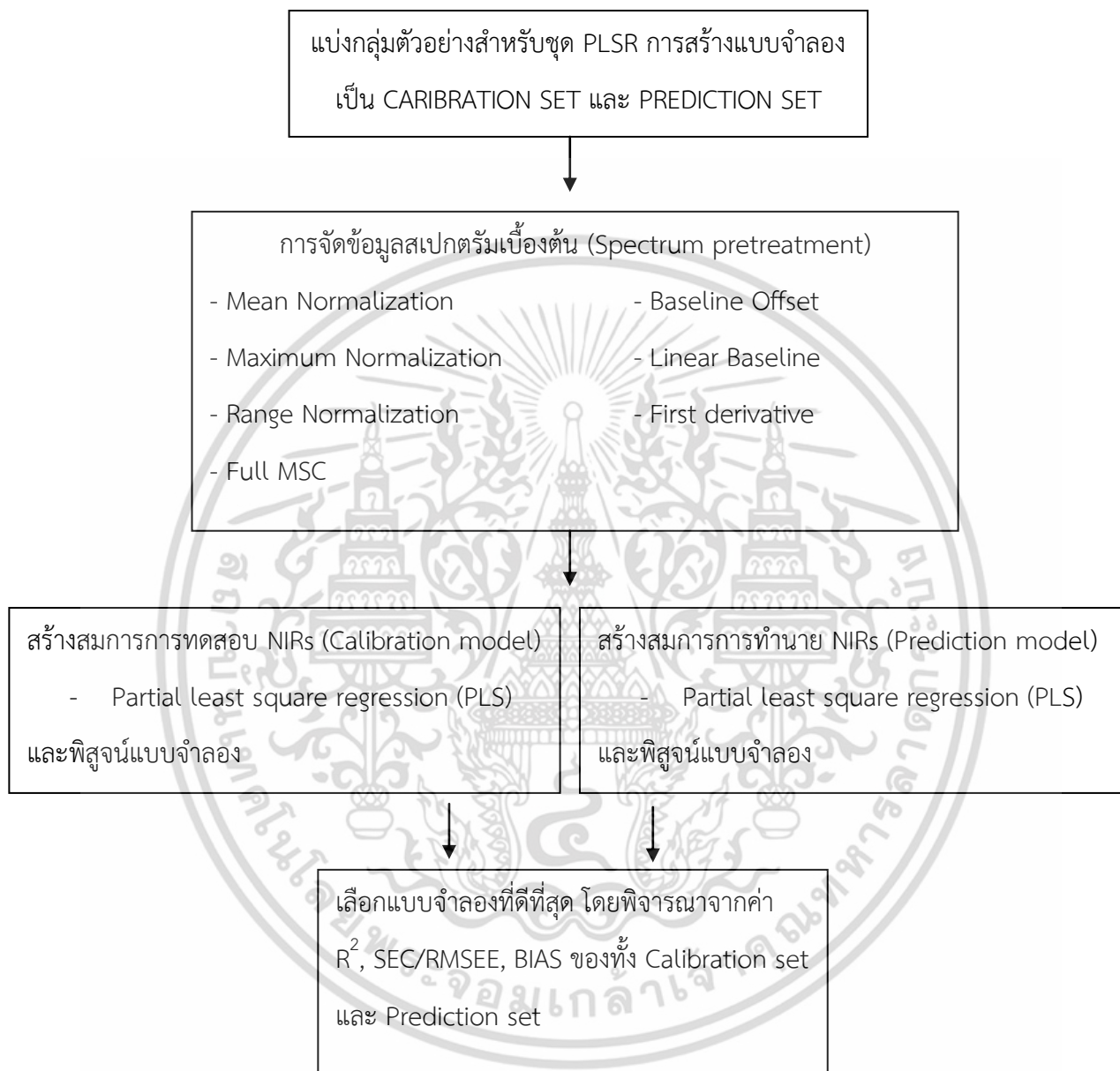
แผนการดำเนินงานแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังการดำเนินการทดลองการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมวิธีการ PLSR ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนผังการดำเนินการทดลองการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัม วิธีการ PLSR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังการดำเนินการทดลองการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมวิธีการ GLM ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แผนผังการดำเนินการทดลองการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัม วิธีการ GLM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวของไทยเป็นข้าวที่มีคุณภาพ อีกทั้งยังเป็นที่ต้องการของตลาดโลก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความรู้ความสามารถของคนไทย ที่นำภูมิปัญญาชาวบ้านมาผสมผสานกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ผลิตข้าวที่มีคุณภาพ ตั้งแต่กระบวนการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าว, การปรับปรุงสายพันธุ์ข้าว, การเพาะปลูก, การเก็บเกี่ยว และอีกอย่างที่สำคัญคือการเก็บรักษาข้าว เป้าหมายหลักของการเก็บรักษาข้าวคือรักษาข้าวให้มีปริมาณและคุณภาพมากที่สุด เช่นการใช้สารเคมีในการเก็บรักษา เพราะสารเคมีจะช่วยในเรื่องของด้วงงวงข้าวที่มาทำลายข้าว แต่หากใช้สารเคมีเกินความจำเป็นก็จะส่งผลในเรื่องสารเคมีตกค้าง ซึ่งการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์การเกิดด้วงงวงข้าว (มอด) ในข้าวด้วย NIRS ก็จะช่วยให้ทราบปริมาณด้วงงวงข้าว ส่งผลดีในการคำนวณปริมาณสารเคมีในการกำจัดด้วงงวงข้าว ทั้งยังลดปริมาณสารเคมีที่ตกค้างอีกด้วย

2.1 ความรู้ทั่วไปของข้าว [5]

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Oryza sativa* L.

ชื่อสามัญ : rice

ชื่อวงศ์ : Graminae

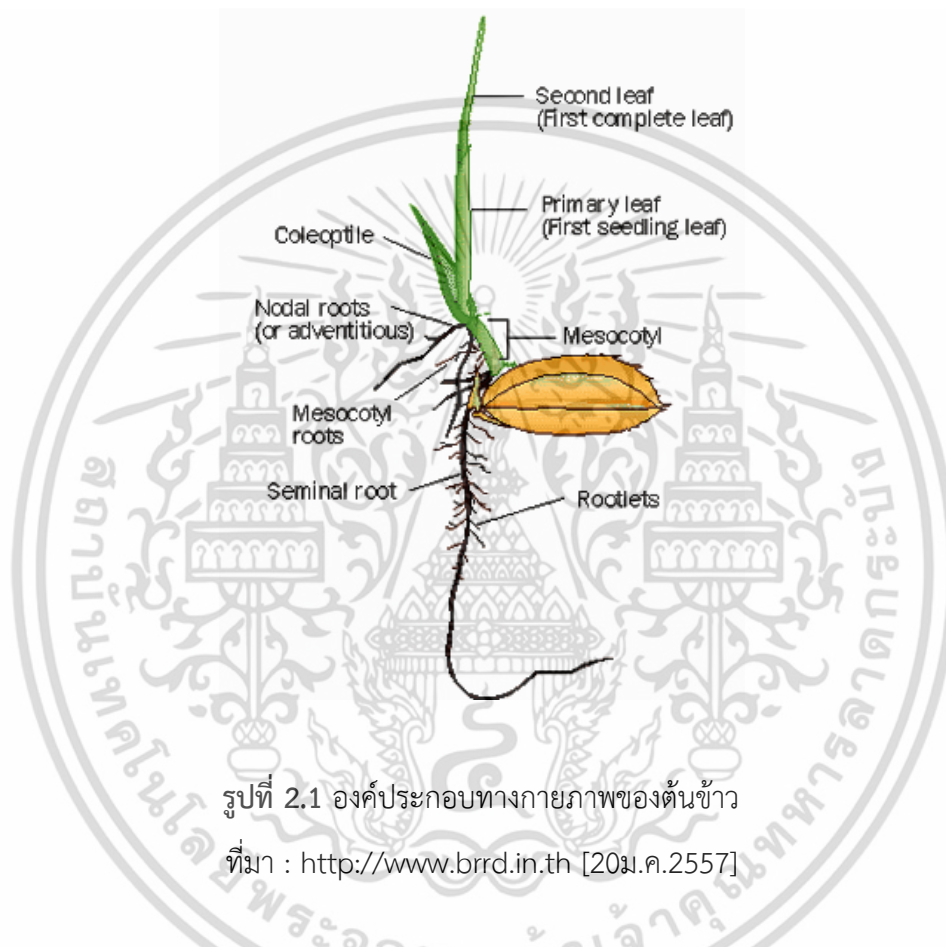
2.1.1 ชีววิทยาของข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า มีจำนวนโครโมโซม $2n = 24$ เป็นพืชปีเดียวที่มีความสูง 50 – 130 ซม. ลำต้นตั้งตรง ผิวเกลี้ยงประกอบด้วยส่วนที่เป็นข้อและลำปล้อง ในแต่ละข้อมี 1 ใบ ใบเรียงตัวเป็นสองแถว ในชั้นต้นกาบใบห่อหุ้มซึ่งกันและกัน มีลักษณะเป็นลำต้นเทียมห่อหุ้มส่วนลำปล้อง ในระยะต่อมาลิ้นใบรูปสามเหลี่ยมแยกออก มีเขี้ยวใบรูปเคียวยาว 1.0 – 1.5 มม. มีขนปกคลุม ดอกออกเป็นช่อแยกแขนง ปลายยอดยาว 9 – 40 ซม. มีช่อดอกย่อย 50 – 500 ช่อ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ช่อดอกย่อยติดอยู่ด้านบน ก้านดอกย่อยสั้น ประกอบด้วยดอกสมบูรณ์เพศ ผลหรือเมล็ดข้าวเปลือกมีขนาดรูปร่างและสีต่างกัน รูปไข่ รูปรี หรือรูปหลอดขนาด 5.0 – 7.5 มม. x 2.0 – 3.5 มม. มีสีเหลืองแกมขาวหรือสีน้ำตาลไปจนถึงสีน้ำตาลอมดำ การเจริญเติบโตและพัฒนาการขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ การเจริญทางลำต้นและใบ การเจริญทางสีบพันธุ์ และการเจริญทางด้านเมล็ด [5][6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 องค์ประกอบทางกายภาพของต้นข้าว [7]

ราก ระบบรากเป็นแบบรากฝอย (fibrous root system) (รูปที่ 2.1) ประกอบด้วยรากที่พัฒนามาจากส่วนแรดิเคิล (radicle) เรียกว่า primary root หรือ first seedling root และรากที่แตกแขนงออกมา เรียกว่า secondary root หรือ lateral root รากที่เกิดจาก scutellar node เรียกว่า seminal root ส่วนรากที่เกิดจากข้อใต้ดินตั้งแต่ coleoptilar node ขึ้นไป เรียกว่า adventitious root (รูปที่ 2.1)



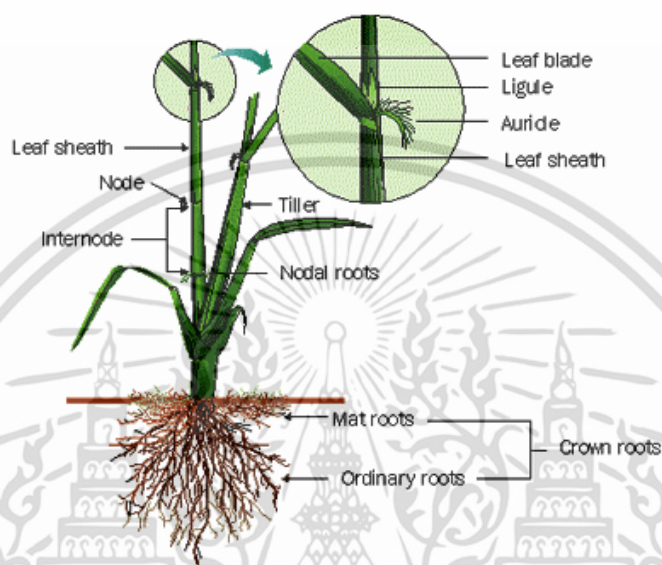
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบทางกายภาพของต้นข้าว

ที่มา : <http://www.brrd.in.th> [20ม.ค.2557]

ลำต้น (haulm หรือ culm) ประกอบด้วยข้อ (node) และปล้อง (internode) ข้อประกอบด้วย วงเจริญ (growth ring) ปุ่มกำเนิดราก (root primordia) ตา (bud) และรอยกาบใบ (leaf scar) ข้าวมีการแตกหน่อ (tillering) ลำต้นหลัก เรียกว่า main culm หน่อที่เจริญจาก main culm เรียกว่า primary tiller หน่อที่เจริญจาก primary tiller เรียกว่า secondary tiller และหน่อที่เจริญจาก secondary tiller เรียกว่า tertiary tiller ตามลำดับ[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบ ใบเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) ประกอบด้วย กาบใบ (leaf sheath) และแผ่นใบ (leaf blade) บริเวณรอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบ (leaf collar) มีเยื่อกันน้ำหรือลิ้นใบ (ligule) หูใบหรือเขี้ยวใบ (auricle) ส่วนที่มีลักษณะคล้ายใบแต่ไม่มีเส้นกลางใบ เป็นสัน 2 สัน พบระหว่างหน่อหรือแขนงที่แตกจากลำต้นเรียกว่า prophyllum (รูปที่ 2.2) [7]



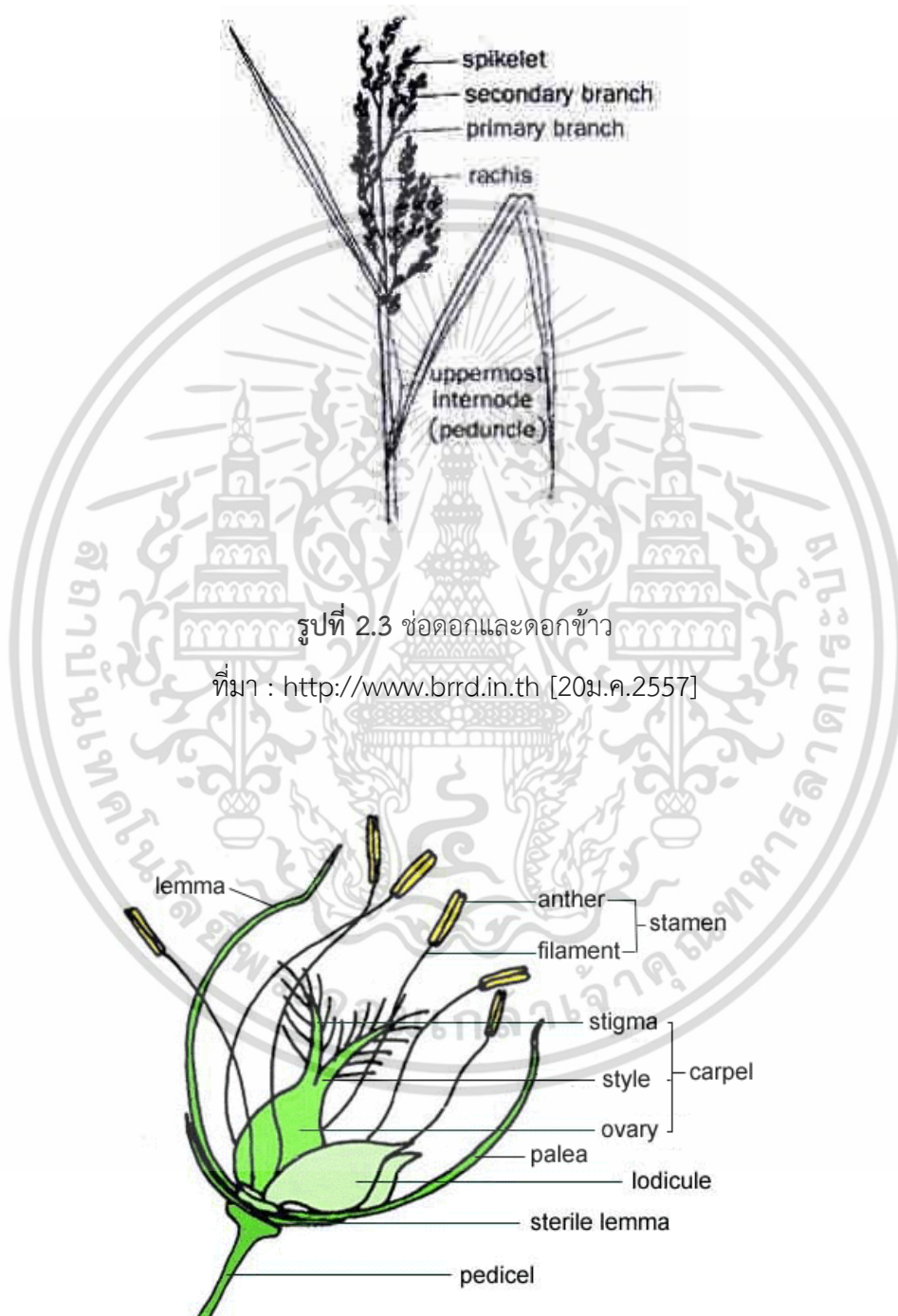
รูปที่ 2.2 ลำต้น (haulm หรือ culm)

ที่มา : <http://www.brrd.in.th> [20ม.ค.2557]

ช่อดอกและดอกข้าว เป็นแบบ panicle ปล้องสุดท้ายของลำต้น (uppermost internode) เป็นก้านช่อดอก (peduncle) แกนกลางช่อดอกเรียกว่า rachis หรือ panicle axis กิ่งที่แตกจาก rachis เรียกว่า primary branch และกิ่งที่แตกจาก primary branch เรียกว่า secondary branch (รูปที่ 2.3) [7]

ดอกข้าวเกิดเป็นกลุ่มเรียกว่า spikelet ประกอบด้วย กลีบดอกที่หุ้ม spikelet 2 กลีบ ได้แก่ กลีบด้านนอก (outer glume) และกลีบด้านใน (inner glume) แต่มองเห็นไม่ชัด (rudimentary glume) ดอกประกอบด้วยดอกย่อย (floret) 3 ดอก มีดอกย่อยเพียงดอกเดียวที่มีการเจริญ เรียกว่า flowering glume ส่วนดอกย่อยที่ไม่เจริญเหลือเฉพาะส่วน lemma เรียกว่า sterile lemma หรือ non-flowering glume หรือ empty glume ดอกย่อยที่มีการเจริญประกอบด้วยกลีบดอกย่อยด้านนอก (lemma) ที่มีเส้นตามความยาว 5 เส้น และกลีบดอกย่อยด้านใน (palea) ที่มีเส้นตามความยาว 3 เส้น ดอกย่อยประกอบด้วย เกสรตัวผู้ (stamen) ที่มีก้านชูละอองเกสรตัวผู้ (filament) และอับละอองเกสรตัวผู้ (anther) ส่วนเกสรตัวเมีย (pistil) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวณไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยรังไข่ (ovary) ก้านชูเกสรตัวเมีย (style) สั้น ปลายเกสรตัวเมีย (stigma) แยกเป็น 2 แฉก มีลักษณะคล้ายขนนกเรียกว่า plumose stigma และเยื่อรองรับไข่ (lodicule) อยู่ที่ส่วนฐานของรังไข่ (รูปที่ 2.4) [7]



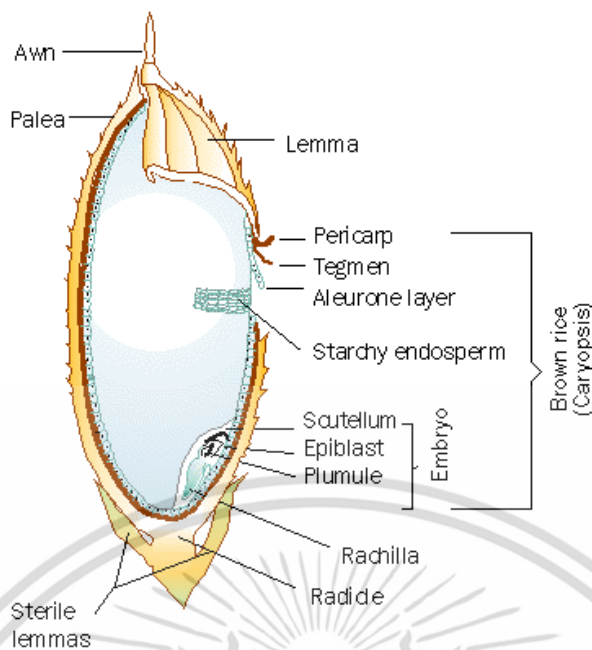
รูปที่ 2.3 ช่อดอกและดอกข้าว

ที่มา : <http://www.brrd.in.th> [20ม.ค.2557]

รูปที่ 2.4 ดอกข้าว

ที่มา : <http://www.brrd.in.th> [20ม.ค.2557]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบทางกายภาพของเมล็ดข้าว

ที่มา : <http://www.brrd.in.th> [20ม.ค.2557]

2.1.3 องค์ประกอบทางกายภาพของเมล็ดข้าว ดังรูปที่ 2.5 [8],[9]

- เปลือกนอกหรือแกลบ (Hull) ซึ่งประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (Lemma) และเปลือกเล็ก (Palea) มีลักษณะเป็นส่วนประกอบของแกลบมีประมาณ 17-24 % เป็นส่วนที่ห่อหุ้มภายนอกมีน้ำหนักประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก
- ส่วนที่บริโภคได้ หรือเมล็ดข้าวกล้อง (Caryopsis, Brown rice or Carco rice) ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้
 - เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นผิวภายนอกของเมล็ดข้าวกล้องที่พัฒนามาจากผนังของรังไข่ของดอกข้าว มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน
 - เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) เป็นเซลล์ชั้นเดียว มีความหนาประมาณ 0.5 ไมครอนในส่วนนี้อุดมไปด้วยโปรตีนไขมัน เซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชั้นอัลลูโรน (Alurone Layer) ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้นเป็นชั้นที่มีคุณค่าทางอาหารสูงภายในชั้นอัลลูโรนประกอบด้วยไขมันและโปรตีน ผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเมื่อบริโภคข้าวกล้องที่ยังไม่ได้ขัดสีเอาชั้นของอัลลูโรนออกไป จึงรู้สึกสากกว่าข้าวสารขาว
- เอนโดสเปิร์ม (Endosperm) เป็นส่วนของเมล็ดข้าวสาร และมีแบ่งเป็นองค์ประกอบหลักภายในเมล็ดมีแบ่งอยู่ประมาณร้อยละ 84-93 โดยน้ำหนักแห้งและมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 5-14
- คัพภะ หรือจุมูกข้าว (Embyo) เป็นส่วนเล็กๆที่อยู่ตรงปลายของเมล็ดข้าวซึ่งจะเจริญไปเป็นต้นอ่อนต่อไปภายในมีสารอาหารหลายชนิด เช่น วิตามิน B1 (Thiamine), B2 (Riboflavin) และไนอาซิน (Niacin) ซึ่งวิตามินเหล่านี้จะถูกขัดออกเมื่อผ่านกระบวนการสีข้าวหรือมีอยู่ในข้าวสารปริมาณที่น้อยมาก

2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว [10]

เนื่องจากข้าวเป็นพืชอาหารหลักดังนั้นส่วนประกอบทางเคมีของข้าวจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นแป้ง (คาร์โบไฮเดรต) เป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีในส่วนของแร่ธาตุอื่นๆอีกมากมายดังแสดงต่อไปนี้

1. คาร์โบไฮเดรต ในข้าวจะมีแป้งอยู่มากถึง 90% โดยน้ำหนักแห้ง กลุ่มของเม็ดแป้งที่อยู่ใน อะไมโลพลาส (Amyloplast) จะมีรูปร่างกลมหรือรูปไข่

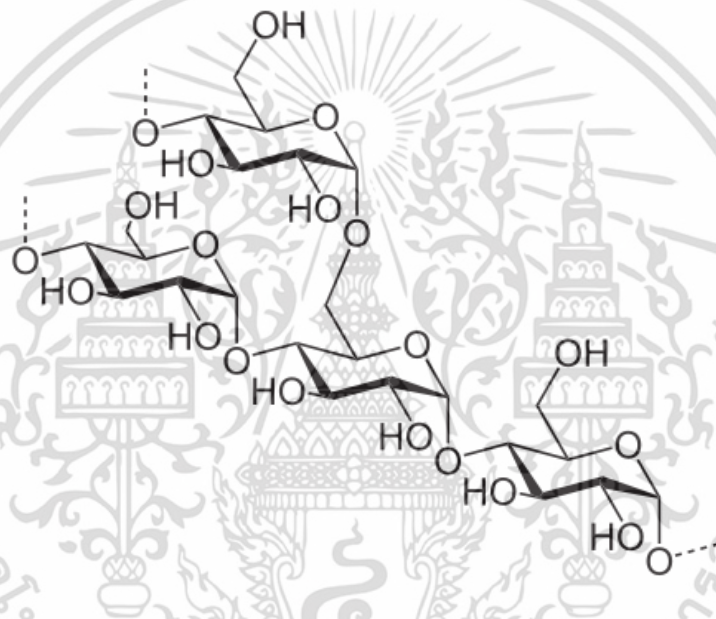
แป้งข้าวสามารถแยกเป็นองค์ประกอบย่อย 2 ชนิด คืออะไมโลเพคตินและอะไมโลส อะไมโลเพคติน (Amylopectin) เป็นแป้งที่เป็นโพลิเมอร์ (polymer) ของกลูโคส (glucose) มีโครงสร้างของโมเลกุลเหมือนกิ่งไม้ (branched fraction) โดยส่วนที่เป็นเส้นตรงจะเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลของกลูโคสด้วยพันธะ α -D (1-4) bond โดย คุณสมบัติของอะไมโลเพคติน ประกอบไปด้วย

- มีอัตราส่วน Reducing end group ต่อ Non reducing end group ในแต่ละโมเลกุลมากกว่า 1
- ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน ได้สีม่วงแดงหรือน้ำตาลแดง
- ตูดซึบไอโอดีน (Iodine isopotentiometrically) ได้ต่ำ
- น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 10,000 DP (degree of polymerization)
- ย่อยสลายด้วย เบต้า-อะไมเลส (β -Amylase) ได้ต่ำ (ประมาณ 50%)
- ไม่สามารถรวมตัวเป็นสารเชิงซ้อนกับ 1-butanol หรือสารอินทรีย์อื่น

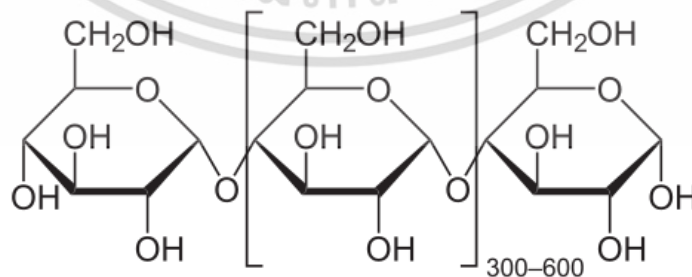
สำหรับอะไมโลส (Amylose) เป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสเช่นกัน แต่มีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นเส้นยาว

(Linear fraction) โดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -D (1-4) bond โดยมีคุณสมบัติดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราส่วนของ Reducing end group ต่อ Non reducing end group ในโมเลกุล มีค่าเป็น 1
- ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน ได้สีน้ำเงินเข้ม
- คูดซ์บไอโอดีน ได้มาก
- มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพียง 600-1600 DP (degree of polymerization)
- สามารถย่อยสลายด้วย เบต้า-อะไมเลส (β -Amylase) ได้ 100%
- สามารถรวมตัวกับ 1-butanol และสารอินทรีย์ชนิดอื่น กลายเป็นสารเชิงซ้อน (Complex)
- สามารถคูดซ์บด้วยเซลลูโลส
- มี Intrinsic viscosity สูง และมี Solutions stability ต่ำ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน [11]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของอะไมโลส [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลของสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [12] พบว่า แป้งข้าวจะมีอะไมโลสเปคตินเป็นองค์ประกอบหลักและอะไมโลสเป็นองค์ประกอบรอง แต่โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยกล่าวถึงอะไมโลสเป็นหลักสำคัญ อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเปคติน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ข้าวที่มีอะไมโลสสูง ในระหว่างการหุงต้มจะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ปริมาณอะไมโลสทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลง หรือร่วนมากขึ้น ข้าวที่มีอะไมโลสสูงเมื่อหุงต้มสุก จึงร่วนกว่าและแข็งกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ข้าวเหนียวเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (0-2 %) เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุก จะเหนียวมาก ได้แก่ ข้าวเหนียวสันป่าตอง กข 6 และ กข 10 ส่วนข้าวเจ้าเนื่องจากมีจำนวนหลายพันธุ์ เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะแตกต่างกัน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- ข้าวอะไมโลสต่ำ เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส 10-19% เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะนุ่มเหนียว ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105, กข15, กข 21, ปทุมธานี 1, ข้าวเจ้าหอมคลองหลวง 1, ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี, และข้าวสังข์หยดพัทลุง ฯลฯ

- ข้าวอะไมโลสปานกลาง เป็นข้าวที่มีอะไมโลส 20-25% เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกค่อนข้างนุ่มเหนียวเล็กน้อย ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข 7, กข 23, สุพรรณบุรี 60, ขาวปากหม้อ, ขาวตาแห้ง 17, สุพรรณบุรี 2, เข้มทอง, เล็บนกปัตตานี, ไชยรัตน์, ดอกพยอม และหอมจันทร์ ฯลฯ

- ข้าวอะไมโลสสูง เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส มากกว่า 25% เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะร่วนค่อนข้างแข็ง ได้แก่ ข้าวพันธุ์ นางพญา 132, กุเมืองหลวง, แก่นจันทร์, กันตัง, ฉียงพัทลุง, ชัยนาท 1, กข 25, กข 1, กข 13, ลูกแดงปัตตานี, ปทุมธานี 60, สุพรรณบุรี 1, สุพรรณบุรี 90, เหลืองประทิว 123 และปราจีนบุรี 1

2. โปรตีน เมล็ดข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีน 4.8-12.1% โปรตีนในเมล็ดข้าวสามารถแบ่งเป็น 4 ชนิด ตามคุณสมบัติในการละลาย ได้แก่

- อัลบูมิน (Albumin) มีคุณสมบัติในการละลายน้ำ (Water soluble)
- โกลบูลิน (Globulin) มีคุณสมบัติละลายในน้ำเกลือ (salt soluble)
- โปรลามิน (Prolamin) มีคุณสมบัติละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol soluble) และ
- กลูเทลิน (Glutelin) มีคุณสมบัติละลายในกรดหรือด่าง (acid or alkali soluble)

3. ไขมัน เมล็ดข้าวมีไขมันเพียง 1.6-2.8% ทั้งนี้ 80% ของไขมันอยู่ในส่วนของรำหยาบและรำละเอียด

4. แร่ธาตุ องค์ประกอบและปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุในดิน ข้าวกล้องจะมีปริมาณแร่ธาตุสูงกว่าข้าวขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วิตามิน ในข้าวกล้องมีวิตามินมากกว่าข้าวขาว ในเมล็ดข้าวจะขาดวิตามิน A, C และ D เมล็ดข้าวมีวิตามินในกลุ่มของวิตามิน B ประมาณ 34% ของไทอามิน (thiamin: B₁) ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว จะอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิเวเซลล์ และเยื่อลูโรน 47% อยู่ใน scutellum มีเพียง 8% อยู่ในเอนโดสเปิร์มที่จะสีเป็นข้าวขาว เมล็ดข้าวมีองค์ประกอบต่างๆมากมาย ทั้งภายนอกเมล็ดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาและภายในที่อยู่ในรูปของสารอาหาร ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่รวมกันเป็นเมล็ดข้าว

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Jasmine rice) เป็นข้าวพันธุ์ส่งเสริมของกรมวิชาการเกษตรที่มีคุณภาพเมล็ดดี มีกลิ่นหอม สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี เป็นที่นิยมปลูกอย่างแพร่หลายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวหอมมะลิสายพันธุ์หนึ่งในจำนวน 199 สายพันธุ์ ที่ได้เก็บรวบรวมจากนาของอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นสายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกและทดสอบผลผลิต จนส่งเสริมให้เป็นพันธุ์ปลูกในปี พ.ศ. 2502 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง สูงประมาณ 140 - 150 ซม. แตกกอดีปานกลาง ลักษณะใบสีเขียวค่อนข้างแคบแต่ยาว ปกติเกษตรกรปลูกในเดือนพฤษภาคมหรือมิถุนายนและออกดอกประมาณ 20 - 25 ตุลาคม ความยาวรวงขนาดปานกลาง ข้าวเปลือกมีสีฟาง(ซึ่งเรียกกันว่าข้าวขาว) เมล็ดเรียวยาว ปลายเมล็ดโค้งเล็กน้อย ข้าวกล้องใส มีความเลื่อมมัน จมูก (ส่วนที่เป็นคัพพะ) เล็ก มีปริมาณอมิโลส 12 - 16% ข้าวสารมีความเป็นท้องไข่มาก มีความหอมมากและนุ่มมาก [13]

2.2 ความรู้ทั่วไปของด้วงวงข้าว [1],[2]

ชื่อภาษาไทย : ด้วงวงข้าวหรือมอดข้าวสาร

ชื่อสามัญ : rice weevil or lesser rice weevil

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Sitophilus oryzae* L.

ชื่อเดิม : *Calandra oryzae* L.

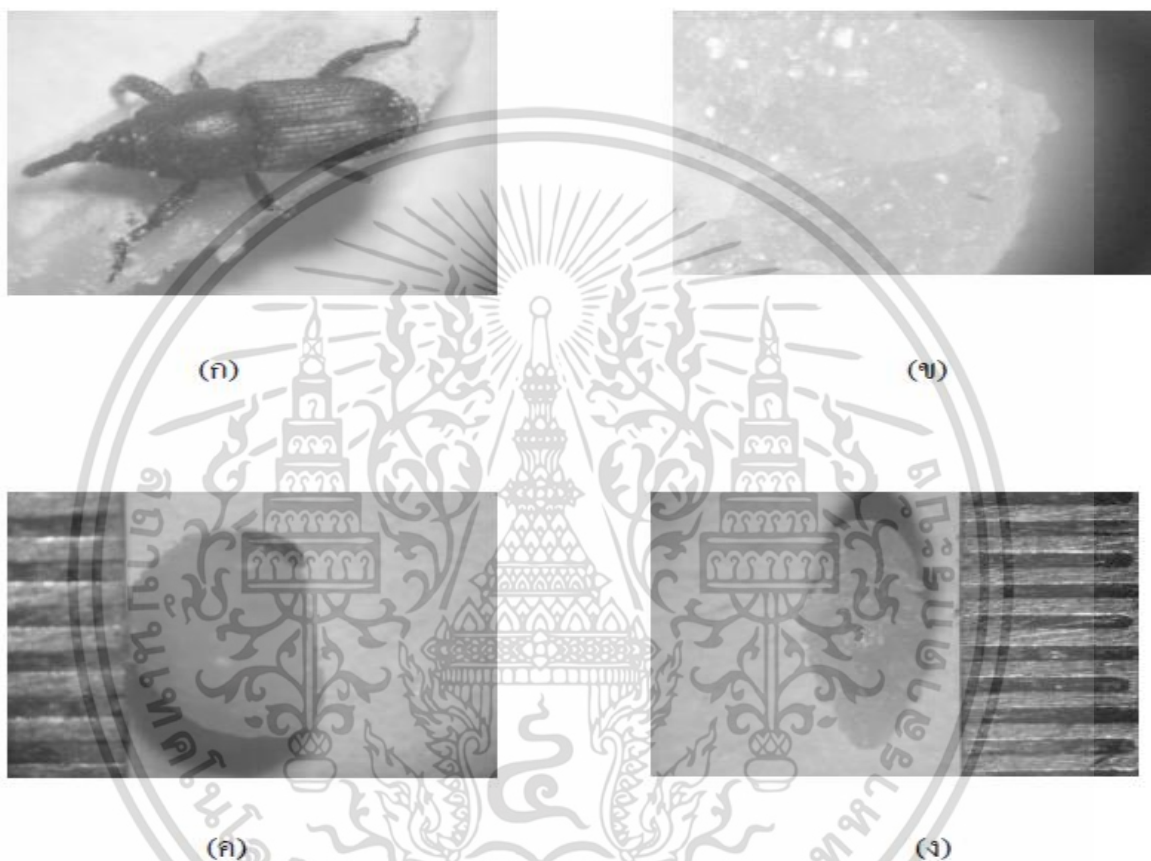
ชื่อวงศ์ : Curculionidae

ชื่ออันดับ : Coleoptera

2.2.1 รูปร่างลักษณะและชีวประวัติ

ตัวเต็มวัยมีสีน้ำตาลแก่จนถึงสีดำ ลำตัวยาวประมาณ 2.0 – 3.0 มม. (รูปที่ 2.8 ก) ส่วนหัวยาวยื่นออกมาเป็นวง (snout) หนวดแบบข้อคอก (elbow) มุมทั้ง 4 มุมบนปีกคู่แรก (elytra) มีจุดสีเหลืองอ่อน ๆ อยู่มุมละจุด บางครั้งเห็นไม่ค่อยชัดเจน ตัวเต็มวัยสามารถบินไปทำความเสียหายกับเมล็ดข้าวในไร่นาได้ หรือบินจากโรงเก็บแห่งหนึ่งไปยังโรงเก็บอีกแห่งหนึ่งได้ การแยกเพศผู้และเพศเมียดูที่อวัยวะสืบพันธุ์ [14] , [15] และดูที่วง โดยตัวผู้วงสั้นและขรุขระกว่าตัวเมีย ส่วน rostrum ของตัวเมียยาวและเรียวกว่าตัวผู้ [16] มีการแยกโดยใช้ DNA amplification fingerprinting (DAF) [17] ตัวเมียวางไข่ที่เมล็ดข้าวสารหรือเมล็ดพืช โดยใช้ปากเจาะเมล็ดข้าวสารเป็นรูทรงกระบอกแล้ววางไข่ หลังจากวางไข่แล้วขับน้ำเมือกปิดรูเอาไว้ แผลงวางไข่ครั้ง 1 ฟอง และย้ายไปวางไข่ที่จุดอื่นในเมล็ดเดียวกัน แต่ส่วนใหญ่วางไข่ 1 – 4 ฟองต่อเมล็ด ตัวเมียวางไข่ได้ 300 – 400 ฟองเมื่อเดินด้วงวงข้าวหนวดยกขึ้นซึ่งมีลักษณะเป็นหนวดแบบหักเป็นข้อคอก และมีอุปนิสัยแก่งทำเป็นตายเมื่อถูกสัมผัสหรือรบกวน โดยอยู่นิ่งและหดอวัยวะทุกส่วนเข้าและหลังจากนั้น 2 – 3 นาทีจึงเคลื่อนไหว ไข่ของด้วงวงมีขนาดเล็กมากไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไข่มีสีขาว รูปรีและนิ่ม (รูปที่ 2.8 ข) ระยะไข่ใช้เวลาฟัก 3 – 5 วัน ตัวหนอนที่ฟักออกจากไข่ใหม่ ๆ มีสีขาว ลำตัวยาวประมาณ 0.5 มม. ส่วนหัวมีสีน้ำตาลปนเหลือง กรามมีลักษณะคล้ายเขี้ยวและมีสีน้ำตาลแก่จนถึงเกือบดำ ลำตัวค่อนข้างอ่อนและมีลักษณะโค้ง ไม่มีขา ผิวหนังย่น ตัวหนอนอาศัยกัดกินภายในเมล็ดตลอดเวลาจนกระทั่งเจริญเติบโตเต็มที่ ตัวหนอนมีสีครีมอ่อนแผ่นหลังออกมีสีน้ำตาลแก่ ลำตัวมีลักษณะป้อมและผิวหนังย่น ลำตัวยาวประมาณ 3.0 มม. และกว้างประมาณ 1.5 มม. (รูปที่ 2.8 ค) ระยะหนอนใช้เวลาประมาณ 20 – 30 วัน ก่อนเข้าดักแด้หนอนยึดลำตัวออกและหยุดนิ่งไม่กินอาหาร 1 – 2 วัน แล้วเข้าดักแด้อยู่ภายในเมล็ด ดักแด้เป็นแบบ exarate เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคืออวัยวะส่วนปากหมวด ขา และปีกไม่แนบติดกับลำตัว แต่ยื่นออกจากลำตัวเห็นได้ชัด (รูปที่ 2.8 ง) ระยะดักแด้ใช้เวลาประมาณ 3 – 7 วัน จากนั้นตัวเต็มวัยฟักออกจากดักแด้และเจาะเมล็ดซึ่งเหลือแต่เปลือกหุ้มเมล็ดออกมา ตัวเต็มวัยผสมพันธุ์และวางไข่ได้ทันที ชีพจักรของด้วงวงข้าวตั้งแต่ไข่จนถึงตัวเต็มวัยใช้เวลาประมาณ 30 – 40 วัน ตัวเต็มวัยมีชีวิตอยู่ได้นาน 1 – 2 เดือน ในปีหนึ่ง ๆ แมลงชนิดนี้สามารถผลิตลูกหลานออกมาได้ 6 – 7ชั่วอายุขัย [18]



รูปที่ 2.8 ด้วงวงข้าว *Sitophilus oryzae* L. [2]

(ก) ตัวเต็มวัย (ข) ไข่ (ค) ตัวหนอน (ง) ดักแด้

2.2.2 ลักษณะการทำลาย

ด้วงวงข้าวเป็นแมลงศัตรูพืชอันดับหนึ่งของเมล็ดธัญพืชในโรงเก็บ โดยเฉพาะเมล็ดข้าวที่ถูกทำลายมองเห็นเป็นรู ช่างในเป็นโพรง (รูปที่ 2.9 ก) เนื่องจากตัวหนอนกัดกินและเติบโตอยู่ภายในเมล็ดข้าวจนกระทั่งเจริญเป็นตัวเต็มวัย (รูปที่ 2.9 ข) ในกรณีที่มีการทำลายมากเมล็ดถูกกินเหลือแต่เปลือกหรือผิวนอก ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปไม่ได้ การทำลายของแมลงชนิดนี้ทำให้ความชื้นของผลิตผลเพิ่มขึ้น 5 – 6% [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.9 ลักษณะการทำลายของด้วงงวงข้าว *Sitophilus oryzae* L. [2]

(ก) เมล็ดที่ถูกทำลาย (ข) ตัวเต็มวัยเจริญอยู่ในเมล็ดข้าว

2.2.3 การแพร่กระจายและช่วงฤดูการระบาด

แมลงชนิดนี้แพร่กระจายทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่อยู่ในเขตร้อนและอบอุ่น ระบาดมากแถบเอเชีย และแอฟริกา เช่น ในประเทศกรีซ มีการสำรวจแมลงในห้องเก็บของที่บรรจุข้าวสาลี ข้าวโพด สำหรับอาหารสัตว์ พบแมลง 21 ชนิด ในระยะของตัวหนอนซึ่งมีอุปนิสัยที่คล้ายกันในการกินอาหารจึงเกิดการแข่งขันระหว่างชนิด [19] ศึกษาการกระจายตัวของแมลงในโรงเก็บอาหารในประเทศอิตาลี โดยใช้กับดักที่มีเหยื่อเป็นอาหารเป็นตัวดึงดูด จึงพบที่ประตูทางเข้าของห้องที่ขนของลง รอบ ๆ โรงเก็บสินค้าและห้องเก็บของการกระจายตัวชั่วคราวมีผลมาจากปัจจัยหลายปัจจัย เช่น การมีอาหารอยู่ในโรงเก็บ วิธีการบรรจุ สภาพของอุณหภูมิในพื้นที่ต่าง ๆ ของโรงเก็บ เป็นต้น ด้วงงวงข้าวสามารถแพร่กระจายไปได้ไกลๆ โดยการบินไปหรือติดไปกับภาชนะในการขนส่ง การระบาดของแมลงอาจเกิดขึ้นได้ตลอดปีเพราะอาศัยกินอาหารหลายชนิดเพื่อดำรงชีพ

2.2.4 อาหารของด้วงงวงข้าว

เมล็ดธัญพืชหลายชนิด เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ [20] เป็นอาหารที่ด้วงงวงใช้ดำรงชีวิตอยู่ได้ นอกจากนี้สามารถเจริญเติบโตได้ใน เมล็ดถั่วและมันสำปะหลัง [16] ด้วงงวงข้าวไม่ทำลายแป้งที่เป็นผงเพราะแป้งมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่ด้วงงวงใช้ดำรงชีวิต เนื่องจากมีผงที่ติดตามลำตัว ของตัวด้วงงวงข้าว [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การป้องกันกำจัด

สารรม (Fumigant) มีพิษสูงมากต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ความเป็นพิษในช่วงที่ใช้รมสารเหล่านี้มีช่วงเวลาของความเป็นพิษสั้น ไม่มีพิษตกค้าง การรมเป็นการใช้ภาชนะ (ผ้าใบ) คลุมเมล็ดธัญพืชหรือผลิตผลทางการเกษตรให้มิดชิด แล้วจึงปล่อยสารรมไปในภาชนะนั้นในระยะเวลาหนึ่ง เพื่อทำลายแมลงศัตรูที่อยู่ในเมล็ดธัญพืชเหล่านั้น สารรมที่นิยมใช้กันมานานคือ เมธิลโบรไมด์ อัตราที่ใช้รม 0.91 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 28 ลูกบาศก์เมตร ในระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 วัน ฟอสฟีน อัตราที่ใช้รม 2 – 3 เม็ดต่อผลิตผล 1 ตัน ในระยะเวลาไม่น้อยกว่า 7 วัน และ คาร์บอนไดออกไซด์ อัตราที่ใช้ 2 กิโลกรัมต่อผลิตผล 1 ตัน ในระยะเวลาไม่น้อยกว่า 15 วัน [22]

การใช้อุณหภูมิในการควบคุมแมลง ซึ่งการใช้ความร้อนเป็นความหวังที่ดีที่สุดสำหรับการใช้วิธีการป้องกันกำจัดที่ไม่มีสารปนเปื้อนที่ทำได้รวดเร็วและง่าย ในปัจจุบัน ในระบบการใช้ความร้อนที่ทำลายแมลง โดยให้เมล็ดธัญพืชผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 63 °C เวลาประมาณ 1 นาที [23] การใช้ความร้อนเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบการทำลายของหนอนด้วงวงข้าวโดยใช้เครื่องตรวจสอบแบบการสะท้อนเสียง (acoustic detection) เมื่อทำให้เมล็ดธัญพืชร้อนขึ้น ตัวหนอนมีการเคลื่อนไหว เครื่องสามารถตรวจสอบได้ ผลการทดลองมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อนำไปใช้กับเมล็ดธัญพืชที่เก็บอยู่ในสภาพที่เย็นแล้วนำมาให้ความร้อน [24] , [25] ได้ทดลองลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจาก 30 °C เป็น 20 °C และลดอุณหภูมิระดับปานกลางจาก 15 °C เป็น 5 °C มีผลทำให้การหายใจของด้วงวงข้าวลดลงอย่างมากและที่ 10 °C การฟักไข่และการเจริญเติบโตของด้วงหุดชะงัก [26]

การใช้วิธีการโดยการแช่ข้าวมีผลต่อการเจริญเติบโตของด้วงวงข้าว จากการทดลอง โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ ข้าวที่ไม่มีการแช่ข้าว ข้าวที่ถูกแมลงทำลายแล้วนำไปแช่ และข้าวแช่แล้วให้แมลงทำลาย พบว่าจำนวนลูกหลานของด้วงวงข้าวเพิ่มมากกว่าในข้าวที่ไม่มีการแช่ การแช่ทำให้น้ำหนักหายไป 11% และแมลงตายทันทีถึง 40% ด้วงวงที่ใช้ข้าวแช่เป็นอาหารใช้เวลาในการเจริญเติบโตมากกว่า 1 สัปดาห์ และน้ำหนักของด้วงวงแต่ละตัวที่ใช้ข้าวไม่แช่ ข้าวที่แช่แล้วให้แมลงทำลาย และข้าวที่ถูกทำลายแล้วแช่ มีค่าเท่ากับ 1.93, 1.50 และ 1.49 มิลลิกรัม ตามลำดับ [27]

การใช้ศัตรูธรรมชาติ [28] ได้ศึกษาพฤติกรรมการทำลายของแตนเบียน *Anisopteromas calandrae* Howard กับตัวหนอนของด้วงวงข้าววัยที่ 3 (อายุ 13 วัน) และวัยที่ 4 (อายุ 20 วัน) ที่อุณหภูมิ 28 °C พบว่า แตนเบียนชอบกินแมลงอาศัยวัยที่ 3 เพื่อเป็นอาหารและวางไข่บนแมลงอาศัยวัยที่ 4 ในการ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบการทำลายของแตนเบียน *A. calandrae* Howard บนตัวหนอนของด้วงวงข้าวที่ใช้ข้าวสาลีเป็นอาหาร

การใช้เชื้อราเขียว *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin ในรูปของสารละลายที่มี conidia ผสมกับซีเถ้า ผงซอล์ค ถ่าน และแป้งข้าวสาลี ในอัตราส่วนต่าง ๆ [29] พบว่าสูตรผสม *M. anisopliae* (Metsch.) Sorokin กับถ่านและซีเถ้าในอัตรา 2% ทำให้ด้วงวงข้าวตายได้ 73.30 – 86.70% หลังจากการใช้ 7 วัน ส่วนการใช้แบคทีเรียที่มีชื่อการค้า spinosad กับด้วง 8 ชนิด รวมทั้ง *S. oryzae* L. โดยพ่นสารละลายไปที่ผิวคอนกรีต เหล็ก กระจ่างพื้นที่ไม่เคลือบซีเมนต์ กระจ่างที่เคลือบซีเมนต์ ในอัตราของสารออกฤทธิ์ 0.05 – 0.1 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นใส่ด้วง 30 ตัว ชั่งอยู่บนพื้นที่ทดลอง นาน 25 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C แล้วนำไปปล่อยในภาชนะที่มีอาหารอีก 24 ชั่วโมง พบว่า บนพื้นคอนกรีตด้วงตายถึง 99 – 100% ซึ่ง [30] สรุปว่า spinosad มีประสิทธิภาพในการใช้กับพื้นผิวทั่วไป มีการทดลองใช้เชื้อราร่วมกับสารฆ่าแมลง [31] ได้ใช้เชื้อราสูตรผสมของ *B. bassiana* ARSEF 5500 ร่วมกับ *M. anisopliae* ARSEF 2974 ผสมกับสารฆ่าแมลง Fenitrothion อัตรา 3 ppm ทำให้ด้วง *S. oryzae* L. ตายได้ 50% เปรียบเทียบกับการใช้สารฆ่าแมลง Fenitrothion อัตรา 6 ppm และ 3 ppm ทำให้อัตราการตายของด้วงเป็น 97.50% และ 37.50%

การใช้กับดักที่มีสารฟีโรโมนร่วมกับสารฆ่าแมลงในการควบคุมแมลงในโรงเก็บ [32] ได้ทดลองในฉางข้าวสาลีประเทศเคนยา โดยการใช้สารฟีโรโมน Sitophilure ร่วมกับกับดักแบบกล่องกระดาษรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และกับดักที่มีฝาแนวตรงตั้งอยู่บนแผ่นไม้สี่เหลี่ยมที่มีสารฆ่าแมลงเพอร์เมธริน (permethrin) พิริมิฟอสเมทิล (pirimiphos methyl) เพื่อสำรวจประชากรของด้วงวงข้าว กับดักทั้งสองมีประสิทธิภาพในการดักจับด้วงทั้งสองได้มากเมื่อมีข้าวสาลีที่มีรอยแตกปนอยู่กับดัก อัตราของฟีโรโมนที่ใช้ 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อกับดัก อัตราที่สูงขึ้นมีแนวโน้มดักจับด้วงได้มากขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งวิธีการใช้กับดักที่มีสารฟีโรโมนเป็นตัวดึงดูดแมลงในโรงเก็บเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เหมาะสมพิจารณานำมาใช้เพื่อสำรวจประชากรและควบคุมปริมาณของแมลงศัตรูในโรงเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Spectroscopy) [33]

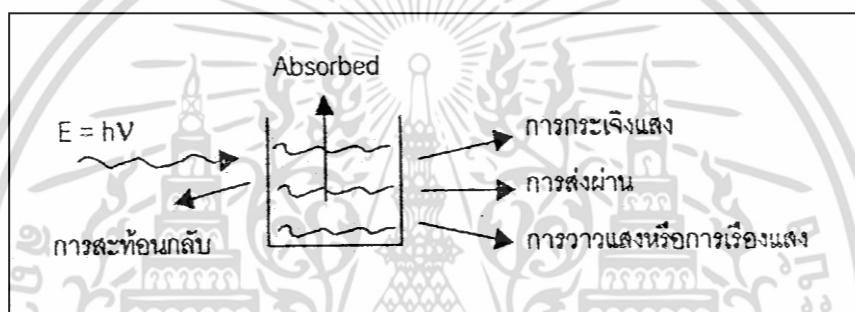
เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการ-อันตรกิริยา (Interaction) เมื่อคลื่นเนียร์อินฟราเรด (ความยาวคลื่นระหว่าง 700-2500 nm) ที่ส่องไปยังวัสดุ เช่น ผลผลิตทางเกษตรและอาหาร ทำให้พันธะทางเคมีภายในวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธะ O-H, C-H และ N-H ของวัสดุ ดูดซับคลื่นและทำให้เกิดอาการสั่นสะเทือนของพันธะ โดยการเปลี่ยนระดับพลังงานข้ามชั้นมากกว่า 1 ชั้น (Overtone) หรือเกิดจากการสั่นสะเทือนข้าม 1 ชั้น (Fundamental vibration) พร้อมกันของพันธะตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป ทำให้ได้ผลรวมของการสั่น (Combination vibration) เครื่องมือที่ใช้เรียกว่าสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ซึ่งมีแหล่งแสงที่ให้ช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด ปกติเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten halogen) ตัวตรวจวัด (Detector) ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำจากสารต่างๆ ไม่เหมือนกัน ขึ้นกับช่วงคลื่นที่ต้องการตรวจวัด เช่น ช่วงคลื่น 350-1100 nm ใช้ Si (Silicon) ช่วง 1100-2500 nm ใช้ PbS (Lead sulphide) หรือ InGaAs (Indium Gallium Arsenide) ช่วงแสงที่มองเห็นได้และช่วงเนียร์อินฟราเรด (400-2600 nm) ใช้ PbS ควบคู่ (Sandwiched) กับ Silicon photodiodes วิธีการจัดวางตัวอย่างเพื่อการสแกนด้วยสเปกโตรมิเตอร์ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีสะท้อน (Reflectance) เป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดวางตัวอย่าง เมื่อแสงส่องไปยังวัตถุแล้วแพร่ลงไปใต้อวัตถุบางส่วนแล้วสะท้อนกลับขึ้นมาสู่ตัวตรวจวัด บ้างเรียกว่า การสะท้อนแบบแพร่ (Diffused reflectance) โดยมีแหล่งแสงและตัวตรวจวัดอยู่ด้านล่าง ในปัจจุบันเนื่องจากมีความสะดวกในการใช้สายไฟเบอร์ออปติก วัด การสะท้อนจากวัตถุแบบ Interactance ซึ่งมีสายไฟเบอร์ออปติกที่เป็นตัวนำคลื่นที่สะท้อนจากวัตถุกลับไปยังตัวตรวจวัด ซึ่งอยู่ใกล้กัน เรียกว่า Interactance-Reflectance ได้ วิธีส่องผ่านคลื่นไปในตัวอย่าง ก่อนที่จะรับแสงที่ผ่านออกมาไปวิเคราะห์ เรียกว่า วิธีส่องผ่าน (Transmittance) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กับของเหลว นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับของแข็ง เช่น กรณีของผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ FQA NIR GUN ซึ่งปกติเป็นแบบสะท้อนให้เป็นวิธีส่องผ่าน โดยใช้ Gold cup นอกจากนี้ยังมีการวัดแบบส่องผ่านสะท้อน (Transflectance) เป็นการส่งคลื่นผ่านตัวอย่าง ซึ่งโดยปกติเป็นของเหลวที่อยู่ในภาชนะที่ทำด้วยอะลูมิเนียมที่มีความลึกลงๆ เมื่อคลื่นกระทบพื้นอะลูมิเนียมจะสะท้อนผ่านตัวอย่างขึ้นมาเข้าสู่ตัวตรวจวัด

เนื่องจากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมจะมีค่าพิค ส่วนใหญ่เป็นพิคกว้าง (Broad spectrum) ซึ่งมีพิคกว้างที่มีความเข้มสูง เนื่องจากการซ้อนทับกัน (Overlapping bands) บางทีอาจจะเห็นพิคที่คมชัด (แต่น้อย) สเปกตรัมของวัสดุเกษตรและอาหารส่วนใหญ่มีพิคของน้ำเป็นพิคใหญ่และกว้างที่บริเวณ 760, 970, 1450 และ 1940 nm ลักษณะของสเปกตรัมเช่นนี้ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้หลักทางเคมีเมตริก (Chemometric) มาใช้ โดยต้องทำสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบทางเคมีหรือสมบัติทางกายภาพหรือสมบัติอื่นที่ต้องการวิเคราะห์ (เช่น ไขมันในปลา ความหวานของผลไม้ สมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร ปริมาณเนื้อเยื่อของน้ำยาง เป็นต้น) กับข้อมูลของสเปกตรัมซึ่งเรียกว่าข้อมูลเชิงแสง (Optical data) เพื่อประมาณค่าองค์ประกอบหรือสมบัติที่ต้องการ

2.4 หลักการพื้นฐานของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy [34]

หลักการของสเปกโทรสโกปี คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืน (Absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (Transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (Reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (Fluorescence or Phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง (Scattered) ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ [34]

สเปกโทรสโกปีมีกฎของการดูดกลืนแสงที่สำคัญที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ประการคือ

1. กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) กล่าวว่า “เมื่อแสงสีเดียว (monochromatic light) คือ แสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว (homogeneous) เป็นสัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้ โดยไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงเริ่มต้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน” [35]

2. กฎของเบียร์ (Beer's law) กล่าวว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียวสัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น” [35] ในทางปฏิบัติปริมาณความเข้มข้นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่แสงส่องผ่าน จึงต้องรวมกฎทั้งสองเข้าด้วยกันเรียกว่า กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc \quad 2.1$$

เนื่องจาก T (Transmittance) เท่ากับ

$$T = \frac{I}{I_0} \quad 2.2$$

เพราะฉะนั้น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc = \log \frac{1}{T} \quad 2.3$$

เมื่อ I = ความเข้มของแสงความยาวคลื่นเดียวที่ส่งผ่านออกมา

ϵ = สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง ปกติเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น และอุณหภูมิ

I_0 = ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลางเมื่อ $b=0$

b = ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

c = ความเข้มข้นของสารในหน่วย โมล/ลิตร

A = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

โมเลกุลของสารแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุลต่างกัน นอกจากนั้นในแต่ละโมเลกุลจะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นมากกว่า 1 ช่วง เช่นโมเลกุลของน้ำ (H_2O) ที่มีมากในผลิตภัณฑ์อาหาร มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น 4 ช่วง คือ 760, 970, 1450 และ 1940 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าทำการทดสอบที่ช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวจะสามารถหาความสัมพันธ์ของน้ำภายในตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเลือกวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น (Selecting the Data Preprocessing Model Method) [36]

วิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่สำคัญ ที่มีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองของสเปกตรัมในทางที่อัลกอริธึม PLS สามารถให้ความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างสเปกตรัมกับข้อมูลความเข้มข้นสอดคล้องกันสำหรับแต่ละองค์ประกอบ

- การลบโดยค่าคงที่ (Subtraction of a Constant Offset): สเปกตรัมจะถูกปรับแบบเชิงเส้นเพื่อให้ค่า Y ที่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์

การใช้งาน: เป็นการกำจัดปัญหาการขยับขึ้นของเบสไลน์ (Baseline Shift) เชิงเส้น สิ่งเหล่านี้เกิดจากเช่น

จากค่าที่แตกต่างกันของการขยายสัญญาณของดีเทคเตอร์ (Detector Amplification)

- การลบโดยเส้นตรง (Subtraction of a Straight Line): ในแต่ละช่วงความถี่ที่เลือกไว้ เส้นตรงเส้นหนึ่งจะถูกฟิตเส้นสเปกตรัมโดยใช้วิธีวิธี partial least squares (PLS) เส้นตรงเส้นนี้จะถูกลบออกจากสเปกตรัมดังกล่าว

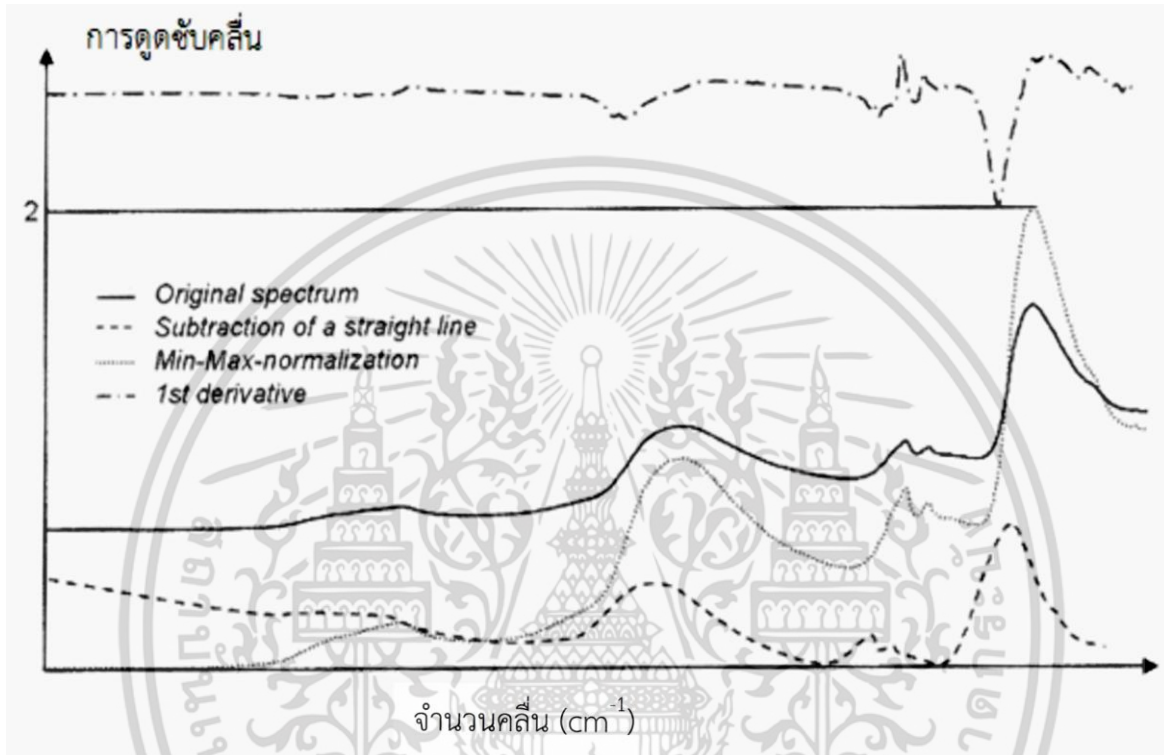
การใช้งาน: กำจัดปัญหาความเอียงเชิงเส้นของการขยับขึ้นของเบสไลน์ (ดูรูปที่ 2.11)

- Vector Normalization: ชั้นแรกสเปกตรัมจะถูกหาค่ากลาง จากนั้นผลรวมของค่ายกกำลังสองของค่า Y ทั้งหมดจะถูกคำนวณ และสเปกตรัมใดๆจะถูกหารด้วยค่ารากที่สองของผลรวมนี้ สิ่งนี้เรียกว่า vector norm ของสเปกตรัมที่ได้จะเท่ากับ 1 เสมอ

การใช้งาน: ในหลักการ สเปกตรัมจะประกอบด้วยสองส่วนของข้อมูล คือความสูงของแถบการดูดซับและโครงสร้าง หลังจากการนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ข้อมูลความสูงจะหายไป มีเพียงโครงสร้างข้อมูลยังคงอยู่ การนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ถูกใช้เพื่อช่วยลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล เช่นการกำจัดผลกระทบของเส้นทางผ่านเชิงแสง (Optical Path Length) ที่แตกต่างกัน ในกรณีของการวัดแบบส่องผ่าน ความยาวของเส้นทางผ่านเชิงแสงทำให้ความสูงของสัญญาณเปลี่ยนแปลง แต่โครงสร้างยังเหมือนเดิม ในทำนองเดียวกันการวัดแบบสะท้อนแบบแพร่จะมีผลกระทบของการรบกวนเนื่องจากความหนาแน่นของวัสดุแตกต่างกันหรือขนาดอนุภาคแตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้ก็จะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Min-Max-Normalization (สำหรับสเปกตรัมการดูดซับคลื่น): สเปกตรัมจะถูกขยับเชิงเส้นเพื่อให้ค่า Y ที่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วสเปกตรัมจะถูกขยายเพื่อให้ค่า Y สูงสุดเท่ากับสองหน่วยของการดูดซับคลื่น (รูปที่ 2.11) การใช้งาน: เทียบได้กับ Vector Normalization



รูปที่ 2.11 NIR สเปกตรัมของมือคน; วัตถุประสงค์การสะท้อนแบบแพร่ [36]

- Multiplicative Scatter Correction: ขั้นตอนแรก, สเปกตรัมเฉลี่ยคำนวณจากทุกๆสเปกตรัมของชุดข้อมูลคาลิเบรชัน แล้วแต่ละสเปกตรัม $X(i)$ จะถูกแปรเปลี่ยนไปตาม

$$X(i)' = u + v \cdot X(i)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ u และ v จะถูกเลือกเพื่อให้มีความแตกต่างระหว่างสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงแล้ว $X(i)'$ กับสเปกตรัมเฉลี่ยน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน: สเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงย่าน NIR แบบ diffuse reflectance และแบบ transmission มักจะเกิดการกระเจิงแสง (scattered light) ดังนั้นได้มีการเสนอแนวทางโดยวิธี MSC มาปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

- **อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First Derivative)** คำนวณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของสเปกตรัม (รูปที่ 2.11)

การใช้งาน: โดยการคำนวณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง สัญญาณที่มีความชันจะถูกเน้นมากกว่าสัญญาณที่ค่อนข้างแบนราบ วิธีนี้จะถูกใช้เน้นลักษณะที่ชัดเจน แต่มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่มีแถบการดูดซับคลื่นที่กว้าง การประยุกต์ใช้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ การประเมินแถบการดูดซับคลื่นที่กว้างนี้มักจะทำในเทคโนโลยี NIR โดยการคำนวณอนุพันธ์ โครงสร้างเหล่านี้จะมีรูปร่างที่สูงชันขึ้น ซึ่งสามารถได้รับการประเมินได้ง่ายขึ้น

เมื่อใช้อนุพันธ์เป็นการจัดการข้อมูลเบื้องต้น จะต้องคำนึงถึงว่าสัญญาณรบกวนจะถูกจัดการเช่นกัน สิ่งนี้จะซ้อนทับบนสเปกตรัมเป็นสิ่งรบกวนเพิ่มเติม และสามารถทำให้สัญญาณของตัวอย่างเลวลง

- **อนุพันธ์ที่สอง (Second Derivative)** คำนวณอนุพันธ์อันดับสองของสเปกตรัมนั้น

การใช้งาน: เมื่อเทียบกับอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง แม้โครงสร้างที่ราบเรียบมากๆสามารถประเมินได้ ผลการรบกวนของสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยทั่วไปมีมากจนทำให้สเปกตรัมถูกวิเคราะห์ในช่วงสเปกตรัมที่จำกัดมากๆ

รูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นอิทธิพลของวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นแบบต่างๆต่อลักษณะของ NIR-สเปกตรัม (การวัดมือคนด้วยหัววัดไฟเบอร์ออปติก) สเปกตรัมเดิมแสดงให้เห็นการขจัด (Offset) ของเบสไลน์ เช่นเดียวกับการขยับขึ้น (Drift) การขยับขึ้นนี้สามารถถูกกำจัดโดยการลบออกจากเส้นตรง (Subtraction of a Straight Line) (เส้นประ) และการขจัดถูกกำจัดโดยการ Min-Max Normalization (เส้นจุด) อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของเส้นสเปกตรัมเดิม (เส้นประ-จุด) ถูกขยายเพื่อแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนและขยับขึ้นสู่ตำแหน่งที่ค่าการดูดซับคลื่นสูง สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างที่แหลมขึ้นมาได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมเดิม

วิธีที่เหมาะสมที่สุดขึ้นอยู่กับระบบที่จะวิเคราะห์ จากประสบการณ์แสดงให้เห็นว่าในหลายกรณี การลบด้วยเส้นตรง การนอมนัลไรเซชันสเปกตรัม หรือการทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง ได้ผลที่ดีที่สุดในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาลิเบรชัน ในบางกรณีการใช้วิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น 2 วิธีรวมกันก็ได้ผลดีที่สุดเช่นกัน บ่อยครั้งที่แบบจำลองแบบต่างๆ ให้ผลได้ดีเท่าเทียมกันซึ่งโดยทั่วไปควรทดสอบดูหลายๆวิธีเปรียบเทียบกับกัน

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR [37]

การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR ประกอบไปด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนหลัก คือ

1. ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย (Calibration)
2. ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา (Validation) ในการทำ Calibration เพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทราบ ต่อจากนั้นต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จากการทำ Calibration มาตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการมาตรฐานในการทำนายคุณภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่าการทำ Validation หรือ Verification เพื่อทดสอบสมการที่ได้ว่ามีความเหมาะสม หรือแม่นยำเพียงใด เมื่อได้ผลทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงจะนำสมการที่ได้ไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาจากสเปกตรัม NIR ที่ทำการวัดมาได้

2.6.1 ขั้นตอนการทำ Calibration [37]

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจะดำเนินขั้นตอนการทำ Calibration ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- กำหนดตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรตาม (Dependent Variables)
 - ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ที่นำมาใช้ในการสร้างสมการคือค่าที่อ่านได้จากสเปกตรัม NIR เช่น ค่า $\log(1/R)$ เป็นต้น
- ตัวแปรตาม (Dependent Variables) หมายถึงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Reference Laboratory Methods เช่นความชื้นในแป้ง ด้วยวิธี Oven drying method
- การสร้างสมการ Calibration

ในการสร้างสมการนั้นสิ่งสำคัญคือ การหาตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์คุณภาพ การคัดเลือกหาตัวแปรอิสระสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลัก คือ

1. Wavelength selection เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์เทคนิคในการเลือกมีหลายแบบเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 เลือกจากความรู้อย่างชำนาญ หรือเอกสารอ้างอิงที่บ่งบอกถึงช่วงความยาวคลื่นที่คาดว่าจะสัมพันธ์กับค่าที่จะทำการวิเคราะห์

1.2 อาจจะใช้เทคนิคทางสถิติในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์ เช่น Multiple regression หรือการสร้าง correlelogram โดยการสร้าง correlelogram เป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X คือความยาวคลื่น กับแกน Y คือค่าความสัมพันธ์อย่างง่ายของความสัมพันธ์ระหว่าง optical data ณ ความยาวคลื่นนั้นกับค่าวิเคราะห์ที่หามาได้ด้วยวิธี Reference measurement ซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยสามารถคัดเลือกความยาวคลื่นที่มีความเป็นไปได้ที่จะสัมพันธ์กับค่าที่วิเคราะห์ซึ่งการสร้างสมการ

Calibration แบบอาศัยหลักวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ และวิธีการทางสถิติมาช่วยในการสร้างสมการ ได้แก่ Simple Linear Regression, Multiple Linear Regression

การสร้างสมการ Calibration โดยใช้ Simple linear regression หรือ Single term linear regression ในเทคนิค NIR เป็นการเลือกใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่สัมพันธ์กับค่าที่ต้องการวิเคราะห์เพียงความยาวคลื่นเดียว ซึ่งทำให้ค่า correlation ที่ได้มีค่าต่ำจึงไม่นิยมนำมาใช้ในการสร้างสมการ calibration

Multiple Linear Regressions (MLR) เป็นวิธีการใช้ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่า 1 ตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) ซึ่งเป็นค่าตัวแปรที่ได้จากวิธีอ้างอิง 1 ตัว จะทำให้สมการที่ได้ลดความผิดพลาดในการประมาณค่าลงได้ หากพิจารณาในเรื่องการใช้เทคนิค NIRS ในการหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างก็หมายถึงการพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงที่หลายความยาวคลื่นนั่นเอง สมการ regression คือ

$$\text{สมการ regression } Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (2.4)$$

$$\text{model regression } Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + e \quad (2.5)$$

ซึ่ง $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ = (partial regression coefficient)

2. Full spectral analysis เป็นวิธีการคัดเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสม (Selective wavelength) จากความยาวคลื่นทั้งหมดที่มีในสเปกตรัมมาสร้างสมการ calibration ดังวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว บางครั้งอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ถ้ามีการสร้างสมการที่ไม่ถูกต้อง อาจเกิดปัญหาทำให้ค่าที่ทำนายต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่แท้จริง (Under estimation/ Over estimation) อันเนื่องมาจากการเกิดความคลาดเคลื่อนจากการสร้างสมการ (Interference) หรือเกิดปัญหาเมื่อมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการสร้างสมการทำนายมีน้อย จึงทำให้ได้สมการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไปในสมการ ทำให้ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ (Over fitting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มีในทุกความยาวคลื่นของสเปกตรัม (Full spectrum) น่าจะเป็นหนทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตามปัญหาที่มีอยู่ คือการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไป

การใช้วิธีทางสถิติในการจัดกลุ่มแยกประเภทตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกัน และทำการสร้างตัวแปรใหม่ที่เกิดมาจากตัวแปรเดิมจะช่วยทำให้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่

Principal Components Regression (PCR) การทำ PCR จะเริ่มจากการทำ Principal Components Analysis (PCA) กับข้อมูลที่เป็นตัวแปรอิสระที่ได้มาจากข้อมูลของสเปกตรัมเพื่อสร้างองค์ประกอบหรือตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า New Factors ก่อน แล้วจึงนำค่าตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่ได้จากวิธีอ้างอิงเพื่อสร้างสมการ calibration โดยใช้หลักการของ MLR

Principal Components Analysis (PCA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดจำนวนของตัวแปรอิสระในกรณีที่มีตัวแปรอิสระมีจำนวนมาก ยกตัวอย่างเช่น วัดค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่ 700 ความยาวคลื่น จำนวนสเปกตรัมดังกล่าว คือจำนวนของสเปกตรัมอิสระนั่นเอง การลดลงของจำนวนตัวแปรมีวิธีการคือ แบ่งกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่าปัจจัย (factor) หรือ องค์ประกอบปัจจัยที่สร้างขึ้น อีกนัยหนึ่งก็คือผลรวมของค่าสเปกตรัมทุกความยาวคลื่นที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน factor จะมีได้หลายปัจจัยโดยแต่ละปัจจัยมีน้ำหนักแตกต่างกัน แต่ค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งประกอบกันเป็นปัจจัยนั้นๆ ปัจจัยแรกจะถูกสร้างขึ้นมาให้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าสเปกตรัมได้มากที่สุด ปัจจัยที่สองอธิบายความแปรปรวนที่เหลือ ซึ่งทำให้ปัจจัยแต่ละปัจจัยแทบจะไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน (Non-Collinearity) ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ เมื่อทำการหาปัจจัยเรียบร้อยแล้ว นำปัจจัยที่ได้มาทำ Regression กับค่าทางเคมีโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ทำให้ได้ค่า Chemical loading หรือ Calibration coefficient

Partial Least Square (PLS) Regression เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปรเช่นเดียวกับวิธี PCR กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมจะเป็นอิสระจากกระบวนการทำสมการถดถอยของสมการทำนาย ซึ่งใน PLS ทั้งสองกระบวนการจะถูกเชื่อมโยงเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีการนำค่าองค์ประกอบทางเคมีมาคิดในกระบวนการหาปัจจัยด้วย ซึ่ง Kasemsamran, (2005) [38] ได้อธิบายถึง PLS ว่าเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวแปรหลายตัวแปร โดยการสร้างปัจจัยแบบสมการเชิงเส้นตรงจากข้อมูลของสเปกตรัมเริ่มต้น และนำปัจจัยที่ได้ไปใช้ในการสร้างสมการถดถอย โดยปัจจัยที่ได้จากการสร้างสมการด้วยวิธีสถิติ PLS ต้องสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล และเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมีในเวลาเดียวกัน

วัตถุประสงค์ของ PLS เพื่อต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัม ให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับการทำนายค่าทางเคมีที่สนใจเท่านั้น เพื่อให้สามารถประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ขั้นตอนการทำ Validation

หลังจากที่ได้สร้างสมการแล้ว ต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของสมการนั้น ก่อนนำไปใช้งานจริง ซึ่งการทดสอบสมการที่นิยมมี 2 วิธี คือ

2.6.2.1. Full cross validation

เป็นการทดสอบสมการภายใน หมายความว่า ตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการ เป็นตัวอย่างชุดมาตรฐานทั้งหมด ที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมีนั่นเอง มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
2. ใช้ตัวอย่างมาตรฐานที่เหลือทำการสร้างสมการ
3. นำสมการที่ได้ประเมินค่าทางเคมีของตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ที่ตัดออก
4. ใส่ตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 กลับคืนเข้าไป
5. ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
6. ทำขั้นตอนซ้ำข้างต้น จนครบทุกตัวอย่าง

จากนั้นทำการหาค่า Root Mean Square Error of Cross Validation (RMSECV)

2.6.2.2 การทดสอบผลการประเมิน (Prediction testing)

วิธีนี้จะทดสอบสมการแบบภายนอก โดยการเตรียมตัวอย่างชุดใหม่มาทำการวิเคราะห์ในสภาวะการทดลอง เช่นเดียวกับชุดตัวอย่างมาตรฐาน เรียกชุดตัวอย่างที่นำมาทดลองสมการนี้ว่า ชุดทดสอบ (Testing set) ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่าหนึ่งตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) สิ่งที่ต้องระวังคือ ปริมาณค่าทางเคมีที่ใช้ทดสอบต้องอยู่ในช่วงมาตรฐาน หลังจากได้สเปกตรัมจากชุดทดสอบก็นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณค่าทางเคมีจากสมการ จากนั้นดูผลการคำนวณที่ได้จากค่าทางสถิติ ซึ่งค่าทางสถิติที่ควรพิจารณาคือ ค่า Bias ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธี NIR กับค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง และค่า Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP) หรือค่า Standard Error of Prediction (SEP) ซึ่งแสดงในสมการ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของโมเดล [39]

สถิติที่ใช้ในการประเมินค่า NIRS calibration

2.7.1 Mean (ค่าเฉลี่ย) [39]

ค่าเฉลี่ยเป็นค่าทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลที่ใช้อ้างอิง (X) หรือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่องวัดสเปกตรัม (Y) ค่าเฉลี่ยนั้นจะถูกคำนวณจากผลรวมของค่า X หรือ Y และถูกหารโดยจำนวนของข้อมูล (N) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (2.6)$$

2.7.2 Standard deviation (SD)[39]

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลง หรือความแปรปรวนในข้อมูล นั่นคือ รากที่สองของความแปรปรวน สูตรในการหาค่า SD_x (หรือ SD_y) คือ

$$SD_x = \left\{ \left(\sum X^2 - \left[\left(\sum X \right)^2 / N \right] \right) / (N - 1) \right\}^{1/2} \quad (2.7)$$

2.7.3 Bias (ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRS และข้อมูลที่อ้างอิง) [39]

เมื่อทำนายค่าตัวแปรที่ต้องการของข้อมูลในเซตตัวอย่าง Validation ค่า Bias หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าอ้างอิงและค่าที่ทำนายโดย NIRS และเป็นการวัดความแม่นยำโดยรวมของ calibration ในโลกความเป็นจริงของทางการค้าและอุตสาหกรรม Bias เป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญมาก ในทางสถิติ Bias สามารถเกิดขึ้นได้ถึงแม้เมื่อค่าสถิติสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์และ SEP แสดงว่าค่า calibration นั้นดีเยี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรสำหรับการคำนวณ Bias คือ

$$\text{Bias} = \left(\sum X/N \right) - \left(\sum Y/N \right) \quad (2.8)$$

เมื่อ X = ค่าอ้างอิง และ Y = ค่าที่ได้จากการทำนาย โดย NIRS สามารถเป็นบวกหรือลบก็ได้

2.7.4 สัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination, R^2) [39]

แสดงสัดส่วนของความแปรปรวนในข้อมูล X ที่สามารถอธิบายโดยความแปรปรวนในข้อมูล Y ค่าของ R^2 จะเป็นบวกเสมอ เช่น ถ้า $R = 0.97$ แล้ว $R^2 = 0.941$ หมายความว่า 94.1% ของความแปรปรวนในข้อมูล X และ 5.9% ของความแปรปรวนในข้อมูล X เกิดขึ้นจากตัวแปรอื่น เช่น การเตรียมตัวอย่าง วิธีการทดลอง อ้างอิง และอื่นๆ ค่า R^2 เป็นบวกเสมอโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของ R ในทางปฏิบัติ R^2 ให้ข้อมูลมากกว่า R และใช้กันมากกว่า R การแปลความหมายของค่า R และ R^2 แสดงดังตารางที่ 1 R^2 คำนวณได้จากสมการ 2.9 [40]

$$R^2 = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{\text{meas}} - \bar{Y})^2} \right] \quad (2.9)$$

เมื่อ Y^{meas} คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี

Y^{pred} คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วย NIRS

n คือ จำนวนตัวอย่าง

i คือ เลขที่ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การแปลความหมายของค่า R^2 [39]

R^2	การแปลความหมาย
ถึง 0.25	ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration
0.26-0.49	เป็นความสัมพันธ์ที่เลว ควรหาเหตุผล
0.50-0.64	เหมาะสำหรับการคัดเลือกอย่างหยาบๆ
0.66-0.81	ดี สำหรับการคัดเลือกและการประมาณค่าอย่างหยาบๆ
0.83-0.90	ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึง การวิจัย
0.92-0.96	ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการประกันคุณภาพ
0.98+	ดีเยี่ยม ใช้ได้กับทุกการประยุกต์ใช้

ตารางแสดงการแปลความหมายของค่า R^2 [39]

2.7.5 Root mean square error of estimation ($RMSEE$) [40]

เป็นค่าที่ใช้วิเคราะห์ข้อผิดพลาดของชุดทดสอบ (Calibration) ที่ไม่เหมาะในการใช้กับชุดทำนาย (Validation) สูตรการคำนวณ $RMSEE$ คือ

$$RMSEE = \left\{ \left[\sum_{i=1}^M (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}})^2 \right] / (M - R - 1) \right\}^{1/2} \quad (2.10)$$

M คือ จำนวนตัวอย่าง

i คือ เลขที่ตัวอย่าง

R คือ จำนวนแพคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6 Root mean square error of the prediction (*RMSEP*) [39]

เป็นค่าในการวัดความถูกต้องเชิงปริมาณของชุดทดสอบ

$$RMSEP = \left[\frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}})^2 \right]^{1/2} \quad (2.11)$$

2.7.7 Ratio of SEP to the SD (RPD) [40]

RPD ย่อมาจาก Ratio of Standard error of Prediction (Validation) to (Standard) Deviation คือ อัตราส่วนของ ค่า error มาตรฐานของการทำนาย (validation) กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.12 – 2.13

$$RPD = (SD_{\text{validation set}}) / SEP_{\text{bias}} \quad (2.12)$$

อีกวิธีหนึ่งคือใช้สูตร

$$RPD = 1 / (1 - r^2)^{1/2} \quad (2.13)$$

ซึ่งผู้ใช้ส่วนมากพบว่าการใช้สูตร 2.12 ง่ายกว่า โดย SEP_{bias} หาได้จากสูตร

$$SEP_{\text{bias}} = \left[\frac{1}{M-1} \cdot \sum_{i=1}^M (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}} - \text{bias})^2 \right]^{1/2} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า SEP ควรต่ำกว่า SD มาก ซึ่งอัตราส่วนควรเท่ากับ 5 หรือมากกว่า บางกรณีตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมาก ค่า SD จึงไม่สูง ซึ่ง RPD อาจจะทำ แต่ถ้า SEP ต่ำกว่า SD มาก จะส่งผลให้ RPD เท่ากับ 2.5-3.0 แสดงถึงการวิเคราะห์ที่แม่นยำถ้า SD มีค่าเพียง 0.4-0.5

ตารางที่ 2.2 ค่าทางสถิติ RPD [40]

ค่า RPD	การแบ่งกลุ่ม	การประยุกต์ใช้
0.0-2.3	เลวมาก	ไม่แนะนำ
2.4-3.0	เลว	คัดเลือกแบบหยาบๆ
3.1-4.9	พอใช้	คัดเลือก
5.0-6.4	ดี	ควบคุมคุณภาพ
6.5-8.0	ดีมาก	ควบคุมขั้นตอน
8.1+	ดีเยี่ยม	ได้ทุกการประยุกต์ใช้

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์, R^2 , bias และค่า RPD คือค่าทางสถิติที่มีความสำคัญมากที่สุดสำหรับการประเมินค่าความมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์โดย NIRS

นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์สมรรถนะของแบบจำลองโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดที่วิเคราะห์ Reproducibility กับ SEP โดยถ้าค่านี้มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าแบบจำลองใช้ได้ดีเยี่ยม ถ้าเท่ากับ 1-2.1 แสดงว่าดี ถ้าเท่ากับ 2.1-2.4 แสดงว่าพอใช้ ถ้าเท่ากับ 2.5-3 แสดงว่าไม่ดี ถ้ามากกว่า 3 แสดงว่าเลว (จากการสนทนากับ Tony, Pietroutonio, Caltest, USA)

การอธิบายการสรุปของค่าสถิติเหล่านี้ SEP แสดงความแปรปรวนในความเบี่ยงเบนของ X จาก Y ส่วน bias แสดงค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของผล SEP ร่วมกับ Bias แสดงความแม่นยำโดยรวมของกระบวนการทดสอบ ค่า RPD สร้างความสัมพันธ์ SEP กับ SD ของข้อมูลอ้างอิง และสร้างมาตรฐานของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลความหมายของ SEP ค่า RPD ที่สูง (อย่างต่ำเท่ากับ 5 หรือมากกว่า แต่ที่อย่างน้อยคือ 3) แสดงประสิทธิภาพในการทำนาย NIR ให้ตระหนักว่า SEP คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จึงมีข้อจำกัดเช่นเดียวกับ SD

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ , R หรือค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา , R^2 แสดงความใกล้ชิดของความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจากการทำนายของ NIR กับข้อมูลอ้างอิง ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่สูงกับค่า SEP และ Bias ที่ต่ำ ร่วมด้วย slope ที่เข้าใกล้ 1.0 หมายความว่าผล NIRS ถูกต้องในช่วงข้อมูลที่วัด และยังคงอยู่ด้วยภายใต้เงื่อนไขว่าค่าสถิตินี้ได้จากจำนวนตัวอย่างที่มากเพียงพอ ตัวอย่างควรมีอย่างน้อย 25 ตัวอย่างสำหรับทุกๆความยาวคลื่นโดยใช้ MLR และอย่างน้อยที่สุด 15 ตัวอย่างต่อปัจจัยในการใช้ PLS regression ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่สูง (>0.95) แต่มีค่า bias อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองมีค่ามาก หมายความว่ายังคงมีความคลาดเคลื่อน

Slope แสดงระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าทำนายด้วย NIRS ซึ่งสัมพันธ์กับค่าอ้างอิง ค่า slope เท่ากับ 1 คือค่าที่ดีเยี่ยม เพราะแสดงว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงในเซตทั้งสองของข้อมูลเหมือนกันทุกประการ ความเบี่ยงเบนจาก 1.0 ที่มากกว่า 0.05 ควรจะต้องแก้ไข slope และค่า bias ที่อาจเป็นไปได้ ความเบี่ยงเบนที่มากกว่า 0.1 ยิ่งมีนัยสำคัญมาก และต้องการการสืบสวนไปยังสาเหตุ ค่า regression ทางสถิติ b และ a สามารถใช้ในสมการ $y = a + bx$ เพื่อแก้ไขค่า slope และ bias แต่ในทางปฏิบัติ การเปลี่ยน slope ไม่ควรทำ โดยทั่วไป ถ้าค่า slope มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจาก 1.0 โมเดล calibration อาจจะไม่ดีในการทำนายสำหรับตัวอย่างที่ตามมา

การปรับปรุง slope/bias จะช่วยให้ทำนายตัวอย่างที่มีค่าสูงหรือต่ำมากได้แม่นยำขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์จะไม่เปลี่ยน ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์น้อย (<0.8) โดยปกติจะเป็นไปไม่ได้ที่ NIRS จะทำนายได้แม่นยำสูงสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าจะปรับปรุง slope/bias แล้วเพราะว่าโมเดล calibration อาจจะไม่สามารถใช้ได้ ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่ต่ำระหว่างข้อมูลที่ทำนายโดย NIRS และข้อมูลอ้างอิง หมายความว่า การวิเคราะห์ NIR ไม่ประสบผลสำเร็จ การศึกษาสาเหตุของข้อผิดพลาด (error) ของผล NIR ที่ไม่ดีอย่างระมัดระวัง รวมถึงการวิเคราะห์ค่าอ้างอิง แต่ผลยังคงไม่ดี แสดง ว่า NIRS นั้นไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ , R^2 , bias และค่า RPD คือค่าทางสถิติที่มีความสำคัญมากที่สุด สำหรับ การประเมินค่าความมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์โดย NIRS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ระบบสมการเชิงเส้น (General Linear Model GLM) [41]

สมการเชิงเส้น(Linear equation) หมายถึง สมการใด ๆ ที่มีตัวแปร 1 ตัว หรือ 2 ตัว หรือ 3 ตัว แต่กำลังของตัวแปรนั้น ๆ ต้องเป็น 1 เสมอ เช่น

$$aX + bY + cZ = d \quad (2.15)$$

2.8.1 สมการเชิงเส้นสองตัวแปร (Linear equation with two variable)

สมการเชิงเส้นสองตัวแปร คือ สมการที่อยู่ในรูปทั่วไป คือ $Ax + By + C = 0$ เมื่อ A, B, C เป็นค่าคงที่ A, B ไม่เป็นศูนย์พร้อมกัน และ x, y เป็นตัวแปร

2.8.2 กราฟสมการเชิงเส้นสองตัวแปรกราฟ คือ กราฟของคำตอบของสมการเชิงเส้นสองตัวแปร ซึ่งเกิดจากการนำคำตอบไปเขียนกราฟจากรูปทั่วไปของสมการเชิงเส้นสองตัวแปร คือ

$$\begin{aligned} Ax + By + C = 0 & \quad \text{จะได้} \quad By = -Ax - C \\ y &= (-A/B)x - C/B \end{aligned} \quad (2.16)$$

ให้ $a = -A/B$ และ $b = -C/B$ ปรับรูปสมการใหม่ จะได้ $y = ax + b$ เมื่อ a, b เป็นค่าคงที่ x, y เป็นตัวแปร (a คือ ความชัน, b เป็นตำแหน่งที่กราฟตัดแกน Y ที่จุด $(0, b)$)

2.8.3 ระบบสมการเชิงเส้นสองตัวแปร (system of linear equation with two variable)ให้

a, b, c, d, e และ f เป็นจำนวนจริงใด ๆ ที่ a, b ไม่เป็นศูนย์พร้อมกันและ c, d ไม่เป็นศูนย์พร้อมกัน เรียก $ax + by = e$ $cx + dy = f$ ว่าระบบสมการเชิงเส้นสองตัวแปร คำตอบของระบบสมการเชิงเส้น คือ ค่าของ x และ y ที่ทำให้ระบบสมการนั้นเป็นจริง ซึ่งอาจมีค่าเดียว มีหลายค่า หรือไม่มีคำตอบก็ได้ การแก้ระบบสมการเชิงเส้นมีวิธีการ 3 วิธี คือ 1. โดยการใช้กราฟ 2. โดยการกำจัดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่ง 3. โดยการแทนค่าตัวแปรตัวหนึ่งในรูปตัวแปรตัวหนึ่ง

1. การแก้ระบบสมการโดยใช้กราฟ การแก้ระบบสมการโดยใช้กราฟ คือ การเขียนกราฟเส้นตรงจากระบบสมการที่กำหนดให้คำตอบของระบบสมการคือ จุดตัดของกราฟทั้งสองที่ได้ คือ (x, y) ซึ่งเป็นคำตอบของระบบสมการ ถ้าในกรณีที่กราฟทั้งสองเส้นขนานกัน แสดงว่าระบบสมการนั้นไม่มีคำตอบ และถ้ากราฟที่ได้ทั้งสองเส้นทับกันแสดงว่าระบบสมการนั้นมีคำตอบหลายคำตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษา เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การแก้ระบบสมการเชิงเส้นโดยการกำจัดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่ง การแก้ระบบสมการเชิงเส้นโดยวิธีนี้จะใช้การบวกหรือการลบ ดังนี้ 1. ใช้สมบัติการบวก ถ้า a, b, c และ d เป็นจำนวนจริงใด ๆ โดยที่

$$a = b \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$$c = d \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} \quad a + c = b + d$$

2. ใช้สมบัติการลบ ถ้า a, b, c และ d เป็นจำนวนจริงใด ๆ โดยที่

$$a = b \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$$c = d \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1} - \textcircled{2} \quad a - c = b - d$$

และการจะเลือกใช้สมบัติการบวกหรือการลบ ให้พิจารณาวิธีการแก้ระบบสมการ ต่อไปนี้ 1. ถ้าต้องการกำจัดตัวแปรใด ให้ใช้สมบัติการคูณ ทำสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ต้องการกำจัดนั้นให้เท่ากัน หรือให้เป็นจำนวนตรงข้ามกัน 2. ถ้าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ต้องการกำจัด เท่ากัน ให้ใช้สมบัติการลบ จะทำให้ตัวแปรนั้นหายไป 3. ถ้าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ต้องการกำจัดเป็นจำนวนตรงข้ามกัน ให้ใช้สมบัติการบวก จะทำให้ตัวแปรนั้นหายไป 4. แก้สมการหาค่าตัวแปรที่เหลือ 5. นำค่าของตัวแปรที่ได้ในข้อ 4 แทนค่าในสมการที่โจทย์กำหนดสมการใดสมการหนึ่ง จะได้ค่าของตัวแปรที่เหลือ

3. การแก้ระบบสมการโดยการแทนค่า การแก้ระบบสมการโดยการแทนค่า ใช้วิธีการแทนค่าตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งจากสมการหนึ่ง ในสมการอีกอีกตัวหนึ่ง

4. โจทย์สมการเชิงเส้นสองตัวแปรขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาสมการเชิงเส้นสองตัวแปร ดังนี้
1. สมมติตัวแปรสองชนิด แทนสิ่งที่โจทย์ถาม 2. พิจารณาว่าตัวแปรที่สมมติเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับโจทย์หรือตัวเลขอื่น ๆ ในโจทย์อย่างไร 3. เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ ตามเงื่อนไขของโจทย์ 4. แก้ระบบสมการโดยอาศัยการแก้ระบบสมการหรือตามแต่วิธีที่สะดวก

2.8.4 การประมาณค่าโดยวิธี General Linear Model (GLM)

การประมาณค่าโดยวิธี Numerical Method สามารถคำนวณอย่างง่ายโดยวิธีทางเมตริกซ์แบบ Linear Algebra เพื่อหาค่าเมตริกซ์ x โดยความสัมพันธ์ของการคำนวณแสดงในสมการที่ 3.1

$$\begin{bmatrix} A_{Rice,1} & A_{Weevil,1} \\ A_{Rice,2} & A_{Weevil,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{Rice} \\ x_{Weevil} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{Unknow,1} \\ b_{Unknow,2} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- $A_{Rice,n1}$ - ค่าสัญญาณของข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของข้าว
- $A_{Rice,2}$ - ค่าสัญญาณของข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของด้วงวงข้าว
- $A_{Weevil,1}$ - ค่าสัญญาณของด้วงวงข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของข้าว
- $A_{Weevil,2}$ - ค่าสัญญาณของด้วงวงข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของด้วงวงข้าว
- X_{Rice} - สัดส่วนของข้าวในตัวอย่าง
- X_{Weevil} - สัดส่วนของด้วงวงข้าวในตัวอย่าง
- $b_{Unknow,1}$ - ค่าสัญญาณที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของข้าว
- $b_{Unknow,2}$ - ค่าสัญญาณที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของด้วงวงข้าว

จากสมการที่ 2.17 สามารถลดรูปโดยการเขียนอย่างง่ายได้ดังแสดงในสมการที่ 2.18

$$[A][x] = [b] \quad (2.18)$$

โดยที่

- A เป็นเมตริกซ์เอกลักษณ์ของข้าว กับมอด
- x เป็นเมตริกซ์แสดงสัดส่วนของข้าวกับมอดในตัวอย่าง b
- b เป็นเมตริกซ์ตัวอย่างที่ทำการวัดค่า

2.9 ประโยชน์ของการใช้เทคนิค NIR [42]

ประโยชน์จากการใช้ NIR มีข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางเคมี หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIR ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีประโยชน์มากมาย เช่น

- เป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง อีกทั้งยังง่ายต่อการเตรียมข้อมูลตัวอย่างและใช้ตัวอย่างในปริมาณน้อย
- เป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ประหยัดเวลา เชื่อถือได้ และปลอดภัย
- เป็นวิธีที่สามารถใช้ทดแทนการวิเคราะห์ทางเคมีได้ในระยะยาว จึงสามารถลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งไม่ใช่

สารเคมีในการเตรียมตัวอย่างดังนั้นจึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในการวัดสเปกตรัมแต่ละครั้งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อทำนายค่าต่างๆได้หลายค่าในเวลาเดียวกัน
- ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง ไม่จำเป็นต้องชั่งตัวอย่างก่อนนำมาวัดค่า
- สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากในการปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ หรือต้องได้รับการฝึกฝน โดยเฉพาะ สามารถปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานได้ทันที
- ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี และเครื่องแก้ว ทำให้สามารถลดต้นทุนในเรื่องสารเคมี และอุปกรณ์เครื่องแก้ว
- เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต

ซึ่งเป็นประโยชน์เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมอื่นที่สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ได้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุขอังคณา ลี. (2555) [43] รายงานว่าการเก็บรักษาข้าวสารไว้เป็นระยะเวลาอันนานมักจะมีแมลง โดยเฉพาะด้วงงวงข้าวมาทำลายข้าวสาร การใช้สารเคมีในการกำจัดอาจจะเร่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัยต่อผู้บริโภคหากมีสารเคมีตกค้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาวิธีกำจัดแมลงในข้าวสาร โดยการใช้รังสีอินฟราเรด ซึ่งเป็นรังสีความร้อนคลื่นสั้นในการให้ความร้อนเป็นระยะเวลาสั้น การคิดค้นเครื่องต้นแบบเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลและสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างเครื่องฉายรังสี เครื่องต้นแบบถูกออกแบบให้ใช้หลอดอินฟราเรด 1 ,000 วัตต์ 2 หลอด ระบบสายพานลำเลียงทำการทดลองกำจัดมอดในข้าวสารหอมมะลิ 105 ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design จำนวนการทดลอง 21 ครั้ง และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน และความเร็วรอบมอเตอร์ ผลการวิจัยพบว่า ค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 85° C ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 ซม. ความหนาข้าวบนสายพาน 1 ซม. และความเร็วรอบมอเตอร์ 825 รอบ/นาที ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวร้อยละ 100 ภายในระยะเวลา 2-3 นาที หลังการฉายรังสีข้าวจะเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง คุณภาพทางกายภาพไม่มีการแตกหัก เนื่องจากความร้อน การทดสอบคุณภาพข้าวหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 7.28 เป็นร้อยละ 8.86 , ความทรงตัวของแป้งสุกปานกลาง อัตราการยืดตัวของข้าวสุก และกลิ่นหอมไม่เปลี่ยนแปลง

ใจทิพย์ อุไรชื่น. (2553) [44] การใช้ความร้อนในการควบคุมแมลงศัตรูหลังเก็บเกี่ยว ได้ดำเนินการทดสอบกับด้วงงวงข้าวโพดตัวเต็มวัยที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C พบว่าระยะเวลาการอบที่สามารถควบคุมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วงวงข้าวโพดได้ 100% คือ 70, 40 และ 30 นาทีตามลำดับ หลังจากนั้น จึงทดสอบกับระยะอื่น ๆ ของด้วงวงข้าวโพดที่อุณหภูมิ 70°C พบว่าเวลาการอบที่ควบคุมระยะไข่ หนอน และดักแด้ได้ 100% คือ 60 นาทีเท่ากัน ต่อมาจึงทดสอบกับด้วงวงข้าวโพดทุกระยะการเจริญเติบโตอีกครั้ง โดยเพิ่มปริมาณข้าวต่อตัวอย่างเป็น 2 กิโลกรัม และใช้อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ให้ผลดีที่สุดในการควบคุมแมลงทั้ง 4 ระยะคือ 70°C นาน 3 ชั่วโมง, 80°C นาน 2 และ 3 ชั่วโมง เวลาที่ใช้จะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ขณะที่เปอร์เซ็นต์การควบคุมเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาของแต่ละระดับอุณหภูมิให้นานขึ้น ผลการตรวจสอบคุณภาพของข้าวสารหลังผ่านความร้อน พบว่า ความชื้น การดูดซับน้ำ ความแข็ง และความเหนียวของข้าวที่หุงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากข้าวที่ไม่ได้ผ่านความร้อน ($P < 0.05$) ค่าความชื้น และค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าความแข็ง และค่าความเหนียวกลับสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธี สำหรับค่าความเหลืองของข้าว ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่จากการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสข้าวที่ผ่านความร้อนระดับนี้เพื่อกำจัดแมลงทุกระยะการเจริญเติบโตเป็นที่ยอมรับได้ของผู้บริโภค

พุทธินันท์ จารุวัฒน์ . (2556) [45] ศึกษาการตรวจสอบปริมาณแมลงมอดข้าวสาร (*Sitophilus oryzae*; Linnaeus) ในข้าวเจ้าพันธุ์หอมมะลิไทย 2 รูปแบบคือข้าวขาวและข้าวกล้อง ด้วยการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ใช้หลักการการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านเนียร์อินฟราเรด (780-2,500 นาโนเมตร) ที่แตกต่างกันของวัสดุทดสอบสำหรับการคัดแยก การทดสอบแบ่งเป็นการทำนายตรวจสอบปริมาณการปนของแมลง 20 ระดับ ในตัวอย่างข้าวทดสอบหนัก 100 กรัม ตั้งแต่ระดับการปน 10-200 ตัว การเก็บข้อมูลตัวอย่างทดสอบใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์เก็บข้อมูลเส้นสเปกตรัมทั้งหมด 64 เส้นและเฉลี่ยเป็นเส้นสเปกตรัม 1 เส้นสำหรับการเก็บข้อมูลแต่ละค่า ข้อมูลเส้นสเปกตรัมทั้งหมดที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการมาตรฐานสำหรับการทำนายตรวจสอบและชุดทดสอบสมการมาตรฐาน ผลการทดสอบพบว่า ค่าความแตกต่างของการดูดซับคลื่นแสงย่านเนียร์อินฟราเรดของตัวอย่างทดสอบจะมีความชัดเจนมากขึ้นเมื่อระดับการปนของแมลงเพิ่มมากขึ้น ผลการวิเคราะห์พบว่าสมการมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นสำหรับการทำนายตรวจสอบระดับการปนของแมลงมอดข้าวสารในข้าวขาวและข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิมีความแม่นยำสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนับจริงของปริมาณมอดในตัวอย่างข้าวทดสอบโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) 0.96 และ 0.90 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า ช่วงความยาวคลื่นที่สำคัญสำหรับการตรวจสอบปริมาณมอดข้าวสารในข้าวขาวและข้าวกล้องหอมมะลิ ซึ่งใช้ค่าสัมบูรณ์ของ regression coefficient เป็นตัวชี้วัดจะปรากฏในช่วงของการดูดซับคลื่นของสารไคตินและส่วนประกอบจำพวกอินทรีย์สารที่มีอยู่ในเปลือกแข็งของแมลงในตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พุทธอินทร์ จารุวัฒน์ . (2556) [46] นำเสนอการตรวจวัดปริมาณมอดในข้าวที่เก็บรักษาด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีและวิธีการต่างๆ ในการตรวจสอบแมลงในข้าวที่เก็บรักษา ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธีการ จากนั้นได้นำเสนอการใช้วิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีในการตรวจสอบมอดข้าวและปรสิตที่อาศัยบนมอดข้าวซึ่งอาศัยอยู่ในเมล็ดข้าวสาลี และได้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีไปใช้ในการตรวจสอบเศษชิ้นแมลงชนิดมอดข้าวในแบ่งข้าวสาลีเพื่อการตรวจสอบคัดแยกและรับรองคุณภาพ

ศศิวิมล มากมูล.(2553) [47] ผสมข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระดับ 8, 16 และ 24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มาวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystem 6500 ช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่บริสุทธิ์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบการปนของข้าว ร่วมกับการวัดปริมาณอะไมโลส นำสเปกตรัมที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี principal component analysis (PCA) พบว่า สเปกตรัมของตัวอย่างข้าวสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มด้วย PC1 และ PC2 โดย กลุ่มที่ 1 คือ สเปกตรัมของตัวอย่างข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บริสุทธิ์ และตัวอย่างข้าวที่ผสมด้วยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ระดับ 8,16 และ 24% ตามลำดับ และกลุ่มที่ 2 คือสเปกตรัมของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เมื่อตรวจสอบปริมาณอะไมโลส พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณอะไมโลสเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ $33.1 \pm 1.81\%$ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บริสุทธิ์ และข้าวที่ผสมที่ระดับ 8, 16 และ 24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณอะไมโลสเฉลี่ยเท่ากับ 19.1 ± 1.63 , 20.9 ± 1.31 , 22.2 ± 1.34 และ $23.5 \pm 1.80\%$ ตามลำดับ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี จึงสามารถใช้ในการตรวจสอบการปนของข้าวได้

จากรุวรรณ บางแกว.(2553) [48] อมิโลสเป็นองค์ประกอบของแป้งที่ประกอบด้วยสายของโมเลกุลกลูโคสด้วยพันธะ α 1-4, D Glucose เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่จะบ่งบอกถึงลักษณะของข้าวสุกหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้ง การวิเคราะห์อามิโลสจะค่อนข้างยุ่งยาก ใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ใช้เวลานาน ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ และทำลายตัวอย่าง NIR Spectroscopy เป็นวิธีที่ใช้ประเมินคุณภาพอินทรีย์สาร นิยมใช้กันแพร่หลาย เช่น การประเมินปริมาณน้ำหนักรวมในหอม soluble solid ในแคนตาลูป ค่าความหวานในพืช เป็นต้น การทดลองนี้จึงได้นำเอาเทคนิคนี้มาใช้ประเมินปริมาณอามิโลสในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร เพื่อลดเวลา ค่าใช้จ่าย และได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์ และใช้แทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ จากการทดลอง ได้สร้างสมการขึ้นมา 3 สมการสำหรับข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ที่มีค่าความสัมพันธ์สูงระหว่างค่าที่ประเมินได้จากสมการและค่าจริงจากห้องปฏิบัติการ ($R=0.98$, 0.84 and 0.88 ตามลำดับ) และมีค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน Standard Error in Cross Validation (SECV = เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.85%) สำหรับข้าวเปลือก และค่า (Standard Error of Prediction: SEP) คือ 2.79 และ 1.99% ในข้าวกล้องและข้าวสาร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่า standard deviation (SD) ความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการประเมินอยู่ในช่วง 800-2000 nm ทั้ง 3 สมการจะประกอบด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแป้ง (starch) คือ ความยาวคลื่นที่ 1215, 1360, 1705, 1725 และ 1900 nm ดังนั้นสมการทั้ง 3 สามารถนำไปใช้ประเมินค่าอมิโลสในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วรินทร์ มณีวรรณ.(2553) [49] เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน ถูกนำมาวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystem6500 ในช่วงความยาวคลื่น 1100 นาโนเมตร ถึง 2500 นาโนเมตร และตรวจวัดปริมาณโปรตีนด้วยวิธีของ Kjeldahl ทุก 1 เดือน สร้างสมการทำนายด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) พบว่าปริมาณโปรตีนของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีค่าระหว่าง 35.46-44.77 % สมการทำนายมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายปริมาณโปรตีนในกลุ่ม calibration (SEC) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนายปริมาณโปรตีนในกลุ่ม validation (SEP) และสัดส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณโปรตีนในกลุ่ม validation ต่อค่า SEP (RPD) เท่ากับ 0.94, 1.34 %, 1.36 % และ 2.69 ตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สามารถใช้ตรวจวัดปริมาณโปรตีนในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยซึ่งรวมถึง วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา ตลอดจนวิธีการเตรียมวัสดุ และการตรวจสอบค่าสเปกตรัมโดยใช้เครื่อง FQA NIR Gun โดยรายละเอียดจะแบ่งตามหัวข้อหลักๆ คือ 1. การเตรียมตัวอย่างข้าวและด้วงงวงข้าว 2 . การตรวจวัดค่าสเปกตรัมโดยใช้เครื่อง FQA NIR Gun 3. การประมาณค่าโดยวิธี Numerical Method และ 4. การประเมินผลค่าสัญญาณที่ได้รับจากเครื่อง FQA NIR GUN และการวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม โดยรายละเอียดของแต่ละหัวข้อมีดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวและด้วงงวงข้าว

ในขั้นตอนนี้แสดงรายละเอียดและขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างข้าว และการเตรียมตัวอย่างด้วงงวงข้าวเพื่อใช้ในการทดลองตลอดทั้งงานวิจัยเล่มนี้ ซึ่งรายละเอียดแสดงดังนี้

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างข้าว

ในขั้นตอนนี้แสดงรายละเอียดและขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างข้าวเพื่อใช้ในการทดลองตลอดทั้งงานวิจัยเล่มนี้ ซึ่งรายละเอียดแสดงดังนี้

ข้าวที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวหอมมะลิพันธุ์ 105 ที่มีการเพาะปลูกที่จังหวัดบุรีรัมย์และมีการเก็บเกี่ยวในปี 2554 ซึ่งแบ่งข้าวออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1) ข้าวเปลือก - นำข้าวเปลือกทำความสะอาดเพื่อนำสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ เช่น เศษฟาง และวัชพืช โดยใช้ตะแกรงในการคัดแยก และขจัดสิ่งเจือปนขนาดเล็ก เช่น เมล็ดลีบ และฝุ่นต่างๆ โดยการใช้ลมเป่า ซึ่งข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดสอบมีความชื้นเริ่มต้นที่ประมาณ 13.0% ฐานเปียก แสดงในรูปที่ 3.1

2) ข้าวกล้อง - ข้าวกล้องที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้นำข้าวเปลือกสะอาดในหัวข้อข้างต้นมาทำการกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยางคู่แล้วทำการคัดเอาแกลบ และเมล็ดหักออกจากตัวอย่างข้าวกล้องที่ได้โดยใช้เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าวตามยาว แสดงในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ข้าวสาร - ข้าวสารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ข้าวกล้องที่ผ่านการเตรียมจากขั้นตอนข้างต้นมาทำการขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาว SATAKE TM05 เป็นเวลา 90 วินาที แล้วนำข้าวที่ผ่านการขัดขาวมาคัดส่วนที่เป็นข้าวหักออก ให้คงเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นข้าวต้นเท่านั้น (ความยาว 8 ใน 10 ของความยาวเมล็ดข้าวสาร) แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการทดสอบคือข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และ ข้าวสาร

ที่มา: <http://www.brrd.in.th/rkb/varieties> [3 มีนาคม 2557]

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างด้วงงวงข้าว

เตรียม ด้วงงวงข้าวโดยการเพาะ เลี้ยงให้เจริญเติบโตในตัวอย่างข้าวสารหอมมะลิที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-40 วันเพื่อให้ด้วงงวงข้าวเกิดการเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย (แสดงในรูปที่ 3.2) พร้อมทำการวัดขนาดและน้ำหนักของด้วงงวงข้าว โดยการวัดขนาดด้วงงวงข้าวทำโดยการนำด้วงงวงข้าวจำนวน 100 ตัว มาสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ แล้วใช้โปรแกรมแต่งภาพ GIMP เวอร์ชัน 2 ในการคำนวณความยาว ความกว้างของด้วงงวงข้าวแต่ละตัวแล้วมาหาเฉลี่ยซึ่งรายละเอียดวิธีการหาขนาดของด้วงงวงข้าวแสดงในภาคผนวก ก. สำหรับการหาน้ำหนักของด้วงงวงข้าวทำได้โดยนำด้วงงวงข้าวตัวเต็มวัยจำนวน 20 ตัวมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วนำน้ำหนักที่ได้มาหารด้วยจำนวนตัวของด้วงงวงข้าว ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างด้วงงวงข้าวที่ใช้ตลอดการทดลอง

3.2 การวัดตรวจวัดค่าสเปกตรัมโดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร (แสดงในรูปที่ 3.3)
2. ข้าวเปลือก, ข้าวกล้อง และข้าวสาร ที่ได้ผ่านการเตรียมในหัวข้อที่ 3.1.1
3. ด้วงงวงข้าว ที่ได้ผ่านการเลี้ยงตามที่อธิบายในหัวข้อ 3.1.2



รูปที่ 3.3 เครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

เตรียมเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร โดย Calibrate เครื่องก่อนการใช้งานทุกครั้ง หลังจากนั้นเริ่มทำการสแกน โดยสแกนตัวอย่างทั้งหมด 16 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบไปด้วย ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร มอด และตัวอย่างข้าวที่มีการผสมมอดลงไป โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 20 ซ้ำ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ข้าวเปลือกจำนวน 100 กรัม โดยมีการผสมด้วงวงข้าวจำนวน 0 25 50 100 150 และ 200 ตัว ตามลำดับ
- ข้าวกล้องจำนวน 100 กรัม โดยมีการผสมด้วงวงข้าวจำนวน 0 25 50 100 150 และ 200 ตัว ตามลำดับ
- ข้าวสารจำนวน 100 กรัม โดยมีการผสมด้วงวงข้าวจำนวน 0 25 50 100 150 และ 200 ตัว ตามลำดับ
- ด้วงวงข้าวอย่างเดียว

ในการทำการทดลองจะวางตัวอย่างลงบนภาดอลูมิเนียม ซึ่งภาดอลูมิเนียมจะไม่มีพันธะทางเคมีที่เครื่อง FQA NIR GUN ตรวจสอบได้เพราะไม่ได้เป็นอินทรีย์สาร และ ทุกตัวอย่างที่ทำการทดลองต้องใช้ฟิล์มพลาสติกห่ออาหารคลุมก่อนทำการสแกน โดยนำฟิล์มพลาสติกมาตัดให้มีขนาดพอเหมาะ แล้ววางบนตัวอย่าง เพื่อป้องกันฝุ่นละอองจากข้าวเข้าเครื่องวัด FQA NIR GUN ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การสแกนข้าวด้วย FQA NIR GUN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การประเมินผลค่าสัญญาณที่ได้รับจากเครื่อง FQA NIR GUN และ การวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม

นำข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) มาวิเคราะห์โดยโปรแกรม The Unscrambler V9.8 (Camo, Norway) เทียบกับสัดส่วนของน้ำหนักด้วงงวงข้าวที่ผสมลงไปในตัวอย่างข้าว ซึ่งน้ำหนักด้วงงวงข้าวจำนวน 100 ตัวมีน้ำหนัก 0.185 กรัม ข้อมูลที่ได้นำมาจัดข้อมูลสเปกตรัมเบื้องต้นเพื่อให้เห็นความแตกต่างของแต่ละค่าได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยการหาค่าเพื่อนำไปพิจารณาเลือกแบบจำลองจาก 6 วิธีการต่อไปนี้ 1) Minimum MSC, 2) Mean Normalization, 3) Max Normalization, 4) Min Normalization, 5) Range Normalization และ 6) Standard Normal Variate (SNV) สำหรับการแก้สมการเชิงเส้น

นอกจากนี้ทำการคัดเลือก Wave length ที่มีลักษณะที่มีความเด่นของข้าวแต่ละชนิด และมีความเด่นของงวงข้าวด้วยวิธีการจัดการเส้นสเปกตรัมเบื้องต้นด้วยวิธี Second Derivative แบบ 11 จุด ทำการคัดเลือกโดยให้รูปแบบเส้นสเปกตรัมที่ได้จากการปรับแต่งดังกล่าวมีค่าที่ติดลบ แล้วดูลักษณะของจุดยอดที่มีค่าต่ำสุดแสดงว่าค่านั้นสามารถเป็นตัวแทนของตัวอย่างได้ดี และต้องกำหนดให้ค่าสเปกตรัมของทั้งข้าวและมอดติดลบทั้งคู่ หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าของสัญญาณสเปกตรัมที่ได้จาก Wave length ที่เลือกมาทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการ Numerical Method ในแบบเมตริกซ์ 2×2 ที่แสดงในสมการที่ 17 และ 218 แล้วนำค่าที่ได้จากวิธีการปรับแต่งค่าสเปกตรัม ทั้ง 7 วิธีมาใช้ในการคำนวณ โดยไม่นำค่าสเปกตรัมของน้ำมาใช้ในการวิเคราะห์ (สเปกตรัมของน้ำ คือที่ความยาวคลื่น 1.9 μm)

3.4 การคำนวณหาสัดส่วนของด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าวโดยวิธี General Linear Model (GLM)

เนื่องจากการคำนวณหาสัดส่วนของด้วงงวงข้าวในข้าว ต้องทราบคุณสมบัติสัดส่วนทางกายภาพ โดยประกอบไปด้วย น้ำหนัก ความกว้าง ความยาว ความหนา และพื้นที่ภาพถ่าย ทำให้สามารถนำไปคำนวณหาค่า พื้นที่สี่เหลี่ยมที่เล็กที่สุด (Minimum Bounding Rectangular, MBR) และปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมที่เล็กที่สุด (Minimum Bounding Box, MBB)

จากนำข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) มาวิเคราะห์โดยโปรแกรม The Unscrambler V9.8 (Camo, Norway) โดยการเลือกค่า Wave length จาก Raw spectrum ที่มีการเรียงลำดับ ตามสัดส่วนของด้วงงวงข้าวที่มีการผสมเข้าไปในข้าวประเภทต่างๆ ตามสัดส่วนที่ ข้าว 100 กรัม ผสมกับด้วงงวงข้าว 25, 50, 100, 150 และ 200 ตัว เมื่อทำการจัดการกับเส้นสเปกตรัมแล้วได้ค่าที่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณอย่างง่ายโดยวิธีทางเมตริกซ์แบบ Linear Algebra เพื่อหาค่าเมตริกซ์ x โดยความสัมพันธ์ของการคำนวณแสดงในสมการที่ 2.17 โดยที่ค่าของ Wave length จะเลือกค่าในช่วงความยาวคลื่น 700-900 nm

เมื่อได้ช่วง Wave length ที่เหมาะสมแล้ว จะทำการจับคู่ระหว่างดั่งวงงข้าวและข้าวประเภทต่างๆ ตามกระบวนการที่ได้จัดการด้วยวิธี Minimum MSC, Mean Normalization, Max Normalization, Min Normalization, Range Normalization และ Standard Normal Variate (SNV) ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกายภาพของดั่งวงงข้าวและข้าวจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ของผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ได้อธิบายรายละเอียดในบทที่ 3 สำหรับผลของการทดลองได้นำเสนอในบทนี้โดยแบ่งหัวข้อการอธิบายเป็น 1) คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวและดั่งวงข้าว 2) ผลการสร้างสมการทำนายปริมาณดั่งวงข้าวในข้าวเปลือก , ข้าวกล้อง และข้าวสารด้วยวิธี Partial least square 3) ผลการวัดค่าสัญญาณโดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN แบบ Raw Spectrum และ 4) การประเมินดั่งวงข้าวด้วยวิธีวิเคราะห์สมการเส้นตรง โดยรายละเอียดของหัวข้อดังกล่าวแสดงดังต่อไปนี้

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าว และดั่งวงข้าว

ข้าวที่ใช้ในการทดสอบเป็นข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยที่ข้าวเปลือกมีลักษณะภายนอกจากการสังเกตประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อสีน้ำตาล (แกลบ) ผิวหยาบ มีลักษณะที่ใหญ่กว่าในทุกมิติ (กว้าง, ยาว และหนา) ส่วนข้าวกล้องเป็นเมล็ดที่มีการนำส่วนที่เป็นแกลบออกไป ทำให้ข้าวกล้องมีสีน้ำตาลอ่อน พื้นผิวมันกว่าข้าวเปลือก ขนาดเล็กกว่าข้าวเปลือกในทุกมิติอย่างเห็นได้ชัด สำหรับข้าวสาร ได้จากการนำข้าวกล้องไปขัดเพื่อนำชั้นรำออก ทำให้ข้าวสารมีสีขาวใส ผิวมัน ขนาดใกล้เคียงกับข้าวกล้อง แต่ส่วนของจมูกข้าวหายไป ขนาด และน้ำหนักของตัวอย่างข้าวแสดงตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่าดั่งวงข้าวมีน้ำหนักต่อ 100 ตัวเท่ากับ 0.185 กรัม มีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาเฉลี่ยต่อตัวเท่ากับ 0.958 3.548 และ 0.733 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวตัวอย่าง พบว่าข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารมีน้ำหนักมากกว่าดั่งวงข้าวมากกว่า 10 เท่า และมีขนาดในมิติต่างๆ ทั้งความยาว ความกว้าง และความหนา มากกว่าดั่งวงข้าวมากกว่า 2 เท่า

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของดั่งวงข้าวและตัวอย่างข้าว

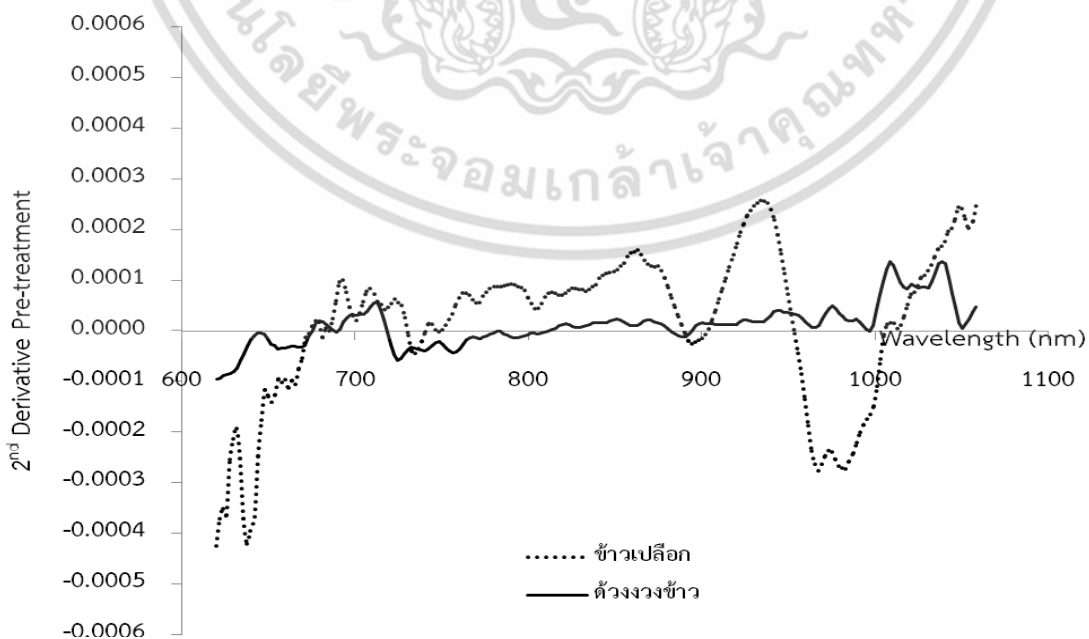
	น้ำหนัก (กรัม ต่อ 100 หน่วย)	ความกว้าง (W) (มิลลิเมตร)	ความยาว (L) (มิลลิเมตร)	ความหนา (T) (มิลลิเมตร)
ดั่งวงข้าว	0.185	0.958	3.548	0.733
ข้าวเปลือก	2.702	2.669	10.310	2.540
ข้าวกล้อง	2.104	2.422	7.501	2.482
ข้าวสาร	1.903	2.357	7.308	2.357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำข้อมูลไปเปรียบเทียบสัดส่วน เพื่อที่หาความสัมพันธ์ระหว่างข้าวประเภทต่างๆและด้วงงวงข้าวได้ โดยที่ทำสัดส่วนเทียบกับสัดส่วนของตัวเองเพื่อที่ได้นำมาเปรียบเทียบได้ ซึ่งใช้อธิบายในหัวข้อ 4.4

4.2 ผลการวัดค่าสัญญาณโดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN แบบ Raw Spectrum

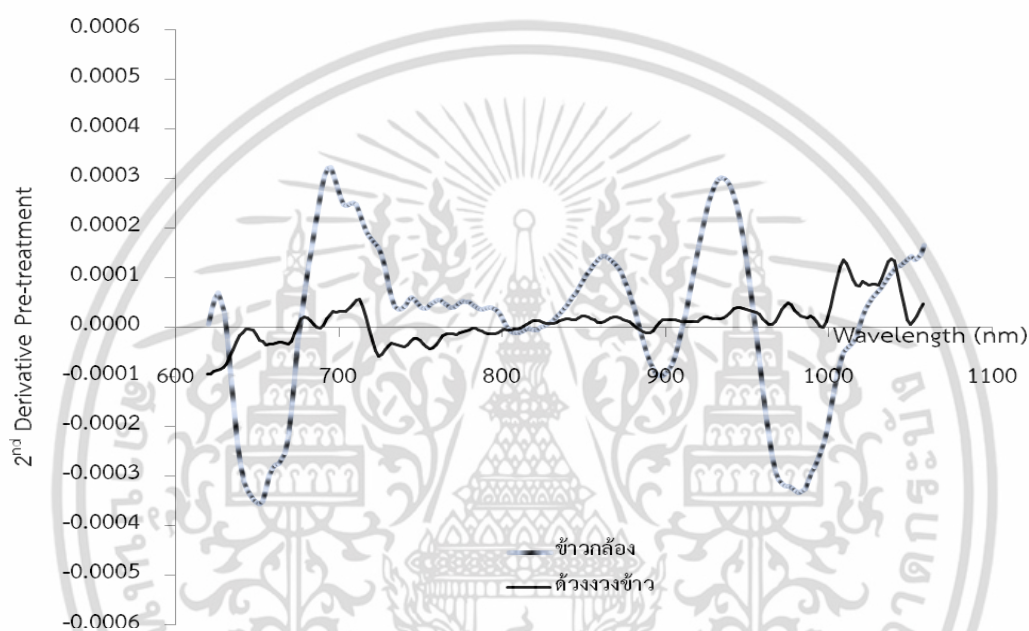
จากการตรวจวัดสเปกตรัมของข้าวเปลือก 100 % ข้าวกล้อง 100 % และข้าวสาร 100 % กับ ด้วงงวงข้าว 100% ด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ผลของการตรวจวัดแสดงในรูปแบบของ Raw Spectrum ของชนิดวัตถุที่ใช้ในการตรวจสอบแสดงในรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ จากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นความแตกต่างของสัญญาณการดูดซับคลื่นในช่วง NIRs เป็นค่า Absorbance ของตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิด (ข้าวเปลือก, ข้าวกล้อง และข้าวสาร) กับสัญญาณการดูดซับคลื่นในช่วง NIR เป็นค่า Absorbance ของด้วงงวงข้าว จากรูปดังกล่าวพบว่าข้าวทั้ง 3 ชนิดที่ใช้วัดมีลักษณะของการตอบสนองที่ทุกความยาวคลื่น ซึ่งอาจจะหมายถึงองค์ประกอบทางเคมีที่มีความหลากหลายของข้าว เช่น ไฟเบอร์ รำ ลิปิด แป้ง วิตามิน น้ำ และอื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาถึงการตอบสนองต่อคลื่น NIR ที่ได้จากด้วงงวงข้าว 100 % มีลักษณะที่ค่อนข้างเรียบและสม่ำเสมอ กับแกน x แต่อย่างไรก็ตามมีการตอบสนองที่พอสังเกตเห็นในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 675-750 nm และ 1000-1050 nm ทั้งนี้อาจเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีที่เด่นชัดของด้วงงวงข้าวมีปริมาณที่น้อยกว่าโดยองค์ประกอบหลักๆ คือ โปรตีน ไคติน ไขมัน ลิปิด น้ำ และอื่นๆ จากการอธิบายข้างต้นจึงทำให้สามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่า มีความเป็นไปได้ในการใช้คลื่น NIR ในแยกแยะและประเมินปริมาณการเจือปนของด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าวได้ แต่อย่างไรก็ตามการอธิบายการตอบสนองของคลื่น NIR ในรูปแบบของ raw spectrum ไม่สามารถอธิบายได้ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจาก raw spectrum ที่ได้รับนั้นอาจเกิดการรบกวน จึงทำให้จำเป็นต้องมีการจัดการ raw spectrum เสียก่อน โดยวิธีดังกล่าวได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.3



รูปที่ 4.1 ความแตกต่างระหว่างของสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับสอง ของข้าวเปลือกและด้วงงวงข้าว

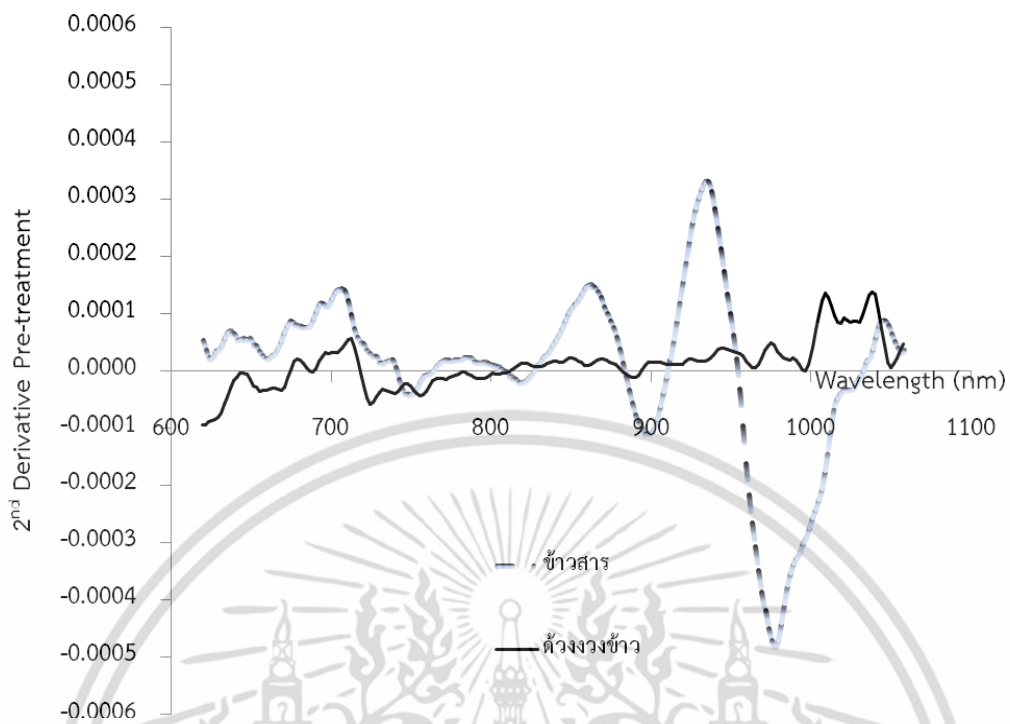
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นแบบฉบับวิชาการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยของ ข้าวเปลือกและดั่งงวงข้าว ที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun Spectrometer (Shizuoka Shibuya Seiki, Japan) ที่ wavelength ระหว่าง 600-1100 nm (รูปที่ 4.1) พบว่าข้าวเปลือกมีการดูดซับคลื่นที่ wavelength 637, 736, 890, 969 และ 985 nm การกำหนดประเภทการสันสะเทือนของพันธะต่างๆของแถบการดูดซับคลื่นที่มีค่าสูงของสเปกตรัมข้าวเปลือก แสดงในตารางที่ 4.2 โดยที่สเปกตรัมอนุพันธ์ลำดับที่สองเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าที่พีค 637 และ 985 nm จะมีการดูดซับคลื่นที่เห็นได้ชัด ที่พีค 990 nm คือค่าของ Starch



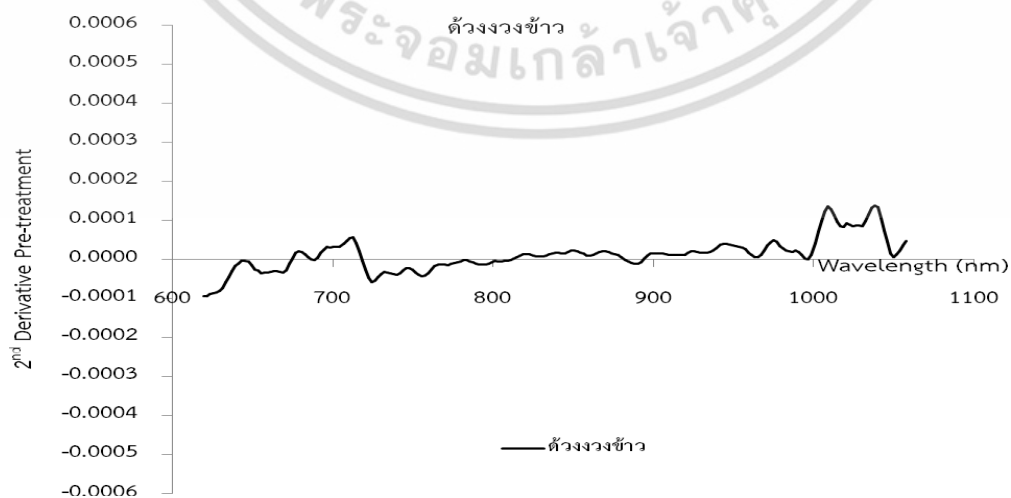
รูปที่ 4.2 ความแตกต่างระหว่างของสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับสอง ของข้าวกล็องและดั่งงวงข้าว

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยของ ข้าวกล็องและดั่งงวงข้าว ที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun Spectrometer (Shizuoka Shibuya Seiki, Japan) ที่ wavelength ระหว่าง 600-1100 nm (รูปที่ 4.2) พบว่าข้าวกล็องมีการดูดซับคลื่นที่ wavelength 653, 809, 902 และ 985 nm การกำหนดประเภทการสันสะเทือนของพันธะต่างๆของแถบการดูดซับคลื่นที่มีค่าสูงของสเปกตรัมข้าวเปลือกแสดงใน ตารางที่ 4.2 โดยที่สเปกตรัมอนุพันธ์ลำดับที่สองเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าที่พีค 900 และ 990 nm แสดงว่าเป็นการดูดซับคลื่นของพันธะ CH_3 และค่าของ Starch ที่เห็นเด่นชัด



รูปที่ 4.3 ความแตกต่างระหว่างของสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับสอง ของข้าวสาร และตังวงงข้าว

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยของ ข้าวสารและตังวงงข้าว ที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun Spectrometer (Shizuoka Shibuya Seiki, Japan) ที่ wavelength ระหว่าง 600-1100 nm (รูปที่ 4.3) พบว่าข้าวสารมีการดูดซับคลื่นที่ wavelength 754, 900 และ 977 nm การกำหนดประเภท การสันเสเหือนของพันธะต่างๆของแถบการดูดซับคลื่นที่มีค่าสูงของสเปกตรัมข้าวเปลือกแสดงในตารางที่ 4.2 โดยที่สเปกตรัมอนุพันธ์ลำดับที่สองเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าที่พีค 760 และ 990 nm ตัวอย่างข้าวสารมีการดูดซับ คลื่นมากกว่าตัวอย่างตังวงงข้าว ซึ่งคือค่าพันธะของน้ำและStarch ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมเฉลี่ยของตังวงงข้าวโดยการสแกนด้วย FQA-NIR Gun Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 ในการวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรดที่สองเฉลี่ยของตัวอย่างข้าว ที่ได้จากเครื่อง FQA-NIR Gun Spectrometer (Shizuoka Shibuya Seiki, Japan) ที่ wavelength ระหว่าง 600-1100 nm (รูปที่ 4.4) พบว่าข้าวสารมีการดูดซับคลื่นที่ wavelength 669, 726, 760, 801 และ 892 nm การกำหนดประเภทการสั่นสะเทือนของพันธะต่างๆของแถบการดูดซับคลื่นที่มีค่าสูงของสเปกตรัมข้าวเปลือก แสดงในตารางที่ 4.2 โดยที่สเปกตรัมอินฟราเรดลำดับที่สองเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าที่พีค 806 และ 900 nm ตัวอย่างข้าวสารจะมีการดูดซับคลื่น และได้พันธะ RNH_2 และพันธะ CH_3

ตารางที่ 4.2 การกำหนดประเภทการสั่นสะเทือนของพันธะต่างๆของแถบการดูดซับคลื่นที่มีค่าสูงของสเปกตรัมตัวอย่างชนิดต่างๆ [50]

	Band Assignment				
ตัวอย่างข้าว	713 nm	760 nm	806 nm	900 nm	910 nm
	C-H stretch fourth overtone benzene	O-H stretch third overtone Water	N-H str. Third overtone RNH ₂	C-H str. third overtone CH ₃	C-H str. third overtone protein
ข้าวเปลือก	760 nm	760 nm	900 nm	970 nm	990 nm
	O-H stretch third overtone Water	O-H stretch third overtone Water	C-H stretch third overtone CH ₃	O-H stretch second overtone ROH, H ₂ O	O-H stretch second overtone Starch
ข้าวกล้อง	760 nm	808 nm	900 nm	900 nm	990 nm
	O-H stretch third overtone Water	2xN-H str.+2xN-H def.+2xC-N str. RNHR'	C-H stretch third overtone CH ₃	C-H stretch third overtone CH ₃	O-H stretch second overtone Starch
ข้าวสาร	760 nm	760 nm	900 nm	900 nm	990 nm
	O-H stretch third overtone Water	O-H stretch third overtone Water	C-H stretch third overtone CH ₃	C-H stretch third overtone CH ₃	O-H stretch second overtone Starch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการสร้างสมการทำนายปริมาณด้วงวงข้าวในข้าวเปลือก , ข้าวกล้อง และข้าวสารด้วยวิธี Partial Least Square (PLS)

จากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นในหัวข้อ 4.2 เกี่ยวกับความแตกต่างของการตอบสนองของสัญญาณ NIR ต่อตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิด และด้วงวงข้าว พบว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้คลื่น NIR ในการตรวจสอบ เนื่องจากความแตกต่างกันของการตอบสนองต่อคลื่น NIR ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงนำความแตกต่างดังกล่าวมาทดลองต่อโดย ทำการวัดการปลอมปนของด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิดที่ระดับการปลอมปนแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ การปลอมปนด้วงวงข้าว 0 25 50 100 150 และ 200 ตัว ในตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิด โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 กลุ่มคือชุด Calibration Set และ ชุด Prediction Set ในสัดส่วน 70:30 หลังจากนั้นนำค่า raw spectrum ของชุด Calibration set ที่ได้รับมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการทำนายปริมาณด้วงวงข้าวที่ปลอมปนในตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิดด้วยวิธี PLS ทั้งนี้ได้มีการปรับแต่งข้อมูล raw spectrum เพื่อทำการลดสัญญาณรบกวนอื่นๆ จากภายนอกด้วยวิธีต่างๆ กัน 7 วิธีคือ 1) Mean Normalization 2) Maximum Normalization 3) Range Normalization 4) First Derivative (11 points) 5) Second Derivative (11 points) 6) Multiplicative Scattering Correction (MSC) และ 7) Baseline Offset โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler เวอร์ชัน 9.8 (Camo, Norway) ช่วยในการวิเคราะห์ หลังจากนั้นข้อมูลที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีต่างมาแทนสมการทำนายของวิธีการปรับแต่งนั้นๆ แล้วทำการประเมินความแม่นยำในการทำนายสามารถประเมินโดยใช้ค่าทางสถิติดังต่อไปนี้ R^2 SEC/RMSEE และค่า Bias โดยค่าสถิติดังกล่าวได้อธิบายวิธีการคำนวณในบทที่ 3

ผลการการทำนายหลังจากการปรับแต่งค่า raw spectrum ของข้าวเปลือกที่มีการปนเปื้อนด้วงวงข้าวแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าวิธีการปรับแต่งค่า raw spectrum ด้วยวิธีต่างๆ โดยการพิจารณาเลือกวิธีการปรับแต่งค่า raw spectrum ที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากค่าที่ได้ในข้อมูลชุด Prediction Set เท่านั้น โดยในตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าที่ทุกวิธีการปรับแต่ง raw spectrum ใช้ค่าระดับของ PC เท่ากับ 18 และให้ค่า R^2 สูงกว่า 0.70 ค่า SEC/RMSEE และค่า Bias อยู่ในเกณฑ์ต่ำ แต่วิธีการปรับแต่งที่ให้ค่า R^2 สูง ให้ค่า SEC/RMSEE ต่ำ และค่า Bias ต่ำ นั้นมีวิธีการปรับแต่ง 3 วิธีที่ให้ค่าใกล้เคียงกัน คือวิธีการปรับแต่งข้อมูลแบบ Full MSC, Range Normalization และ Maximum Normalization และโดยให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.818 0.817 และ 0.817 ตามลำดับ และให้ค่า SEC/RMSEE เท่ากับ 0.138, 0.140 และ 0.139 ตามลำดับ และให้ค่า Bias $-3.9E-08$ $3.9E-08$ และ $-2.6E-08$ ตามลำดับ

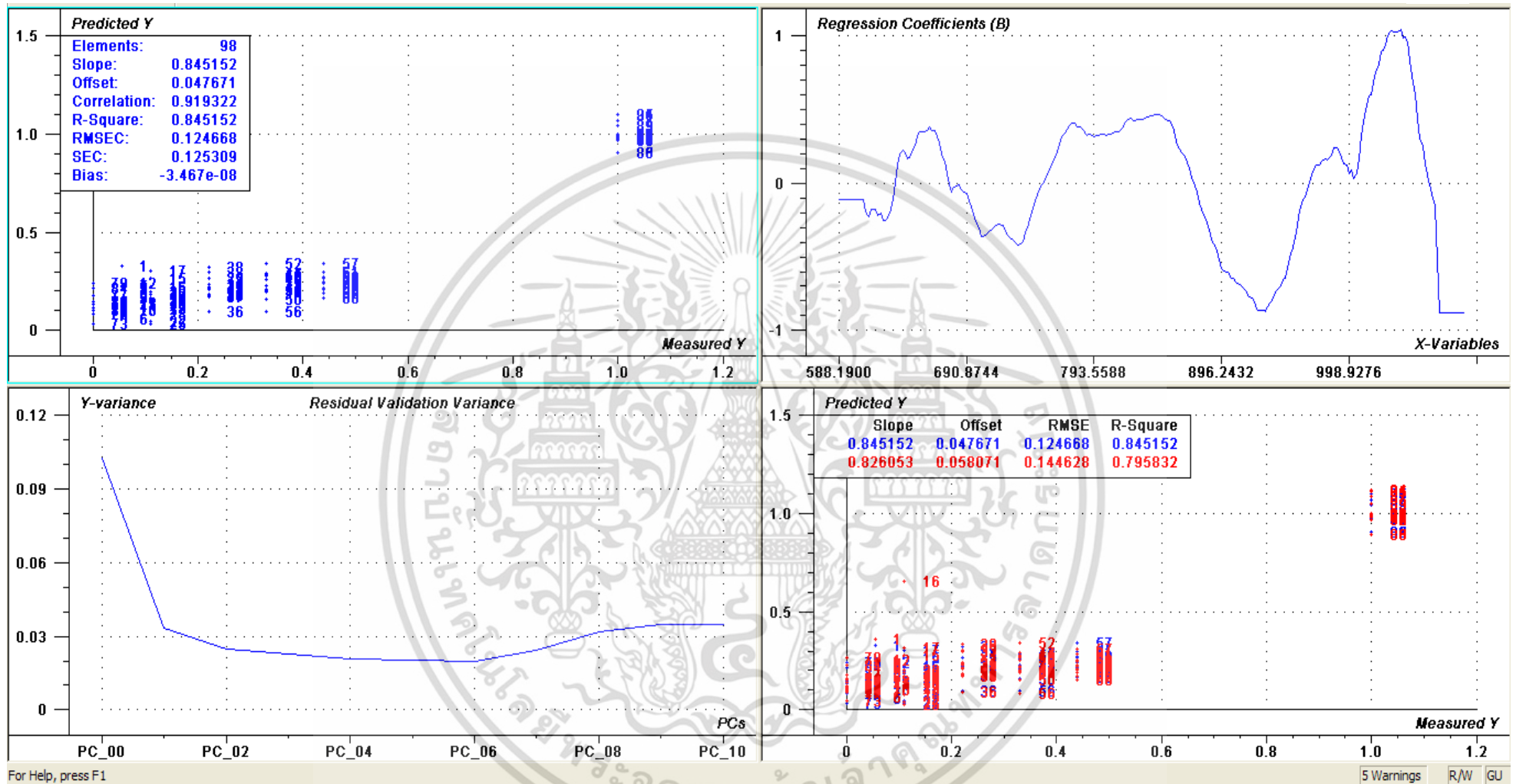
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการสร้างสมการและการทำนายปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวเปลือกด้วยวิธี PLS

SAMPLE	PRE TREATMENT	PC	CALIBRATION SET			PREDICTION SET		
			R ²	SEC/R MSEE	BIAS	R ²	SEC/R MSEE	BIAS
PADDY	MEAN NORMALIZATION	3	0.807	0.142	-5.3E-08	0.807	0.142	-7.4E-08
	MAXIMUM NORMALIZATION	3	0.817	0.139	-2.6E-08	0.817	0.139	-2.6E-08
	RANGE NORMALIZATION	3	0.817	0.140	-1.2E-09	0.818	0.140	3.9E-08
	FULL MSC	4	0.818	0.140	-2.5E-08	0.818	0.138	-3.9E-08
	BASELINE OFFSET	2	0.772	0.156	-7.4E-09	0.771	0.154	-4.4E-09
	LINEAR BASELINE	2	0.790	0.149	-1.0E-09	0.790	0.149	-6.0E-09
	1ST DERIVATIVE	2	0.783	0.151	-1.2E-08	0.783	0.151	-4.7E-09
	2ND DERIVATIVE	2	0.760	0.158	-5.1E-09	0.760	0.151	6.9E-09

หมายเหตุ : PC = Principle Component, R² = Coefficient of determination, SEC= Standard error of Calibration, RMSEE = Root Mean Square Error of Estimation, Bias= error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



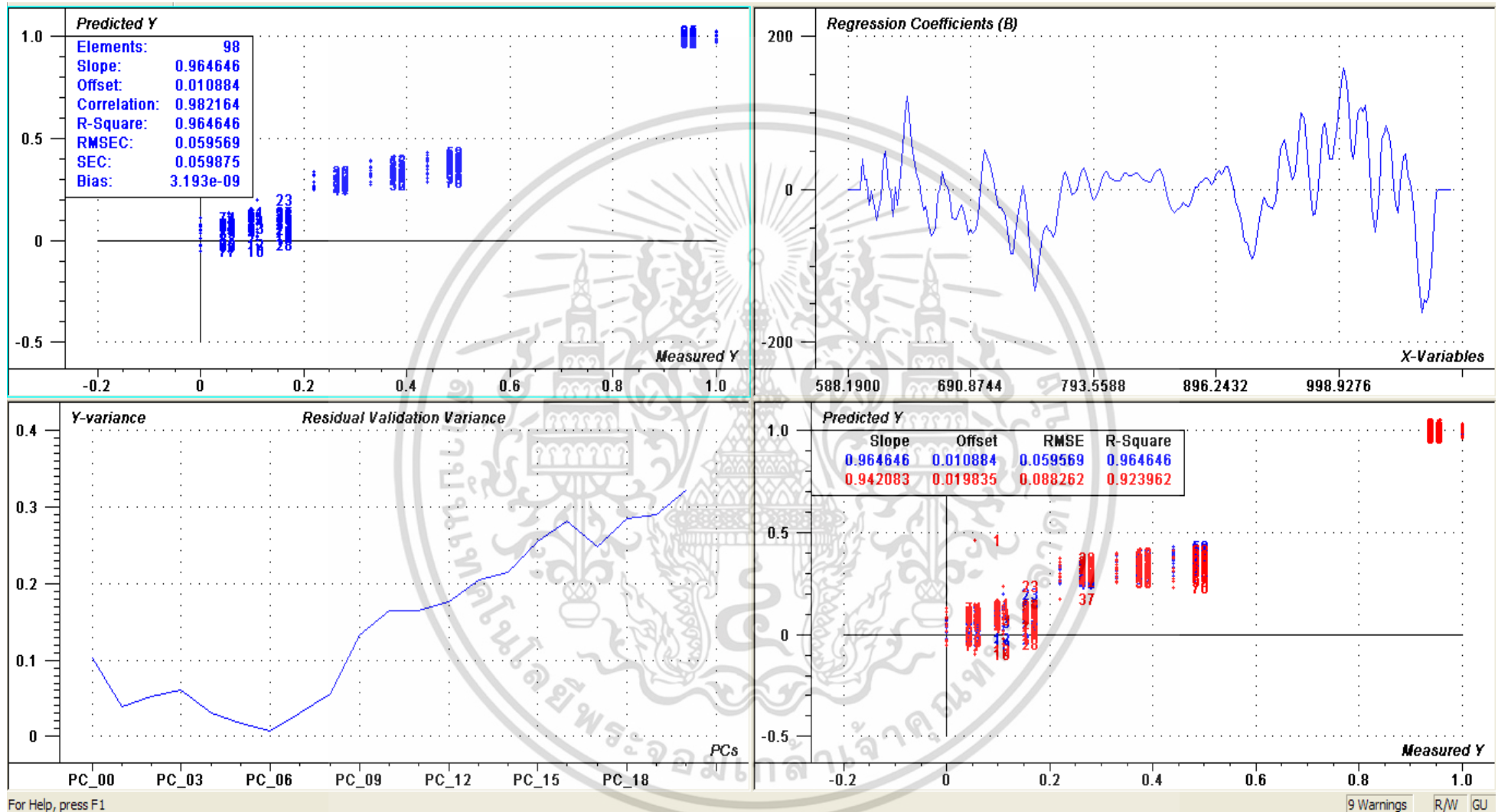
รูปที่ 4.5 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณดั่งวงขาวในข้าวเปลือกที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี Multiplicative Scatter Correction (MSC) : แบบ Full MSC ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.818 จากตาราง 2.1 $R^2 = 0.66 - 0.81$ OK สำหรับการคัดเลือกและการประมาณค่าอย่างหยาบๆ

ตารางที่ 4.4 ผลการสร้างสมการและการทำนายปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวกล้องด้วยวิธี PLS

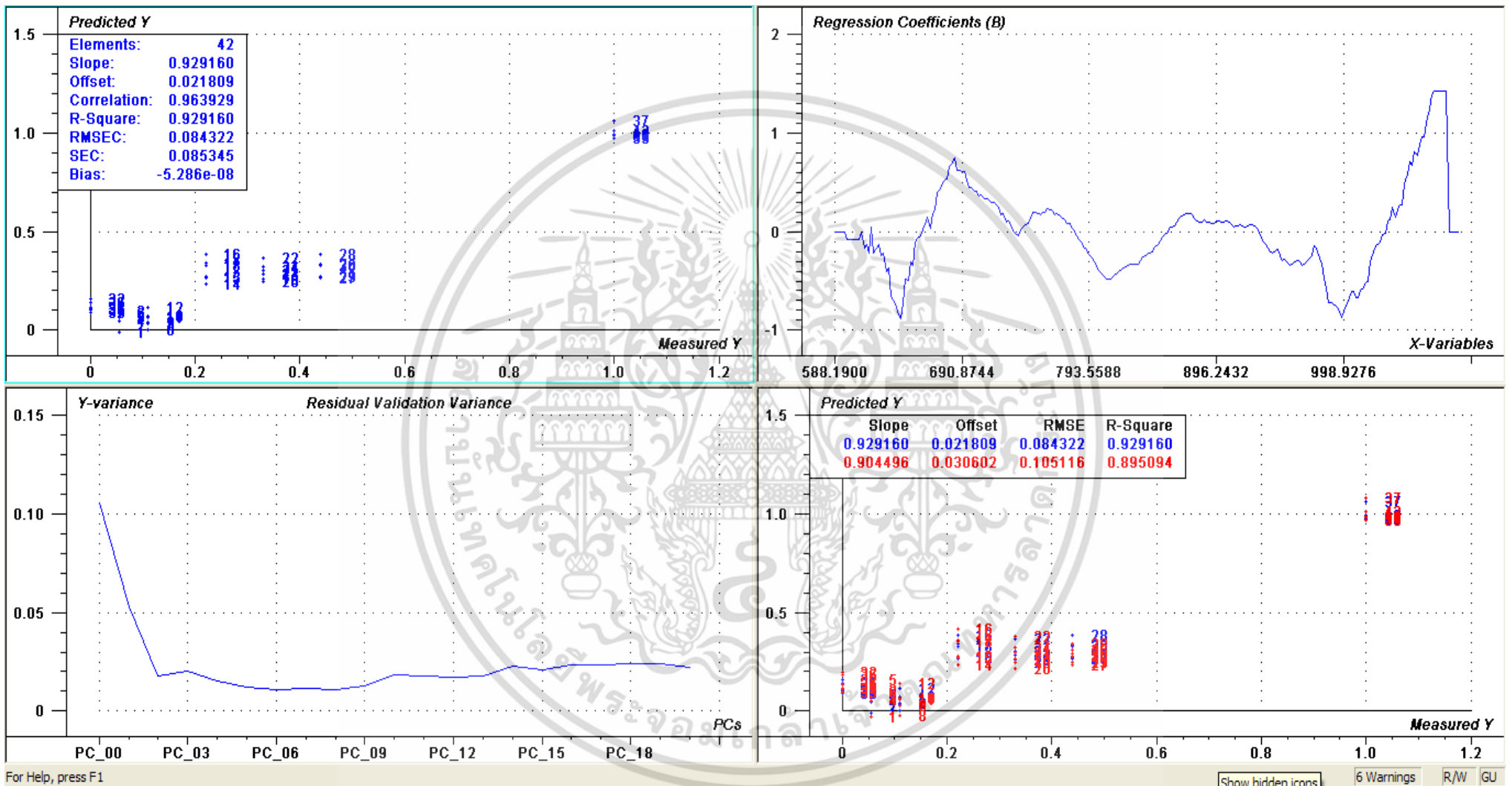
SAMPLE	PRE TREATMENT	PC	CALIBRATION SET			PREDICTION SET		
			R ²	SEC/R MSEE	BIAS	R ²	SEC/R MSEE	BIAS
BROWN RICE	MEAN NORMALIZATION	3	0.896	0.104	7.0E-08	0.896	0.104	7.2E-08
	MAXIMUM NORMALIZATION	3	0.910	0.098	-2.4E-08	0.910	0.097	2.5E-08
	RANGE NORMALIZATION	3	0.910	0.098	-1.2E-07	0.910	0.097	-1.3E-07
	FULL MSC	4	0.808	0.142	-2.0E-08	0.710	0.173	-0.032
	BASELINE OFFSET	2	0.880	0.112	-1.1E-08	0.880	0.112	-6.0E-09
	LINEAR BASELINE	2	0.919	0.093	-3.7E-09	0.919	0.093	-1.7E-08
	1ST DERIVATIVE	6	0.947	0.075	-3.0E-09	0.947	0.075	8.5E-09
	2ND DERIVATIVE	6	0.943	0.077	-3.9E-08	0.943	0.077	-2.1E-08

หมายเหตุ : PC = Principle Component, R² = Coefficient of determination, SEC= Standard error of Calibration, RMSEE = Root Mean Square Error of Estimation, Bias= error

ส่วนการวัดปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวกล้อง ดังตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมแบบวิธี 1st Derivative และวิธี 2nd Derivative โดยให้ค่า R² สูงสุดที่ 0.947 และ 0.943 สำหรับชุด Calibration set ตามลำดับและมีค่า R² เท่ากับ 0.947 และ 0.943 สำหรับชุด Prediction set ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณดั่งวงขาวในข้าวกล้องที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2^{nd} Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2 (Calibration set) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.943 จากตาราง 2.1 $R^2 = 0.92 - 0.96$ ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่



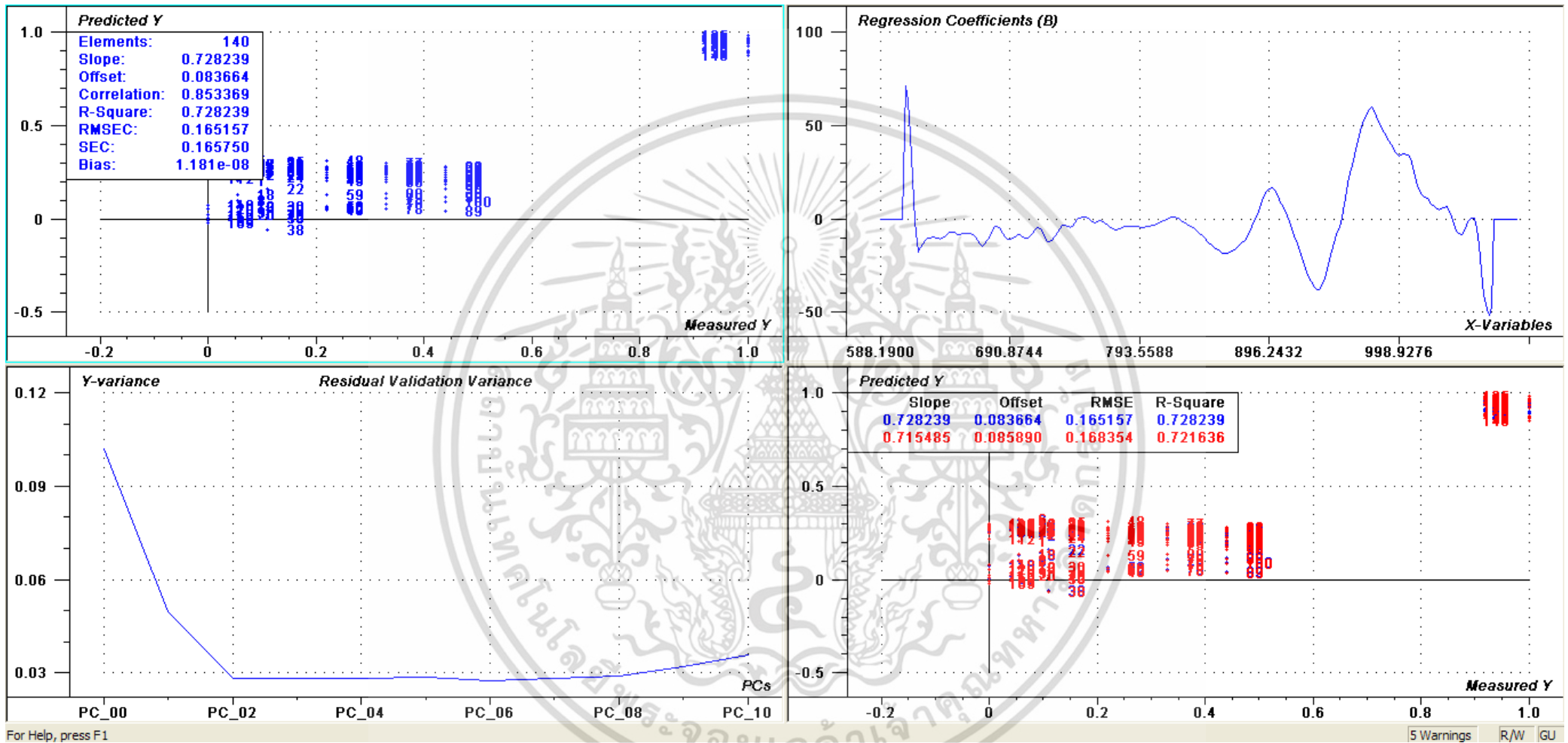
รูปที่ 4.7 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณดั่งวงงขาวในข้าวกล้องที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2^{nd} Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2 (Prediction set) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.943 จากตาราง 2.1 $R^2 = 0.92 - 0.96$ ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่

ตารางที่ 4.5 ผลการสร้างสมการและการทำนายปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวสารด้วยวิธี PLS

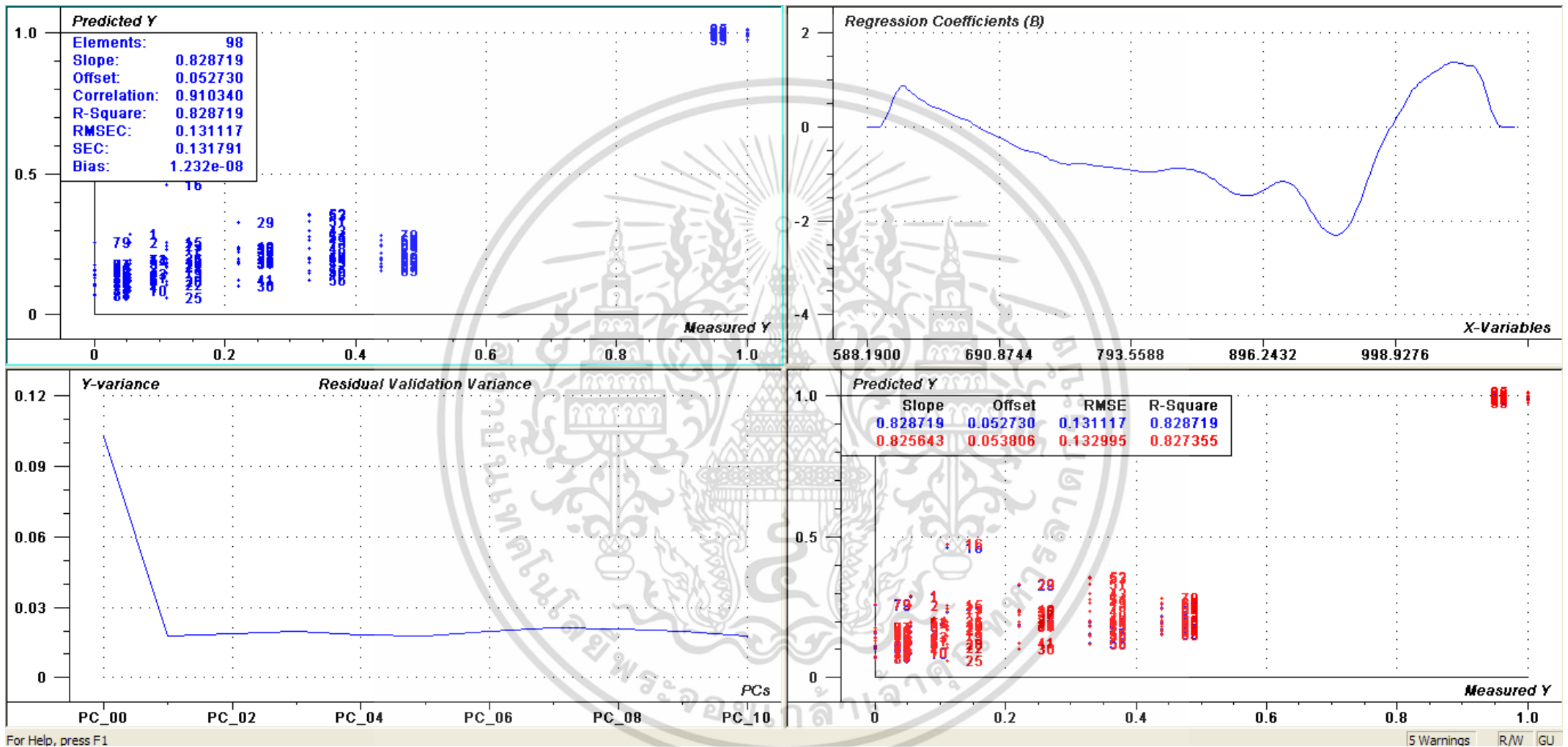
SAMPLE	PRE TREATMENT	PC	CALIBRATION SET			PREDICTION SET		
			R ²	SEC/R MSEE	BIAS	R ²	SEC/R MSEE	BIAS
MILLED RICE	MEAN NORMALIZATION	3	0.886	0.110	-4.5E-08	0.351	0.250	-0.083
	MAXIMUM NORMALIZATION	3	0.891	0.107	-2.4E-08	0.539	0.222	0.013
	RANGE NORMALIZATION	3	0.855	0.124	-5.1E-09	0.370	0.256	0.036
	FULL MSC	4	0.862	0.121	9.3E-08	0.283	0.219	-0.168
	BASELINE OFFSET	2	0.840	0.130	-9.4E-09	0.157	0.297	-0.029
	LINEAR BASELINE	2	0.834	0.131	-9.9E-09	0.901	0.253	-0.310
	1ST DERIVATIVE	2	0.836	0.132	-7.1E-09	0.836	0.131	-1.8E-08
	2ND DERIVATIVE	2	0.823	0.137	-6.0E-09	0.823	0.137	-8.7E-09

หมายเหตุ : PC = Principle Component, R² = Coefficient of determination, SEC= Standard error of Calibration, RMSEE = Root Mean Square Error of Estimation, Bias= error

สำหรับการวัดปริมาณด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าวสาร พบว่า ใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมแบบวิธี 1st Derivative และวิธี 2nd Derivative โดยให้ค่า R² สูงสุดที่ 0.836 และ 0.823 สำหรับชุด Calibration set ตามลำดับ และมีค่า R² เท่ากับ 0.836 และ 0.823 สำหรับชุด Prediction set ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าการวัดปริมาณด้วงงวงข้าวที่อยู่ในข้าวสารด้วยโดยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Maximum Normalization จะให้ค่า R² สูงที่สุดอยู่ที่ 0.891 ในชุด Calibration set แต่เมื่อนำไปทำนายแล้วพบว่าการที่ใช้วิธี Maximum Normalization จะให้ค่า R² ที่ต่ำซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 4.8 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณดั่งวงวงขาวในข่าวสารที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2^{nd} Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2 (Calibration set) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.823 จากตาราง 2.1 $R^2 = 0.83 - 0.90$ ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย



รูปที่ 4.9 ค่าความสัมพันธ์ของปริมาณดั่งวงวงขาวในข่าวสารที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2^{nd} Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2 (Prediction set) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.823 จากตาราง 2.1 $R^2 = 0.83 - 0.90$ ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย

4.4 การคำนวณหาสัดส่วนของด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าวโดยวิธีการแก้สมการเชิงเส้น (General Linear Model, GLM)

การหาสัดส่วนของด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าวโดยวิธีการแก้สมการเชิงเส้นสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการคำนวณโดยใช้เมทริกซ์ ซึ่งได้อธิบายในหัวข้อ 3.3 ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้ข้อมูลที่อยู่ภายในเมทริกซ์เป็นข้อมูลสัญญาณการดูดซับคลื่น NIR ที่ความยาวคลื่นที่เป็นเอกลักษณ์ของด้วงวงข้าว และตัวอย่างข้าวในการวิเคราะห์เป็นหลัก และสัญญาณการดูดซับคลื่นนั้นได้ผ่านการปรับแก้ด้วยวิธีต่างๆกัน ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการ 6 ขั้นตอนคือ 1) สัดส่วนทางกายภาพต่างๆของการเจือปนของด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าว 2) ผลการคัดเลือกช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าว และ 3) ผลการคำนวณหาสัดส่วนด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ 1) Minimum MSC, 2) Mean Normalization, 3) Max Normalization, 4) Min Normalization, 5) Range Normalization และ 6) Standard Normal Variate (SNV)

4.4.1 สัดส่วนทางกายภาพต่างๆของการเจือปนของด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าว

คุณสมบัติทางกายภาพข้าวด้วงวงข้าวและตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบไปด้วย น้ำหนัก ความกว้าง ความยาว ความหนา (กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.1) พื้นที่ภาพฉาย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณหาค่า พื้นที่สี่เหลี่ยมมุมฉากที่เล็กที่สุด (Minimum Bounding Rectangular, MBR) และปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากที่เล็กที่สุด (Minimum Bounding Box, MBB) โดยผลของคุณสมบัติทางกายภาพได้กล่าวในหัวข้อแสดงในตารางที่ 4.6

จากข้อมูลพื้นฐานที่แสดงในตารางที่ 4.1 นำมาคำนวณหาพื้นที่สี่เหลี่ยมมุมฉากที่เล็กที่สุด (Minimum Bounding Rectangular, MBR) ซึ่งได้จากผลคูณของความกว้างและความยาวเฉลี่ยของตัวอย่างยกตัวอย่างเช่น พื้นที่สี่เหลี่ยมมุมฉากที่เล็กที่สุดของด้วงวงข้าว $0.958 \times 3.548 = 3.400 \text{ mm}^2$ สำหรับปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากที่เล็กที่สุด (Minimum Bounding Box, MBB) คำนวณได้จาก ผลคูณของความกว้าง ความยาว และความหนาเฉลี่ยของตัวอย่าง ยกตัวอย่างเช่น ปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมที่เล็กที่สุดของด้วงวงข้าว $0.958 \times 3.548 \times 0.733 = 2.492 \text{ mm}^3$ ส่วนพื้นที่ภาพฉายได้จากการโปรแกรม Gimp เวอร์ชัน 2.0 วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การคำนวณสัดส่วนเชิงต่างๆของด้วงวงข้าวและตัวอย่างข้าว (ต่อหนึ่งหน่วย)

	พื้นที่ภาพถ่าย (A) (mm ²)	พื้นที่สี่เหลี่ยมมุมฉาก ที่เล็กที่สุด (MBR) (mm ²)	ปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ที่เล็กที่สุด(MBB) (mm ³)
ด้วงวงข้าว	3.788	3.400	2.492
ข้าวเปลือก	37.130	27.517	69.896
ข้าวกล้อง	34.670	18.168	45.093
ข้าวสาร	32.210	17.225	40.597

จากผลการทดลองวัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของด้วงวงข้าวและตัวอย่างข้าวที่แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.6 นำมาคำนวณเพื่อหาสัดส่วนในด้านต่างๆ ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ด้วงวงข้าวกับตัวอย่างข้าว โดยความสัมพันธ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีดังนี้ ความกว้าง, ความยาว, ความหนา, พื้นที่ภาพถ่าย, MBR และ MBB โดยการเปรียบเทียบนี้ใช้สัดส่วนเดียวกับปริมาณด้วงวงข้าวที่เจือปนในตัวอย่างข้าว 100 กรัม ซึ่งปริมาณด้วงวงข้าวที่ใช้ในการเจือปนมี 5 ระดับคือ 25 50 100 150 และ 200 ตัว ตามลำดับยกตัวอย่างเช่น การคำนวณสัดส่วน ความกว้างของด้วงวงข้าวจำนวน 25 ตัว ที่เจือปนในตัวอย่างข้าวสาร 100 กรัม สามารถทำได้ดังนี้

ข้าวสาร 100 กรัม มีทั้งสิ้น 5,263.2 เมล็ด ดังนั้นจะมีความกว้างของเมล็ดข้าวรวมเท่ากับ $5,263.2 \times 2.357 = 12,405$ mm และด้วงวงข้าวจำนวน 25 ตัวจะมีความกว้างรวมเท่ากับ $0.958 \times 25 = 23.96$ mm ดังนั้นสัดส่วนเชิงความกว้างของด้วงวงข้าวจำนวน 25 ตัวที่เจือปนในตัวอย่างข้าวสาร 100 กรัม เท่ากับ $23.96 / 12,405 = 0.002$

ค่าที่ได้จากการคำนวณสัดส่วนทางกายภาพต่างๆของการเจือปนของด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าวจำนวน 1 หน่วย ได้ถูกนำมาใช้เปรียบเทียบเพื่อหาความยาวที่เป็นเอกลักษณ์ของด้วงวงข้าวและตัวอย่างข้าว เพื่อความเหมาะสมในการประเมินหาสัดส่วนของด้วงวงข้าวที่เจือปนในตัวอย่างข้าว

ตารางที่ 4.7 สัดส่วนทางกายภาพต่างๆของการเจือปนของดั่งวงวงข้าวในตัวอย่างข้าวจำนวน 1 หน่วย

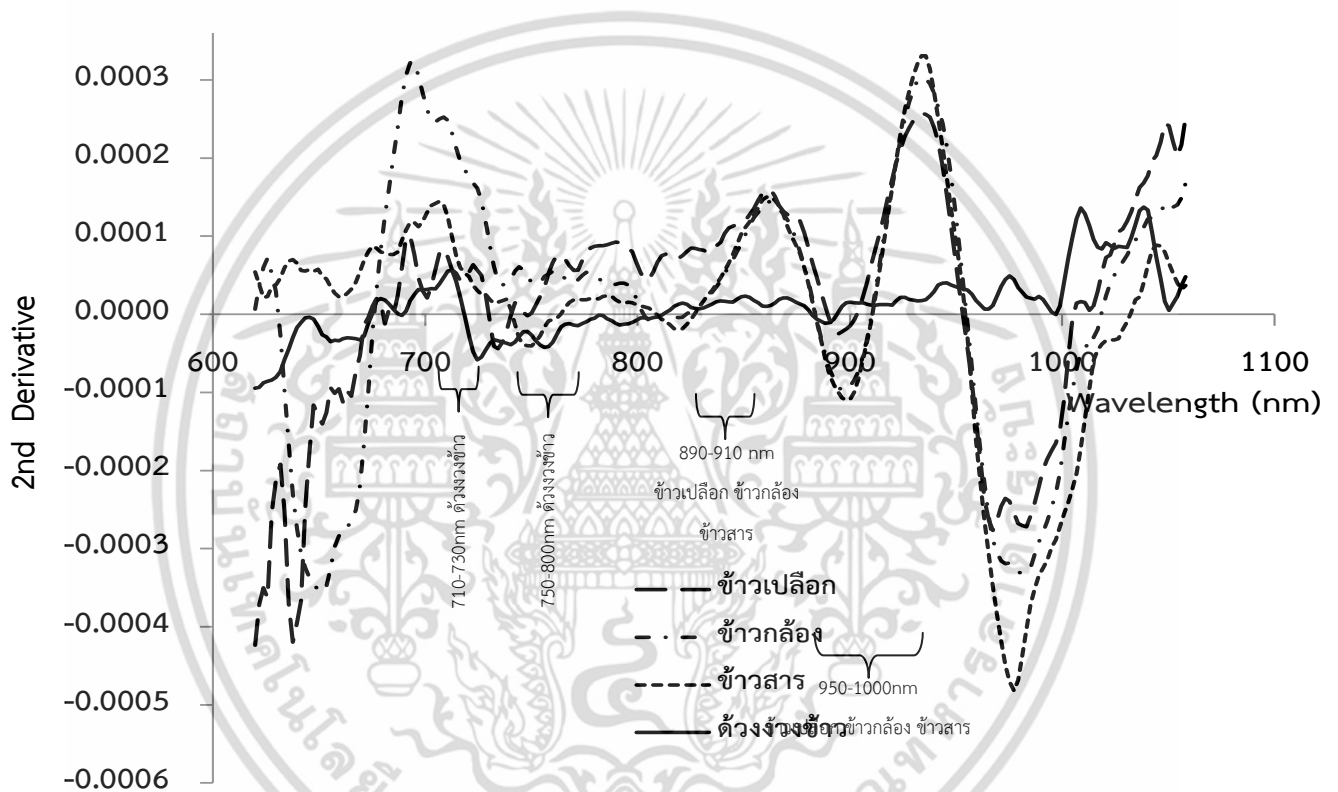
	จำนวน ดั่งวงวงข้าว (ตัว)	W (mm.)	L (mm.)	T (mm.)	A (mm.)	MBR (mm ²)	MBB (mm ³)
ดั่งวงวงข้าว : ข้าวเปลือก	25	0.002	0.232	0.195	0.069	0.083	0.024
	50	0.005	0.465	0.390	0.138	0.167	0.048
	100	0.010	0.929	0.779	0.275	0.334	0.096
	150	0.015	1.394	1.169	0.413	0.500	0.144
	200	0.019	1.858	1.558	0.551	0.667	0.193
ดั่งวงวงข้าว : ข้าวกล้อง	25	0.002	0.248	0.155	0.057	0.098	0.029
	50	0.004	0.497	0.310	0.115	0.196	0.058
	100	0.008	0.993	0.620	0.229	0.393	0.116
	150	0.012	1.490	0.930	0.344	0.589	0.174
	200	0.017	1.986	1.240	0.459	0.786	0.232
ดั่งวงวงข้าว : ข้าวสาร	25	0.002	0.231	0.148	0.056	0.094	0.029
	50	0.004	0.461	0.295	0.112	0.188	0.058
	100	0.008	0.922	0.591	0.223	0.375	0.117
	150	0.012	1.384	0.886	0.335	0.563	0.175
	200	0.015	1.845	1.182	0.447	0.750	0.233

หมายเหตุ : W คือ ความกว้าง, L คือ ความยาว, T คือ ความหนา, A คือ พื้นที่ภาพฉาย,
MBR คือ พื้นที่สี่เหลี่ยมมุมฉากที่เล็กที่สุด และ MBB คือ ปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากที่เล็กที่สุด

4.4.2 ผลการคัดเลือกช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของดั่งวงวงข้าวในตัวอย่างข้าว

การคัดเลือกช่วงความยาวคลื่นในช่วง NIR ที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของดั่งวงวงข้าวในตัวอย่างข้าว สามารถเริ่มต้นได้โดยหาช่วงความยาวคลื่นในช่วง NIR ที่มีการตอบสนองต่อดั่งวงวงข้าว และตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิด ซึ่งสามารถได้โดยการปรับแต่งสเปกตรัมตั้งต้นของดั่งวงวงข้าว ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ด้วยวิธี 2nd Derivative ซึ่งวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมวิธีนี้ช่วยทำให้เห็นความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลต่อตัวอย่างได้อย่างดี โดยที่ความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลนั้นจะมีลักษณะหวักลับและมีค่าอยู่ในช่วงต่ำกว่าศูนย์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.12 จากรูปสังเกตว่าในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 710-730 nm และ 750-800 nm สเปกตรัมของดั่งวงวงข้าวมีลักษณะหวักลับและอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าศูนย์ ซึ่งน่าจะหมายความว่าในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวมีอิทธิพล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อดัชนีหักเห หรืออีกนัยหนึ่งอาจหมายความว่าในช่วงคลื่นดังกล่าวสามารถใช้ในตรวจสอบความเข้มข้นของ ปริมาณดัชนีหักเหได้ ในขณะเดียวกันพบว่าในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 890-910 nm และ 950-1,000 nm สเปกตรัมของตัวอย่างข้าวทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะหวักลับ และอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าศูนย์ แสดงว่าช่วงความยาว คลื่นดังกล่าวสามารถใช้ในการตรวจสอบและแยกแยะตัวอย่างข้าวออกจากดั้วงวงข้าวได้ ดังนั้นจึงสามารถ สรุปได้ว่า ความยาวคลื่นที่เป็นเอกลักษณ์ของดั้วงวงข้าวจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 710-730 nm และ 750-800 nm และความยาวคลื่นที่เป็นเอกลักษณ์ของตัวอย่างข้าวจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 890-910 nm และ 950-1,000 nm



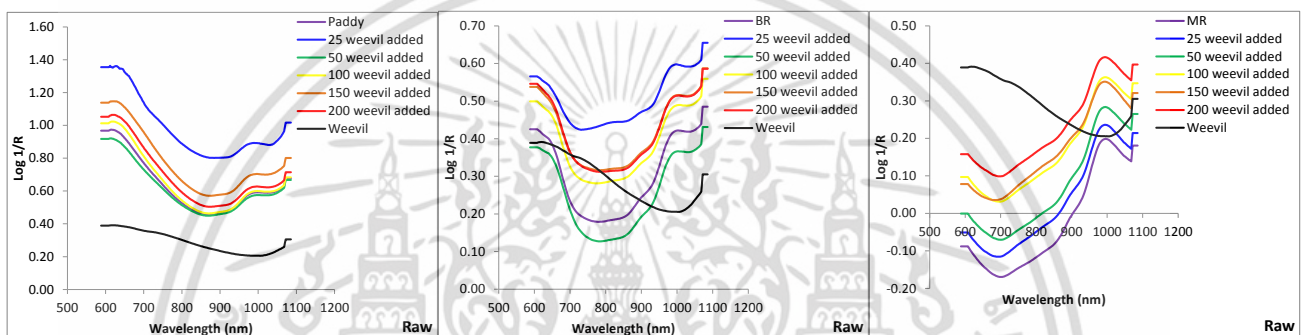
รูปที่ 4.10 การปรับแต่งสเปกตรัมแบบอนุพันธ์อันดับ 2 ของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร และดั้วงวงข้าว

ในช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลต่อดั้วงวงข้าว ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ได้มีการ นำเสนอชนิดของพันธะ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

เมื่อทราบช่วงของความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลต่อดั้วงวงข้าว ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารแล้วนั้น การพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณการดูดซับของช่วงความยาวคลื่น NIR จำเป็นต่อการ พิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 สังเกตได้ว่ารูปร่างของสเปกตรัมตั้งต้นของตัวอย่างข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารมีลักษณะที่แตกต่างโดยที่ตามทฤษฎีแล้วนั้นเมื่อทำการเพิ่มปริมาณด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าวทำให้เส้นสเปกตรัมตั้งต้นของตัวอย่างมีแนวโน้มค่อยๆ เข้าใกล้เส้นสเปกตรัมของด้วงวงข้าวซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในกรณีของข้าวสาร(รูปที่4.1 0 ด้านขวา) แต่อย่างไรก็ตามการที่เส้นสเปกตรัมของข้าวเปลือกและข้าวกล้องไม่เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ กล่าวคือไม่มีการเรียงลำดับตามความเข้มข้นของด้วงวงข้าวในตัวอย่าง ทั้งนี้อาจเกิดจากอุปสรรคบางอย่างเช่น Noise, Base Line Shift, Overlapping Peak และอื่นๆ ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าว การปรับแต่งรูปร่างของ สเปกตรัมจึงมีความจำเป็น



รูปที่ 4.11 สเปกตรัมตั้งต้น (Raw Spectrum) ของการเจือปนด้วงวงข้าว จำนวน 25 50 100 150 และ 200 ตัว ในตัวอย่างข้าวเปลือก (ซ้าย) ข้าวกล้อง (กลาง) และข้าวสาร (ขวา)

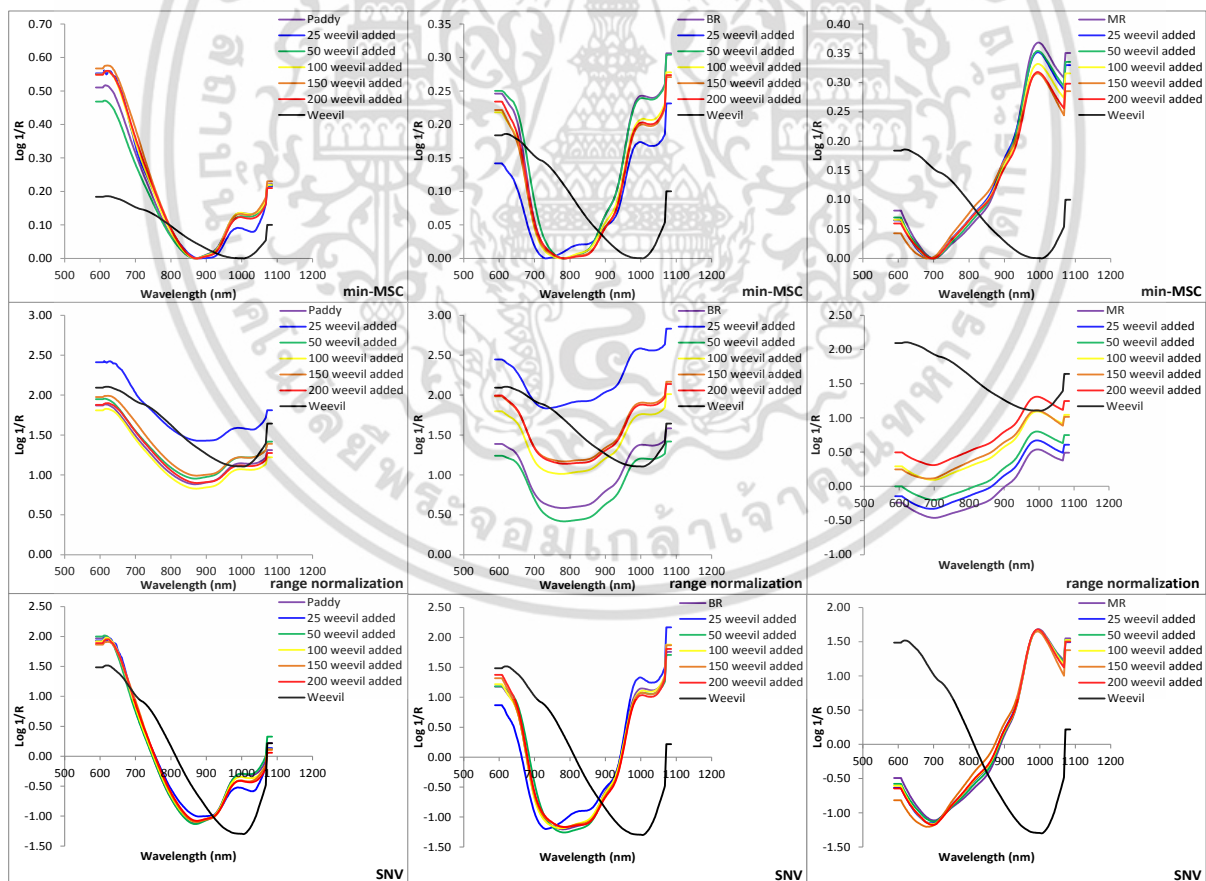
เมื่อพิจารณาในส่วนของยอดของแต่ละสเปกตรัมพบว่า มีตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันที่ทุกๆ ความเข้มข้นของด้วงวงข้าว ของแต่ละตัวอย่างข้าว ดังนั้นความผิดพลาดของรูปร่างสเปกตรัมจึงน่าจะเกิดจากสาเหตุของ Base Line Shift. โดยวิธีการแก้ไขมีด้วยกันหลายวิธีคือ การทำ 1st Derivative, 2nd Derivative, MSC, Normalization และ SNV เป็นต้น แต่เนื่องจากการทำ 1st และ 2nd Derivative เป็นการจัดการโดยทำให้ความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลต่อค่าการดูดซับมีความเด่นมากขึ้น และง่ายต่อการแยกแยะ แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลของเส้นสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งโดยวิธี 1st และ 2nd Derivative จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการคำนวณแบบเชิงเส้นได้ ดังนั้นการปรับแต่งในส่วนนี้จึงใช้วิธีแบบ MSC, Normalization และ SNV ตามลำดับ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.11

จากรูปที่ 4.1.1 พบว่า การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีข้างต้นไม่สามารถแก้ไขส่วนการสลับตำแหน่งของลำดับความเข้มข้นของด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าวเปลือกและข้าวกล้องได้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินสัดส่วนของดั่งวงงข้าวในตัวอย่างข้าวเปลือกและข้าวกล้องไม่อาจประเมินได้ เพราะมีการเรียงลำดับที่สลับตำแหน่งของความเข้มข้นของดั่งวงงข้าวที่เจือปนในตัวอย่างข้าวเปลือกและข้าวกล้อง

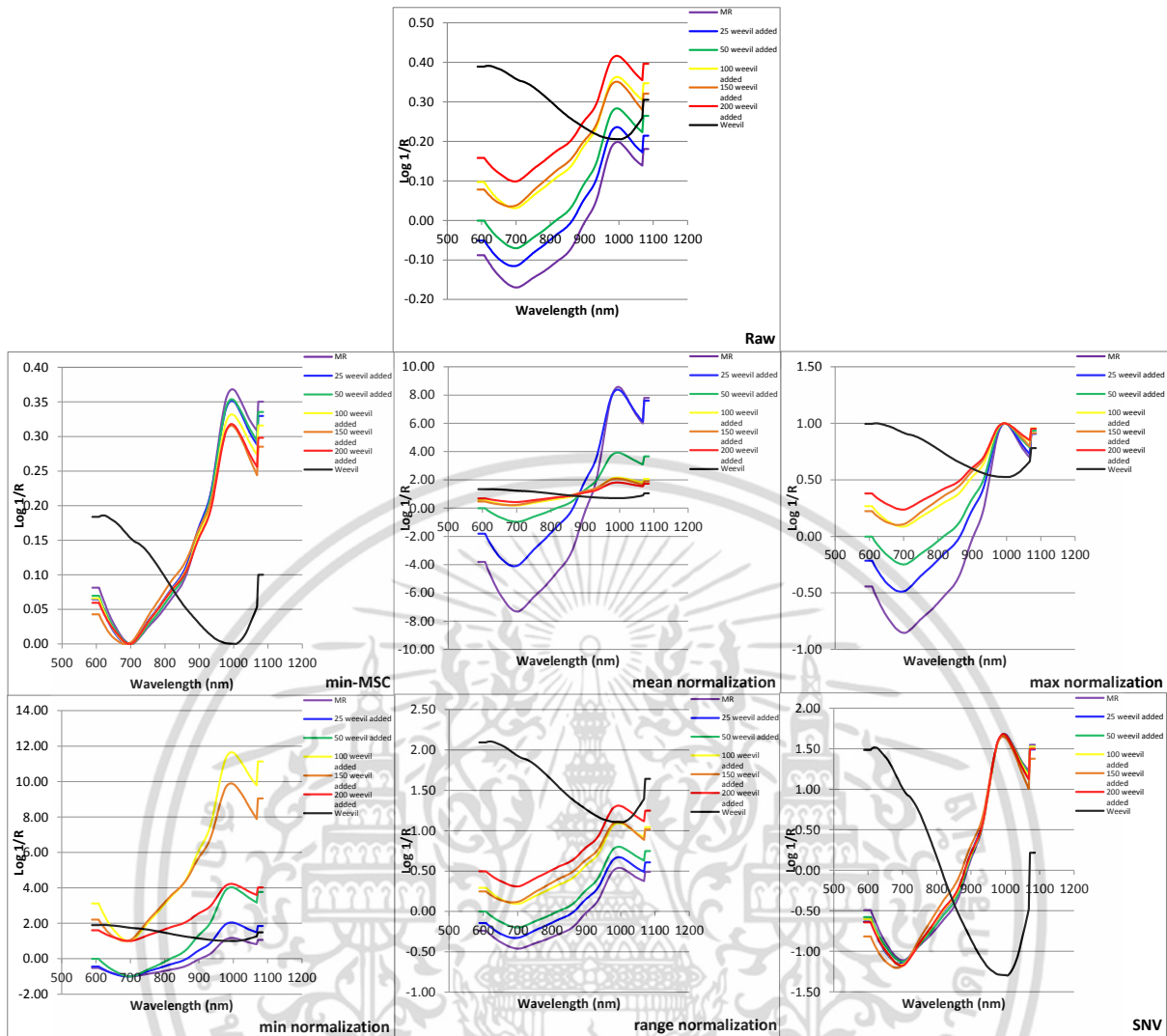
แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของตัวอย่างข้าวสาร พบว่าการปรับแต่งสเปกตรัม ช่วยทำให้สามารถแยกแยะการเจือปนดั่งวงงข้าวได้ทุกสัดส่วนตามระดับการเจือปนในบางช่วงความยาวคลื่น ดังนั้นการศึกษาสัดส่วนของดั่งวงงข้าวในตัวอย่างข้าวสารจึงได้ถูกนำมาพิจารณาเพียงอย่างเดียว โดยสเปกตรัมตั้งต้นได้ถูกทำการปรับแต่งด้วยวิธีต่างๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 3 และข้อมูลสเปกตรัมที่ได้คัดเลือกในส่วนแรกของหัวข้อนี้ ได้ถูกนำมาคำนวณในหัวข้อ 4.4.3

จากรูปที่ 4.1 3 ชี้ให้เห็นว่าการไม่ปรับแต่งเส้นสเปกตรัม และการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมด้วยวิธี Mean Normalization, Max Normalization และ Range Normalization ให้ลักษณะของข้อมูลที่เรียงตามระดับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของดั่งวงงข้าว ทำให้สเปกตรัมทั้ง 4 รูปแบบได้ถูกคัดเลือกเพื่อนำมาคำนวณหาสัดส่วนดั่งวงงข้าวในตัวอย่างข้าวซึ่งได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4.3



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการปรับแต่งสเปกตรัมตั้งต้นของตัวอย่างข้าวเปลือก (ซ้าย), ข้าวกล้อง (กลาง) และข้าวสาร (ขวา) ที่มีระดับการเจือปนของดั่งวงงข้าวแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.3 การปรับแต่งสเปกตรัมตั้งต้นของตัวอย่างข้าวสารที่ระดับการเจ็บของด้วงงวงข้าวแตกต่างกัน ด้วยวิธี Minimum-MSC, Minimum Normalization, Mean Normalization, Max Normalization, Range Normalization และ SNV

4.4.3 ผลการคำนวณหาสัดส่วนด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าวด้วยวิธี GLM

ความยาวคลื่นในช่วง NIR ที่เป็นเอกลักษณ์ของด้วงงวงข้าว และข้าวสาร ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาสัดส่วนด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าว คือ 712.596 nm และ 726.419 nm (เอกลักษณ์ของด้วงงวงข้าว) และ 801.458, 805.407, 807.382, 809.356 และ 900.193 nm (เอกลักษณ์ของข้าวสาร) การคำนวณสามารถทำได้โดยการนำค่าการดูดซับที่ความยาวคลื่นที่ได้คัดเลือกมาที่ผ่านการปรับแต่ง มาแทนในเมทริกซ์ A และ b ในสมการที่ (2.17) แสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ โดยจะมีการจับคู่ความยาวคลื่น ระหว่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นเอกลักษณ์ของดั่งวงงข้าว (2 ความยาวคลื่น) กับ ความยาวคลื่นเอกลักษณ์ของข้าวสาร (5ความยาวคลื่น) ซึ่งได้คู่ความยาวคลื่นทั้งสิ้น 10 คู่ ซึ่งการคำนวณของแต่ละคู่จะให้ค่าสัดส่วนของดั่งวงงข้าวต่อข้าวสาร แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัดส่วนทางกายภาพที่แสดงในตาราง 4.6 แล้วนำมาเปรียบเทียบหาค่า RMSE เพื่อพิจารณาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการสรุปผล ซึ่งผลการคำนวณพบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Range Normalization โดยใช้ค่าการดูดซับของคลื่นที่มีความยาวเท่ากับ 726.419 nm และ 900.193 nm .ในการคำนวณ ให้สัดส่วนที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าสัดส่วนทางกายภาพของพื้นที่ภาพฉายของสัดส่วนของดั่งวงงข้าวต่อข้าวสาร และให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.8959 และค่า RMSE เท่ากับ 0.0722 ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งทำให้การคำนวณด้วยวิธี GLM สามารถทำนายได้

ตารางที่ 4.8 ค่าการดูดซับคลื่น NIR ของดั่งวงงข้าว และข้าวสาร ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่างๆ

ความยาวคลื่น (nm)	วิธีการปรับแต่ง สเปกตรัม (ดั่งวงงข้าว/ข้าวสาร)							
	Raw Spectrum		Mean Normalization				Range Normalization	
	ดั่งวงงข้าว	ข้าวสาร	ดั่งวงงข้าว	ข้าวสาร	ดั่งวงงข้าว	ข้าวสาร	ดั่งวงงข้าว	ข้าวสาร
712.596	-0.16729	0.35303	-7.22192	1.21267	-0.84208	0.90248	-0.45425	1.89956
726.419	-0.16019	0.34940	-6.91518	1.20020	-0.80631	0.89320	-0.43496	1.88003
801.458	-0.11622	0.30088	-5.01703	1.03356	-0.58499	0.76918	-0.31557	1.61900
805.407	-0.11345	0.29776	-4.89743	1.02284	-0.57104	0.76121	-0.30805	1.60221
807.328	-0.11215	0.29623	-4.84143	1.01757	-0.56451	0.75728	-0.30452	1.59395
809.356	-0.11078	0.29465	-4.78229	1.01216	-0.55762	0.75325	-0.30080	1.58547
900.193	-0.00447	0.23445	-0.19282	0.80534	-0.02248	0.59934	-0.01213	1.26150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

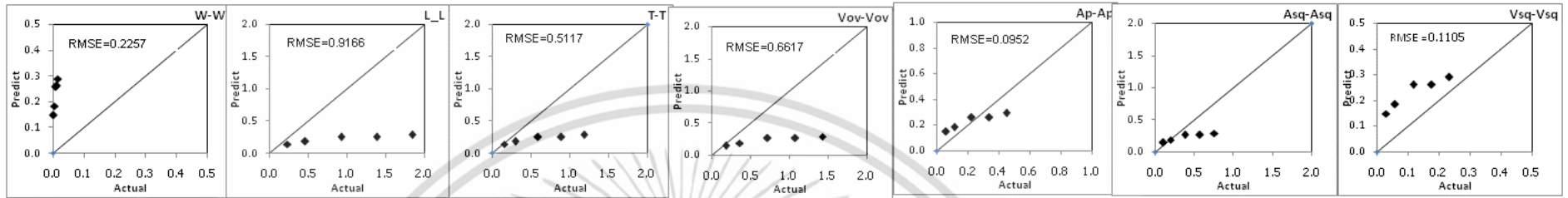
ตารางที่ 4.9 ค่าการดูดซับคลื่น NIR ของตัวอย่างข้าวที่เจือปนด้วยด้วงวงข้าวที่ระดับการเจือปนต่างๆ ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่างๆ

ความยาวคลื่น (nm)	จำนวนด้วงวงข้าวที่เจือปน (ตัว)	Raw Spectrum	วิธีการปรับแต่ง สเปกตรัม (ด้วงวงข้าว/ข้าวสาร)		
			Mean Normalization	Max Normalization	Range Normalization
712.596	25	-0.11001	-3.90789	-0.46578	-0.31270
	50	-0.06741	-0.9335	-0.23773	-0.19047
	100	0.03555	0.21169	0.09793	0.10712
	150	0.04411	0.26159	0.12567	0.13980
	200	0.10283	0.44769	0.24687	0.32343
726.419	25	-0.10057	-3.57256	-0.42581	-0.28587
	50	-0.05984	-0.82868	-0.21103	-0.16908
	100	0.04450	0.26497	0.12257	0.13408
	150	0.05472	0.32448	0.15589	0.17341
	200	0.11184	0.48689	0.26848	0.35175
801.458	25	-0.04820	-1.71222	-0.20408	-0.13701
	50	-0.01080	-0.14961	-0.03810	-0.03053
	100	0.09704	0.57783	0.26729	0.29238
	150	0.11380	0.67484	0.32421	0.36065
	200	0.16429	0.71525	0.39441	0.51673
805.407	25	-0.04523	-1.60668	-0.19150	-0.12856
	50	-0.00785	-0.10866	-0.02767	-0.02217
	100	0.09995	0.59513	0.27529	0.30114
	150	0.11689	0.69316	0.33301	0.37044
	200	0.16715	0.72770	0.40127	0.52573
807.328	25	-0.04385	-1.55754	-0.18564	-0.12463
	50	-0.00647	-0.08966	-0.02283	-0.01829
	100	0.10129	0.60315	0.27900	0.30520
	150	0.11833	0.70168	0.33710	0.37499
	200	0.16848	0.73346	0.40445	0.52989
809.356	25	-0.04241	-1.50656	-0.17957	-0.12055
	50	-0.00505	-0.06998	-0.01782	-0.01428
	100	0.10269	0.61144	0.28284	0.30939
	150	0.11984	0.71063	0.34140	0.37977
	200	0.16985	0.73944	0.40775	0.53421
900.193	25	0.05524	1.96226	0.23388	0.15702
	50	0.09459	1.30983	0.33356	0.26725
	100	0.19102	1.13739	0.52613	0.57553
	150	0.20305	1.20407	0.57846	0.64348
	200	0.25334	1.10294	0.60819	0.79681

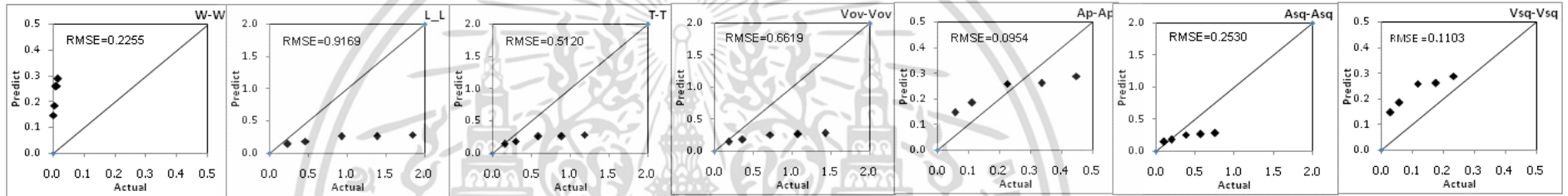
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่น (nm)

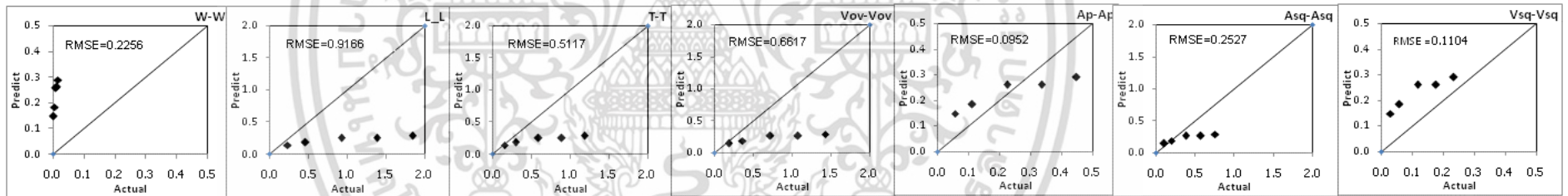
712.596* , 801.458**



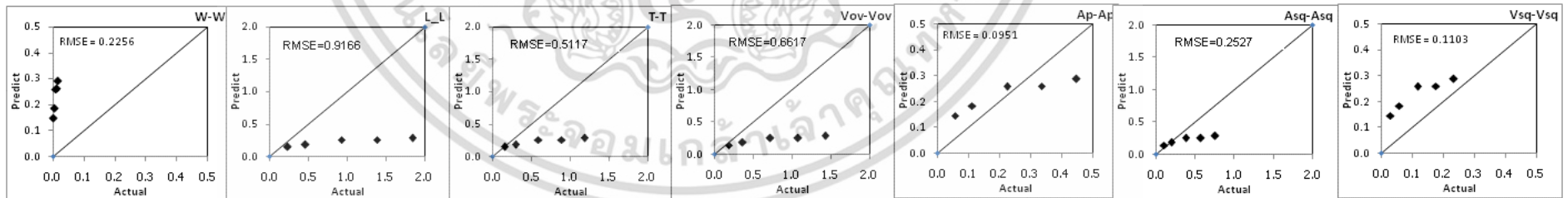
712.596* , 805.407**



712.596* , 807.832**



712.596* , 809.356**



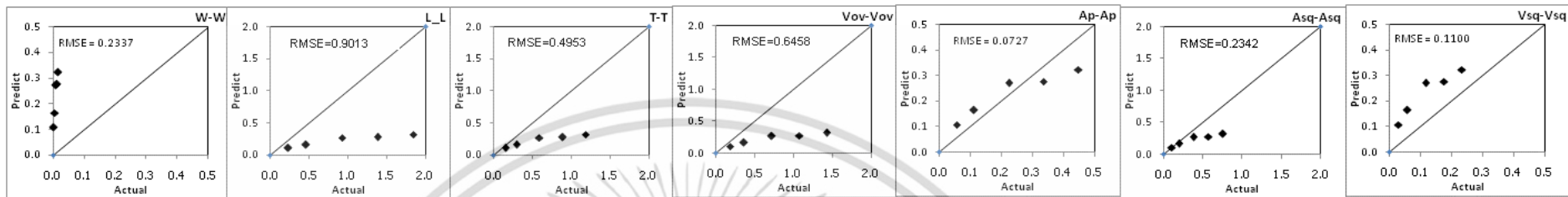
*เอกลักษณ์ดั่งวงงข้าว

**เอกลักษณ์ข้าวสาร

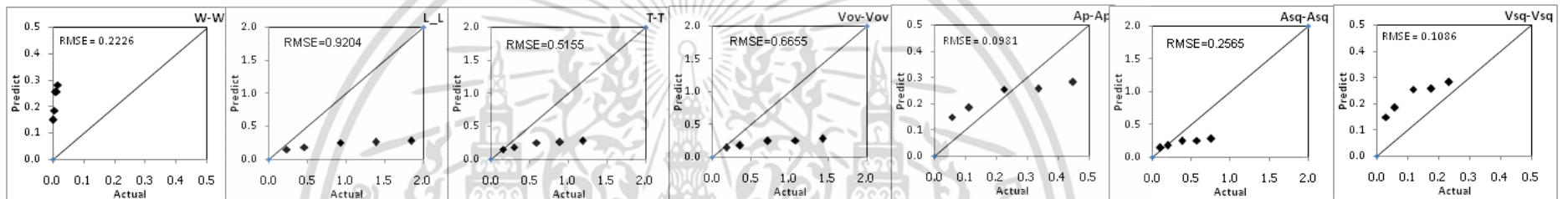
รูปที่ 4.14 สัดส่วนของดั่งวงงข้าวต่อข้าวสารที่ผ่านการคำนวณด้วยวิธี GLM ด้วย Range Normalization

ความยาวคลื่น (nm)

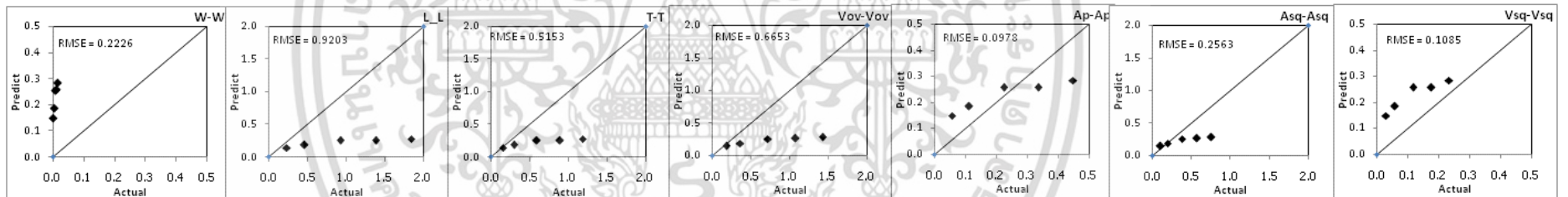
712.596* , 900.193**



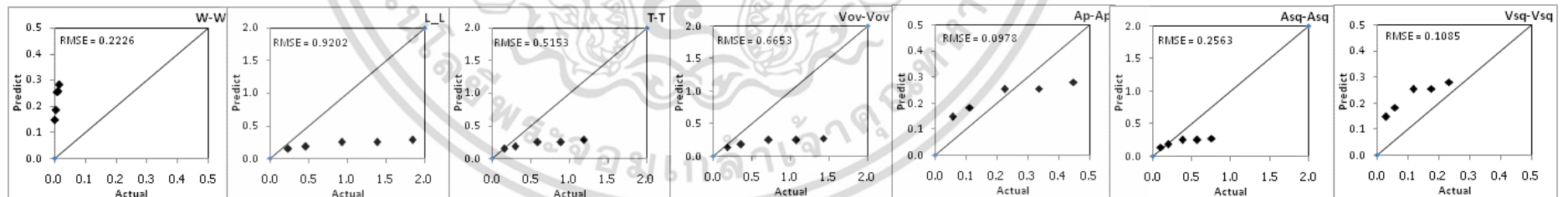
726.419* , 801.458**



726.419* , 805.407**



726.419* , 807.832**



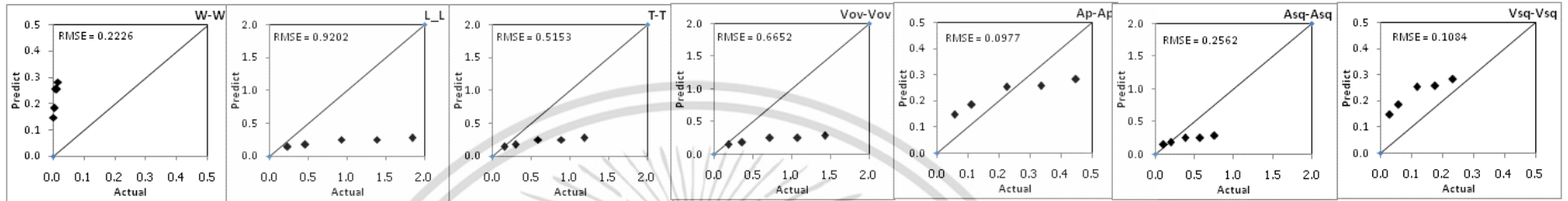
*เอกลักษณ์ตัวงวงข้าว

**เอกลักษณ์ข้าวสาร

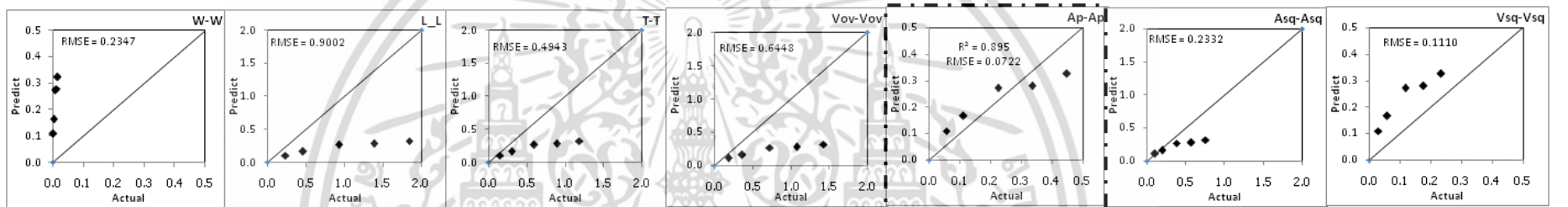
รูปที่ 4.14 สัดส่วนของตัวงวงข้าวต่อข้าวสารที่ผ่านการคำนวณด้วยวิธี GLM ด้วย Range Normalization(ต่อ)

ความยาวคลื่น (nm)

726.419* , 809.356**



726.419* , 900.193**



*เอกลักษณ์ดั่งวงงข้าว

**เอกลักษณ์ข้าวสาร

รูปที่ 4.14 สัดส่วนของดั่งวงงข้าวต่อข้าวสารที่ผ่านการคำนวณด้วยวิธี GLM ด้วย Range Normalization(ต่อ)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม

จากการสังเกตสเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) ที่เกิดจากการดูดกลืนแสงของข้าวประเภทต่างๆ และดั่งวงงข้าวที่ยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun Spectrometer (Shizuoka Shibuya Seiki, Japan) พบว่า สเปกตรัมดั้งเดิมของข้าวประเภทต่างๆและดั่งวงงข้าว จะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ทำให้สามารถนำไปสร้างสมการทำนายได้ เมื่อได้ทำการนำไปวาดกราฟจะได้การเรียงลำดับที่ดีของ Raw spectrum ช่วงความยาวคลื่น 700-900 นาโนเมตร

5.1.2 ผลการสร้างสมการทำนายด้วยวิธี Partial least square (PLS)

จากกระบวนการทำแบบจำลอง PLS ของปริมาณดั่งวงงข้าวในข้าวเปลือก โดยเลือกวิธี Multiplicative Scatter Correction (MSC) : แบบ Full MSC ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.818 จากตาราง 2.1 $R^2 = 0.66 - 0.81$ ดี สำหรับการคัดเลือกและการประมาณค่าอย่างหยาบๆ ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของชุดทดสอบ (root mean squared error of estimation; RMSEE) เท่ากับ 0.140 และมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) = $-2.5E-08$ เปอร์เซ็นต์

จากการทำแบบจำลอง PLS ของปริมาณดั่งวงงข้าวในข้าวกล้องที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2nd Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2 (Calibration set) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.943 จากตาราง 2.1 $R^2 = 0.92 - 0.96$ ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการประกันคุณภาพ ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของชุดทดสอบ (root mean squared error of estimation; RMSEE) เท่ากับ 0.077 และมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) = $-3.9E-08$ เปอร์เซ็นต์

จากการทำแบบจำลอง PLS ของปริมาณดั่งวงงข้าวในข้าวสารที่วัดได้กับค่าทำนายของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธี 2nd Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2 (Calibration set) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่า Coefficient of determination (R^2) ที่สูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.823 จากตาราง 2.1 $R^2 = 0.83 - 0.90$ ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของชุดทดสอบ (root mean squared error of estimation; RMSEE) เท่ากับ 0.137 และมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) = $-6.0E-09$ เปอร์เซ็นต์

5.1.3 ผลจากการคำนวณหาสัดส่วนระหว่างดั่งวงวงข้าวและข้าวโดยวิธีการแก้สมการเชิงเส้น (General Linear Model, GLM)

จากการที่ได้ทำการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมแล้ว จะเห็นว่าการปรับแต่งสเปกตรัมของตัวอย่างข้าวสารสำหรับชุด Range Normalization ให้ลักษณะของข้อมูลที่เรียงตามระดับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของดั่งวงวงข้าวได้ดี จึงได้ทำการคำนวณหาสัดส่วนดั่งวงวงข้าวในตัวอย่างข้าว โดยให้ความยาวคลื่น 726.419 nm (เอกลักษณ์ของดั่งวงวงข้าว) และ 900.193 nm (เอกลักษณ์ของข้าวสาร) เมื่อได้ทำการคำนวณแล้วจะให้สัดส่วนที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าสัดส่วนทางกายภาพของพื้นที่ภาพฉายของสัดส่วนของดั่งวงวงข้าวต่อข้าวสาร และมีค่า Coefficient of determination (R^2) เท่ากับ 0.8959 และค่า Root mean squared error (RMSE) เท่ากับ 0.0722 ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำที่ดี เมื่อมีค่า R^2 ที่สูง และค่า RMSE ที่ต่ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มจำนวนครั้งในการวัดตัวอย่างแต่ละตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น เพื่อที่จะให้มีความแม่นยำเพียงพอต่อการทำนาย
2. ในกระบวนการวิเคราะห์สเปกตรัมอาจเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงหาความแม่นยำด้วยวิธีการจัดการสเปกตรัมอื่นๆเพื่อให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่สูงขึ้น
3. การวัดปริมาณดั่งวงวงข้าวด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมปรับปรุงคุณภาพข้าว เพื่อที่จะนำไปประมาณปริมาณดั่งวงวงข้าวก่อนการใช้สารเคมี ซึ่งจะทำให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชุมพล กันทะ. 2533. “หลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ”. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 249 หน้า :
- [2] บานชื่น เก่งมนตรี .2548. “การศึกษาตารางชีวิต (life table) และลักษณะการทำลายของด้วงงวงข้าว *Sitophilus oryzae* (L.)”. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชากีฏวิทยาบัณฑิต วิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. [ISBN 974-284-835-1]
- [3] จิรภัทร ขำญาติ .2546. กรอ. เลื่อนนครหลวงค้าข้าวนำร่องโครงการ ICM ใช้สารธรรม ECO2 Fumeป้องกัน โไอโซนในชั้นบรรยากาศ. Engineering Today 1(1): 68-72.
- [4] Li, H., LV, X., Wang, J., Li, J., Yang, H. and Qin, Y. 2007. Quantitative determination of soybean meal content in compound feeds: Comparison of near-infrared spectroscopy and real-time PCR. Anal Bioanal Chem. 389: 2313-2322.
- [5] วรวิทย์ พาณิชพัฒน์ สุเทพ ลิ้มทองกุล และสุเทพ นุชสวาท. 2530. ความรู้เรื่องข้าว. ข้าวสารเกษตรศาสตร์ 32(3): 26-42.
- [6] พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสถ สุนทร ดุริยะประพันธ์ ทักษิณ อาชวาคม สายันต์ ต้นพานิช ชลริชา นิवासประภฤติ และปริยานันท์ ทรสูงเนิน. 2544. PROSEA ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 10 ธัญพืช. สหมิตรพรีนติ้ง นนทบุรี. 257 หน้า.
- [7] ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ http://agri.kps.ku.ac.th/agron/main.php?pg=chapter&et_id=3&e_id=1
- [8] งามชื่น คงเสรีและเครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข . เมล็ดข้าว, กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยข้าวกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2522.
- [9] จำรัส โปรงศิริวัฒนา. ความรู้เรื่องข้าว, กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2534.
- [10] อรอนงค์ นัยวิกุล . ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, อดุสหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550.
- [11] Wikipedia. 2013. “Starch”. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://en.wikipedia.org/wiki/Starch#Structure>.
- [12] Bureau of Rice Research and Development. Rice Department of Thailand. Ministry of Agriculture and Cooperatives. “Rice knowledge bank”. [Online]. Available : <http://www.brrd.in.th/rkb/product/index.php>. 2012.
- [13] วิไลลักษณ์ พลากลาง. 2541. เก็บข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้คงความหอม. กสิกร 71(6): 586-589.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Halstead, D.G.H. 1963. The rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. and *Sitophilus zeamais* Mots. Identification and synonym. Tropical Stored Products Information 5: 177-179.
- [15] Mendoza, J.P., E. Throne, and J.E. Baker. 2004. Ovarian physiology and age-grading in the riceweevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Stored Products Research 40(2): 179-196.
- [16] กุสุมา นวลวัฒน์. 2544. แมลงศัตรูผลิตผลเกษตร. เอกสารประกอบการบรรยายการอบรมหลักสูตร “แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด”. 5-7 มิถุนายน 2544. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 128 หน้า.
- [17] Peng, W.K., H.C. Lin, C.N. Chen, and C.H. Wang. 2003. DNA identification of two laboratory colonies of the weevils, *Sitophilus oryzae* (L.) and *S. zeamais* Motschulsky (Coleoptera:Curculionidae) in Taiwan. Journal of Stored Products Research 39: 225-235.
- [18] อุดม อริชชาติ. 2526. แมลงศัตรูอาหารสัตว์ในโรงเก็บ. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 58 หน้า.
- [19] Trematerra, P., and A. Sciarretta. 2004. Spatial distribution of some beetles infesting a feed mill with spatio-temporal dynamics of *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum*. Journal of Stored Products Research 40(4): 363-377.
- [20] Koehler, P.G. 2003. Rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). (cited 2 Oct 2003) Available from: URL: http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_IG120.
- [21] กรมวิชาการเกษตร. 2535. แมลงศัตรูผลิตผลเกษตร. เอกสารวิชาการแมลงและสัตว์ศัตรูที่สำคัญของพืชเศรษฐกิจ และการบริหาร. ไอเดีย สแควร์. กรุงเทพฯ. 400 หน้า.
- [22] บุขรา จันทร์แก้วมณี. 2546. แมลงศัตรูผลิตผลเกษตร. เอกสารวิชาการประกอบการฝึกอบรม แมลง - สัตว์ศัตรูพืชและการป้องกันกำจัด ครั้งที่ 12. 24-28 มีนาคม 2546. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 128 หน้า.
- [23] Qaisrani, R. and J. Banks. 2000. The prospects for heat disinfestation of grain. Australian Postharvest Technical Conference. pp. 60-65.
- [24] Mankin, R.W. , D. Shuman and D.K. Weaver. 1999. Thermal treatments to increase acoustic detectability of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera : Curculionidae) in stored grain. Journal Economic Entomology. 92(2) : 453-462.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] Nakakita, H. and H. Ikenaga. 1997. Action of low temperature on physiology of *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera : Curculionidae) in rice storage. *Journal of Stored Products Research* 33(1): 31-38.
- [26] Beckett, S.J., R. Morton and J.A. Derby. 1998. The mortality of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) at moderate temperatures. *J. Stored Prod. Res.* 34, 363-376.
- [27] Lucas E., and Riudavets J. 2002. Biological and mechanical control of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) in rice. *Journal of Stored Products Research* 38: 293-304.
- [28] Choi, W.I., T.J. Yoon and M.I. Ryoo. 2001. Host-size-dependent behaviour and progeny sex ratio of *Anisopteromalus calandrae* (Hym., Pteromalidae). *Journal Appl. Ent.* 125 : 71-77.
- [29] Batta, Y.A. 2004. Control of rice weevil (*Sitophilus oryzae* L., Coleoptera: Curculionidae) with various formulations of *Metarhizium anisopliae*. *Crop Protection* 23: 103-108.
- [30] Toews, M.D., B. Subramanyam, and J.M. Rowan. 2003. Knockdown and mortality of adults of eight species of stored-product beetles exposed to four surfaces treated with spinosad. *Journal Economic Entomology.* 96(6): 1967-1973.
- [31] Bello, G.D., S. Padin, C. Lopez and M. Fabrizio. 2001. Laboratory evaluation of chemicalbiological control of the rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.) in stored grains. *Journal of Stored Products Research* 37 : 77-84.
- [32] Likhayo, P.W., and R.J. Hodges. 2000. Field monitoring *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) using refuge and flight traps baited with synthetic pheromone and cracked wheat. *Journal of Stored Products Research* 36: 341-353.
- [33] ปานมนัส ศิริสมบุญ. 2556. เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร. [Online]. Available: www.nirsresearch.com.
- [34] นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ . 2545. “หลักการพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโทรสโกปี (Principles of Near Infrared Spectroscopy)”. การอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก . หน้า 39-66.
- [35] วิชัย รุ่งตระกูล และคณะ. 2527. “การประยุกต์สเปกโทรสโกปีในเคมีอินทรีย์. กรุงเทพฯ. หน้า 298.

- [36] ปานมนัส ศิริสมบุญ, รวีภัทร ลากเจริญสุข, กรรณพต แก้วสอน, พลนันท อ่อนไสว, บัณฑิต ทองสร้อย, นัฐกรณ์ สอนสงวน, สมชาย กลัดสุข, ศิวตล รัตนโอภา, อภิชาติ สมผิว และกิ่งดาว ชนะโชติ . 2556. “การคาลิเบรชันแบบตัวแปรพหุ แนวแนวเชิงปฏิบัติสำหรับการพัฒนาแบบจำลองในเคมีวิเคราะห์ ” <http://www.nirsresearch.com>.
- [37] ธงชัย สุวรรณสิขณณ์. “การวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ Data Analysis of NIR Spectra: Qualitative and Quantitative Analysis” การอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 2545. หน้า 116 – 119
- [38] Kasemsamran, S. 2005. “Nondestructive Quantitative Analysis of biomedical Samples by Near Infrared Spectroscopy with Chemometrics and Development of novel Chemometric Methods for quantitative Analysis” Ph. D. Thesis. Kwansai Gakuin University, Japan.
- [39] Williams, P. 2007. “Near-infrared Technology – Getting the best out of light”. Edition 5.0. A short course in the practical implementation of near-infrared spectroscopy for the user. PDK Grain, Nanaimo, Canada.
- [40] Jörg-Peter Conzen 2006. “Multivariate Calibration. A practical guide for developing methods in the quantitative analytical chemistry” Bruker Optik GmbH. 116 p.
- [41] ระบบสมการเชิงเส้น (system of linear equations). เข้าได้จาก <http://www.thaigoodview.com/node/20416> .เข้าถึงเมื่อ 25-3-56.
- [42] วารุณี ณะแพสย์. “สถานการณ์และการใช้ประโยชน์ด้วยเทคนิค NIR ในประเทศไทย : แนวโน้มงานวิจัยในด้านเทคนิค NIR ในความต้องการของอุตสาหกรรมและมาตรฐานคุณภาพของสินค้า” โครงการสัมมนาวิชาการ การควบคุมมาตรฐานคุณภาพของสินค้าทางการเกษตร และอุตสาหกรรมโดยวิธีไม่ทำลายเพื่อการแข่งขันบนเวทีการค้าโลก. 2550. หน้า 21-31
- [43] สุขอังคณา ลี, วิทยา อินทร์สอน, ปวีรบรรต นาสวาสดี และอดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์. 2555. “เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดด้วงวงงข้าวในข้าวสาร” ว. วิทย์. กษ. 43: 3(พิเศษ) : หน้า 199 – 203.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [44] ใจทิพย์ อุไรชื่น, อัจฉรา เพชรโชติและ พรทิพย์ วิสารทานนท์. 2553. “การควบคุมด้วงงวงข้าวโพด *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) ศัตรูข้าวหลังเก็บเกี่ยวด้วยการใช้ความร้อน High Temperature Treatments to Control Maize Weevil” หน้า 54 -64.
- [45] พุทธินันท์ จารุวัฒน์, ประสันต์ ชุ่มใจหาญ. “ศึกษาการตรวจวัดปริมาณมอดในข้าวพันธุ์หอมมะลิด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี : Study on Weevil Detection in Rice Stock by Near-Infrared Spectroscopy Technique”. 2556.
- [46] พุทธินันท์ จารุวัฒน์, ประสันต์ ชุ่มใจหาญ. “ศึกษาการตรวจวัดปริมาณมอดในข้าวด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี : Study on Weevil Detection in Rice Stock by Near-Infrared Spectroscopy Technique”. 2556.
- [47] ศศิวิมล มากมูล, ศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ และปาริชาติ เทียนจุมพล. “การใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีตรวจสอบการปนของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1”: ว. วิทย์. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 377-380 (2553).
- [48] จารุวรรณ บางแว, อรวรรณ จิตต์ธรรม และอรณิชชา สุวรรณโณม. “การประเมินค่าอมิโลสในเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร โดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy”. : ว. วิทย์. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 389-392 (2553).
- [49] วรินทร์ มณีวรรณ, ศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ และปาริชาติ เทียนจุมพล. “การหาปริมาณโปรตีนในเมล็ดพันธุ์ข้าวเหลืองด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี”. : ว. วิทย์. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 401-404 (2553).
- [50] B.G. Osborne, T. Fearn and P.H. Hindle. “Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis”. Second edition. Longman Singapore Publishers. 1993.



ภาคผนวก

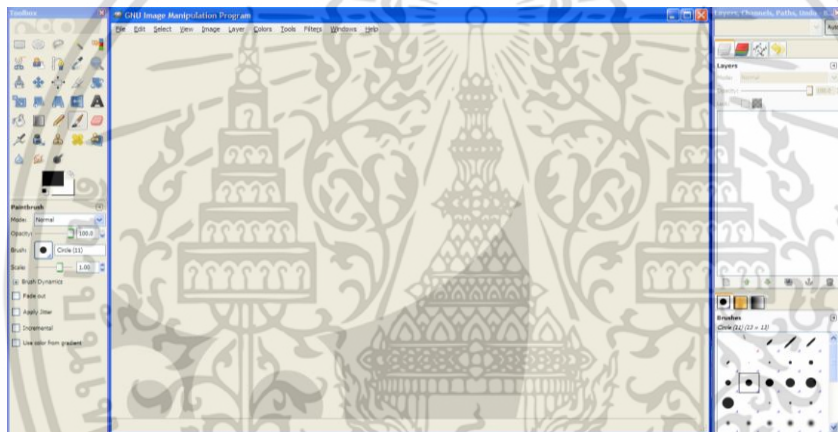
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



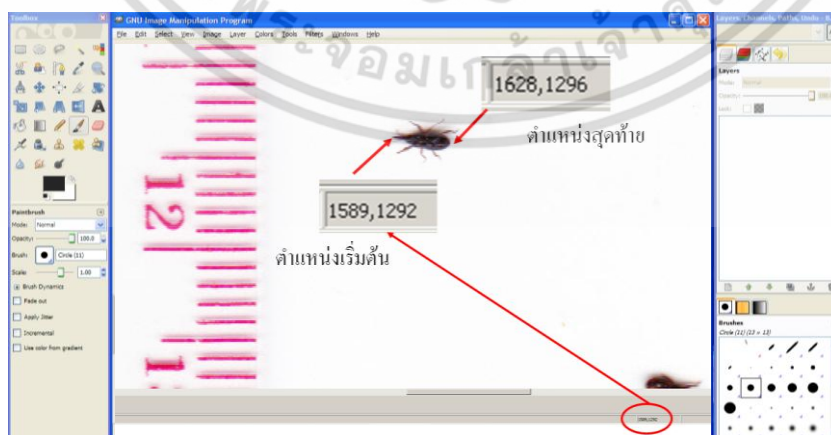
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก1 รูปที่ได้จากการสแกนเนอร์

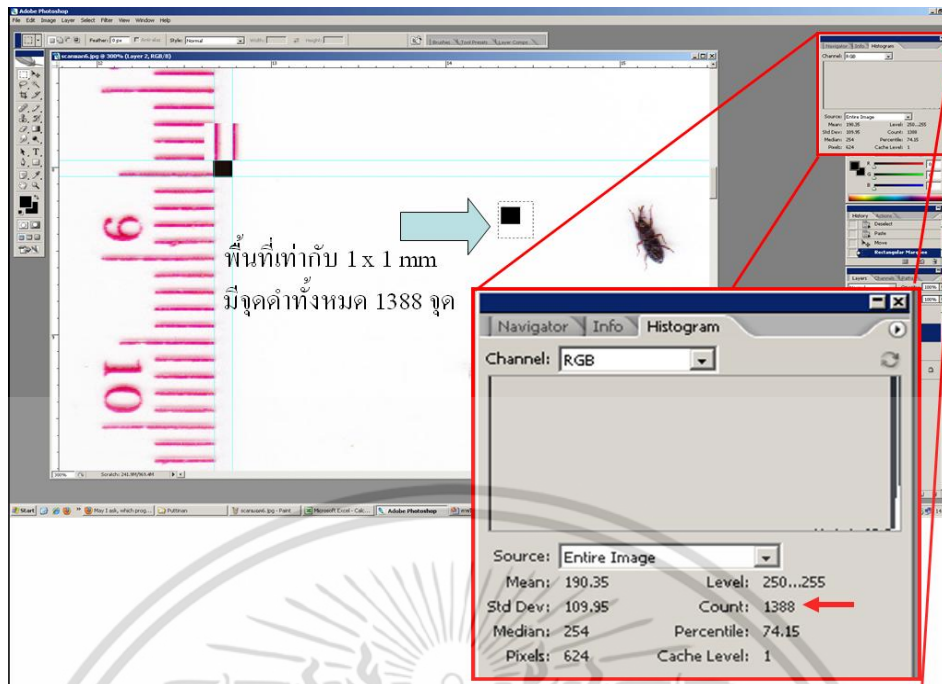


รูปที่ ก2 การใช้โปรแกรม GIMP V.2

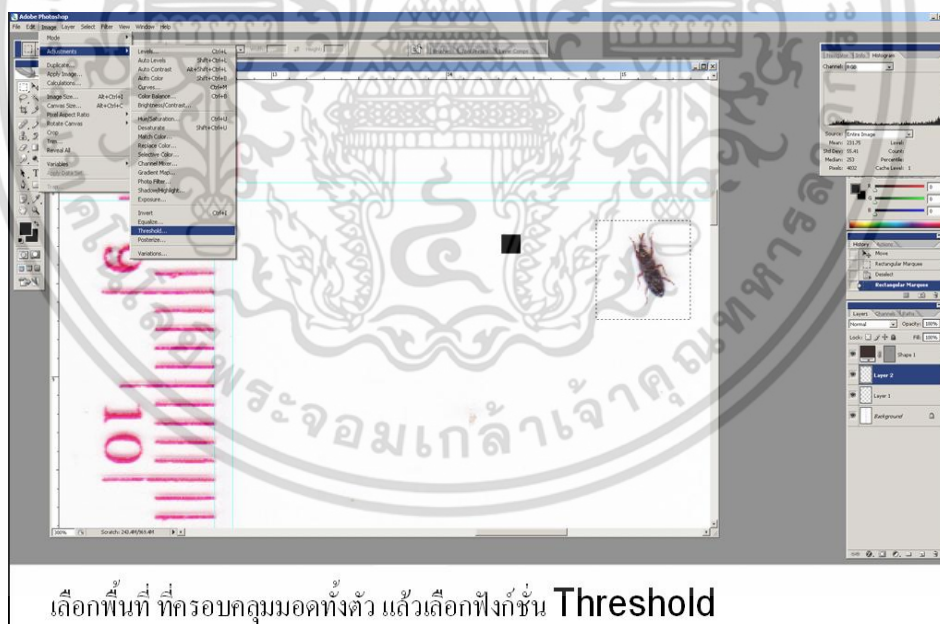


รูปที่ ก3 การใช้โปรแกรม GIMP V.2 สำหรับการหาค่าพื้นที่ภาพฉาย, ค่า Count และค่า Pixel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก4 การใช้โปรแกรม Adobe Photoshop cs3 เพื่อใช้หน้าต่าง Histogram จะได้ค่า count ของพื้นที่ 1 mm. X 1 mm.



รูปที่ ก5 การใช้ Function Threshold เพื่อจะได้ค่า count ของพื้นที่ที่ดวงวงขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1 ค่าน้ำหนักของข้าวและด้วงงวงข้าว และค่าคุณสมบัติต่างๆ

ตัวอย่าง	น้ำหนัก100เมล็ด (กรัม)	จำนวนเมล็ด 100กรัม	ความกว้างเฉลี่ย (mm)	ความยาวเฉลี่ย (mm)	ความหนาเฉลี่ย (mm)	ปริมาตรเฉลี่ย (mm ³)	พื้นที่ (mm ²)	ค่า pixel	ค่า count	พื้นที่ สีเหลือง	ปริมาตร สีเหลือง
ข้าวเปลือก	2.70000	3703.7037	0.9584	3.5476	0.733	7.988	3.788	41.780	545.540	3.400	2.492
ข้าวกล้อง	2.10000	4761.9048	2.6691	10.310	2.5401	38.456	37.130	122.450	5347.100	27.517	69.896
ข้าวสาร	1.90000	5263.1579	2.4221	7.501	2.482	29.856	34.670	104.650	4992.700	18.168	45.093
ด้วงงวงข้าว	0.18500		2.3569	7.308	2.3569	21.256	32.210	86.850	4638.300	17.225	40.597

ตารางที่ ก2 ค่าน้ำหนักของด้วงงวงข้าว

ตัวอย่าง	น้ำหนักด้วงงวงข้าว (กรัม)
ด้วงงวงข้าว 25 ตัว	0.04625
ด้วงงวงข้าว 50 ตัว	0.09250
ด้วงงวงข้าว 100 ตัว	0.18500
ด้วงงวงข้าว 150 ตัว	0.27750
ด้วงงวงข้าว 200 ตัว	0.37000

ตารางที่ ก3 อัตราส่วนของด้วงวงข้าวและข้าว

อัตราส่วน	W-W	L-L	T-T	Vov-Vov	Ap-Ap
ด้วงวงข้าว-ข้าวเปลือก	0.359	0.344	0.289	0.208	0.102
ด้วงวงข้าว-ข้าวกล้อง	0.396	0.473	0.295	0.268	0.109
ด้วงวงข้าว-ข้าวสาร	0.407	0.485	0.311	0.376	0.118

ตารางที่ ก4 คุณสมบัติทางกายภาพของด้วงวงข้าว

ด้วงวงข้าว	W	L	T	Voval	Ap
25 ต้ว	23.960	88.691	18.325	199.688	94.712
50 ต้ว	47.920	177.382	36.650	399.376	189.424
100 ต้ว	95.839	354.765	73.300	798.752	378.847
150 ต้ว	143.759	532.147	109.950	1198.128	568.271
200 ต้ว	191.678	709.530	146.600	1597.504	757.694

ตารางที่ ก5 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเทียบกับสัดส่วนของด้วงวงข้าว

ตัวอย่างข้าว	W	L	T	Voval	Ap
ข้าวเปลือก 100 กรัม	9885.443	381.833	94.078	1424.302	1375.185
ข้าวกล้อง 100 กรัม	11533.810	357.190	118.190	1421.714	1650.952
ข้าวสาร 100 กรัม	12404.890	384.636	124.049	1118.744	1695.263

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

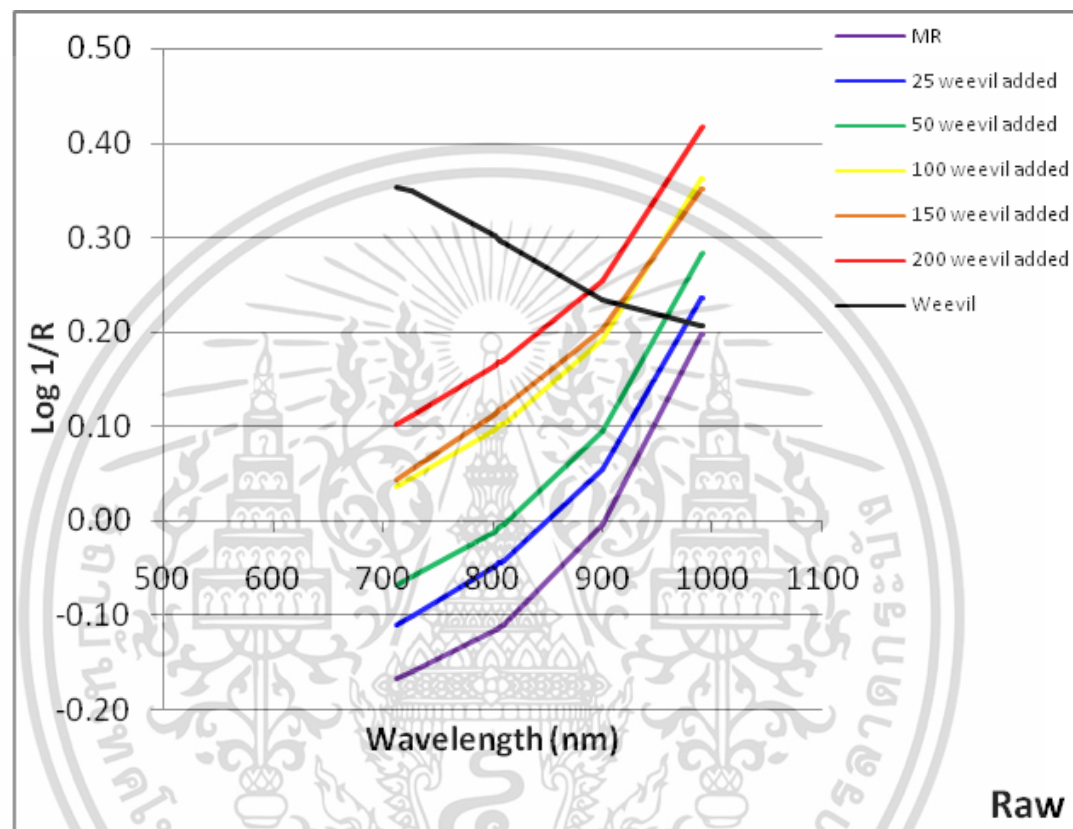


ภาคผนวก ข.
ข้อมูลจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) จากเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร เลือกเฉพาะ Wave length ที่มี
ความเด่นของ ดัชนีหักเหและค่าสาร ที่ 700-900 นาโนเมตร

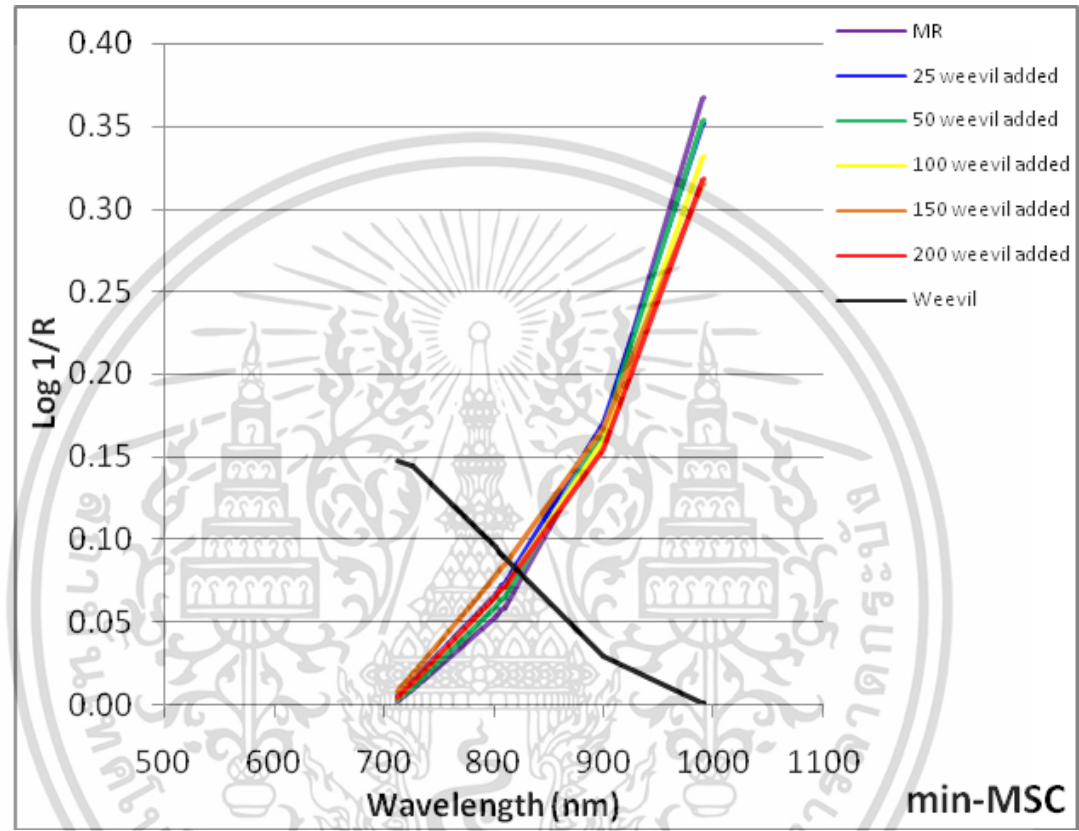
wave length	Milled rice	25 weevil added	50 weevil added	100 weevil added	150 weevil added	200 weevil added	Weevil
712.5961	-0.167293	-0.110013	-0.067412	0.035552	0.044113	0.102833	0.35303
726.419	-0.160188	-0.100573	-0.059842	0.044501	0.054719	0.111838	0.34940
801.4576	-0.116218	-0.048202	-0.010804	0.097042	0.113803	0.164292	0.30088
805.407	-0.113447	-0.045231	-0.007847	0.099948	0.116893	0.167153	0.29776
807.3817	-0.112150	-0.043847	-0.006475	0.101295	0.118329	0.168475	0.29623
809.3564	-0.110780	-0.042412	-0.005053	0.102687	0.119838	0.169850	0.29465
900.1926	-0.004467	0.055241	0.094588	0.191017	0.203051	0.253344	0.23445
989.0541	0.196657	0.234860	0.282402	0.361860	0.350411	0.415635	0.20579
991.0288	0.197691	0.235719	0.283201	0.362555	0.350863	0.416315	0.20582



รูปที่ ข1 กราฟจากข้อมูลของ ตารางที่ ข1 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum)

ตารางที่ ข2 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) จากเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร เลือกเฉพาะ Wave length ที่มี
ความเด่นของ ดัชนีหักเหและค่าสาร ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Minimum MSC ที่ 700-900 นาโนเมตร

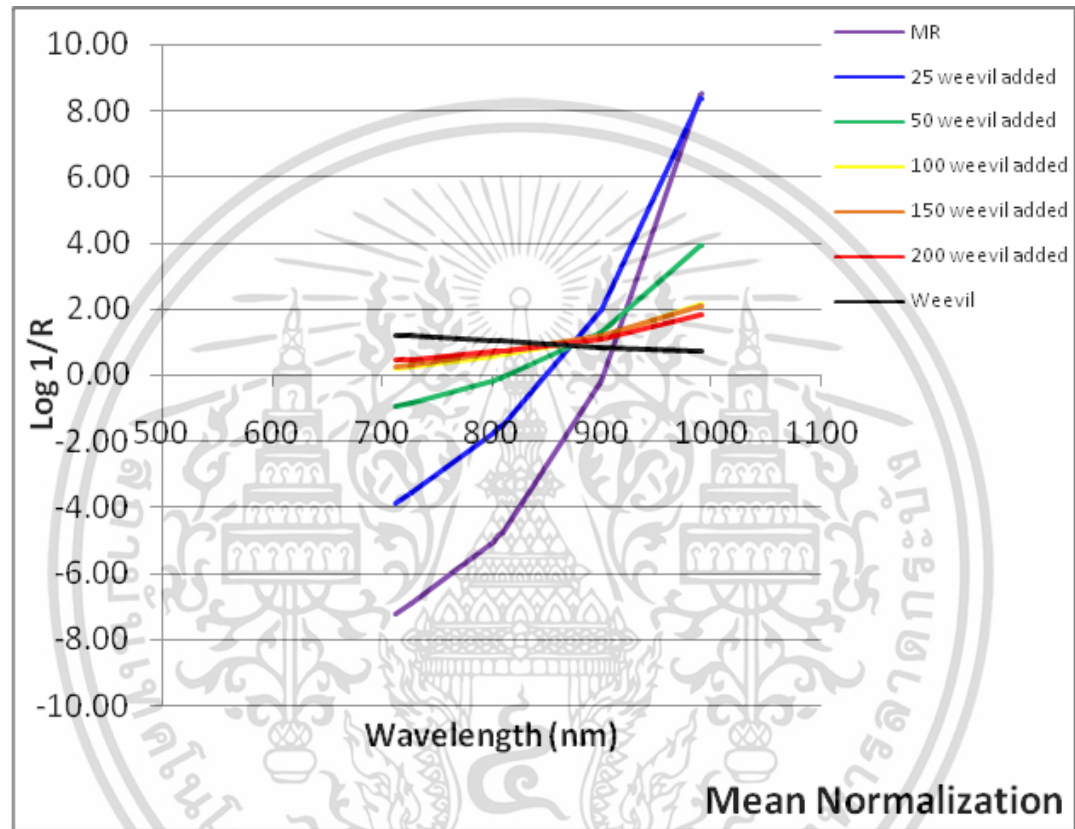
wave length	Milled rice	25 weevil added	50 weevil added	100 weevil added	150 weevil added	200 weevil added	Weevil
712.5961	0.002321	0.005610	0.002947	0.004394	0.008642	0.004224	0.147698
726.419	0.009427	0.015050	0.010517	0.013343	0.019249	0.013229	0.144068
801.4576	0.053397	0.067422	0.059555	0.065884	0.078333	0.065683	0.095556
805.407	0.056167	0.070393	0.062512	0.068790	0.081422	0.068544	0.092437
807.3817	0.057464	0.071776	0.063884	0.070137	0.082858	0.069866	0.090902
809.3564	0.058834	0.073211	0.065305	0.071528	0.084367	0.071241	0.089325
900.1926	0.165148	0.170864	0.164946	0.159859	0.167581	0.154735	0.029118
989.0541	0.366271	0.350484	0.352760	0.330702	0.314941	0.317026	0.000461
991.0288	0.367305	0.351343	0.353560	0.331397	0.315392	0.317706	0.000495



รูปที่ ข2 กราฟจากข้อมูลของ ตารางที่ ข1 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) ที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Minimum MSC

ตารางที่ ข3 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) จากเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร เลือกเพราะ Wave length ที่มี
ความเด่นของ ดัชนีหักเหและค่าสาร ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Mean Normalization ที่ 700-900 นาโนเมตร

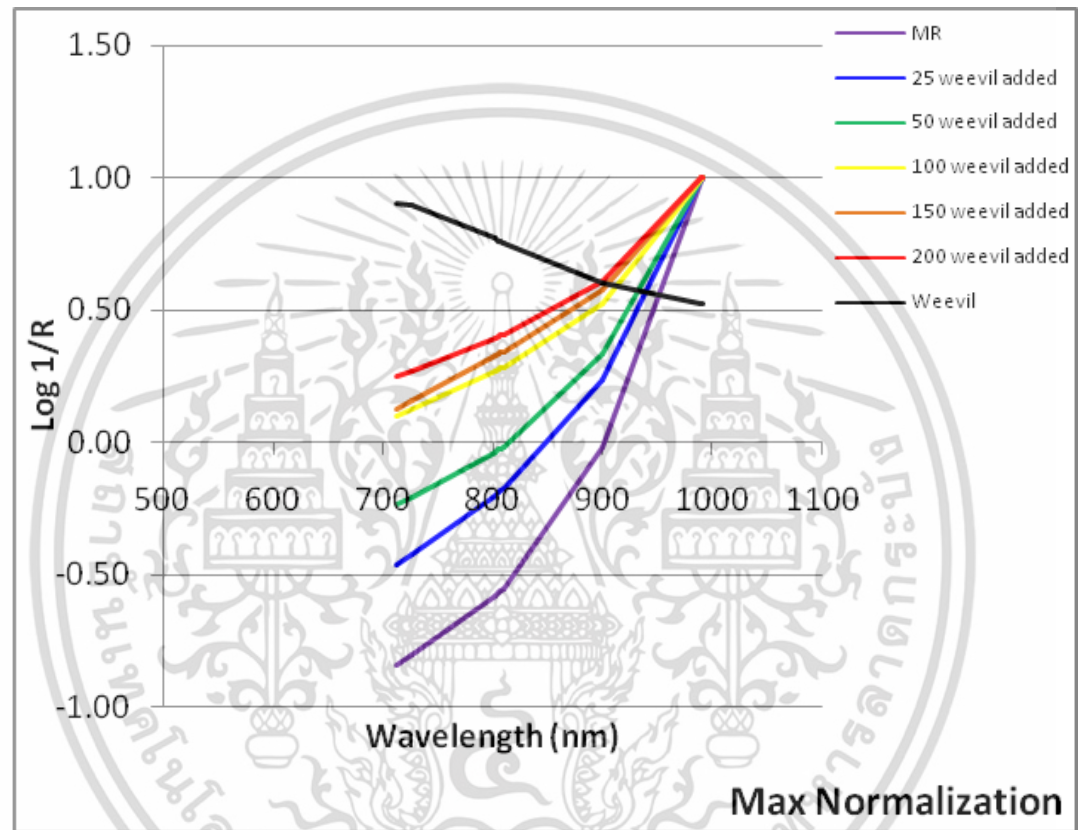
wave length	Milled rice	25 weevil added	50 weevil added	100 weevil added	150 weevil added	200 weevil added	Weevil
712.5961	-7.221916	-3.907886	-0.933505	0.211693	0.261586	0.447685	1.212672
726.419	-6.915177	-3.572556	-0.828680	0.264974	0.324480	0.486889	1.200203
801.4576	-5.017033	-1.712222	-0.149611	0.577826	0.674842	0.715247	1.033560
805.407	-4.897428	-1.606680	-0.108659	0.595129	0.693165	0.727704	1.022844
807.3817	-4.841430	-1.557537	-0.089660	0.603148	0.701680	0.733459	1.017573
809.3564	-4.782287	-1.506559	-0.069980	0.611436	0.710626	0.739444	1.012156
900.1926	-0.192817	1.962258	1.309835	1.137392	1.204075	1.102937	0.805338
989.0541	8.489526	8.342705	3.910661	2.154654	2.077904	1.809474	0.706899
991.0288	8.534145	8.373217	3.921728	2.158792	2.080582	1.812431	0.707018



รูปที่ ข3 กราฟจากข้อมูลของ ตารางที่ ข1 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) ที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Mean Normalization

ตารางที่ ข4 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) จากเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร เลือกเพราะ Wave length ที่มีความเด่นของ ดัชนีหักเหและค่าสาร ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Max Normalization ที่ 700-900 นาโนเมตร

wave length	Milled rice	25 weevil added	50 weevil added	100 weevil added	150 weevil added	200 weevil added	Weevil
712.5961	-0.842081	-0.465777	-0.237725	0.097925	0.125671	0.246865	0.902479
726.419	-0.806315	-0.425809	-0.211031	0.122572	0.155886	0.268483	0.893200
801.4576	-0.584990	-0.204078	-0.038100	0.267291	0.324207	0.394405	0.769182
805.407	-0.571044	-0.191499	-0.027671	0.275295	0.333009	0.401274	0.761208
807.3817	-0.564514	-0.185641	-0.022833	0.279004	0.337100	0.404448	0.757285
809.3564	-0.557618	-0.179565	-0.017821	0.282838	0.341398	0.407748	0.753254
900.1926	-0.022483	0.233880	0.333561	0.526135	0.578460	0.608188	0.599338
989.0541	0.989885	0.994358	0.995884	0.996700	0.998263	0.997790	0.526079
991.0288	0.995088	0.997995	0.998702	0.998614	0.999550	0.999421	0.526168

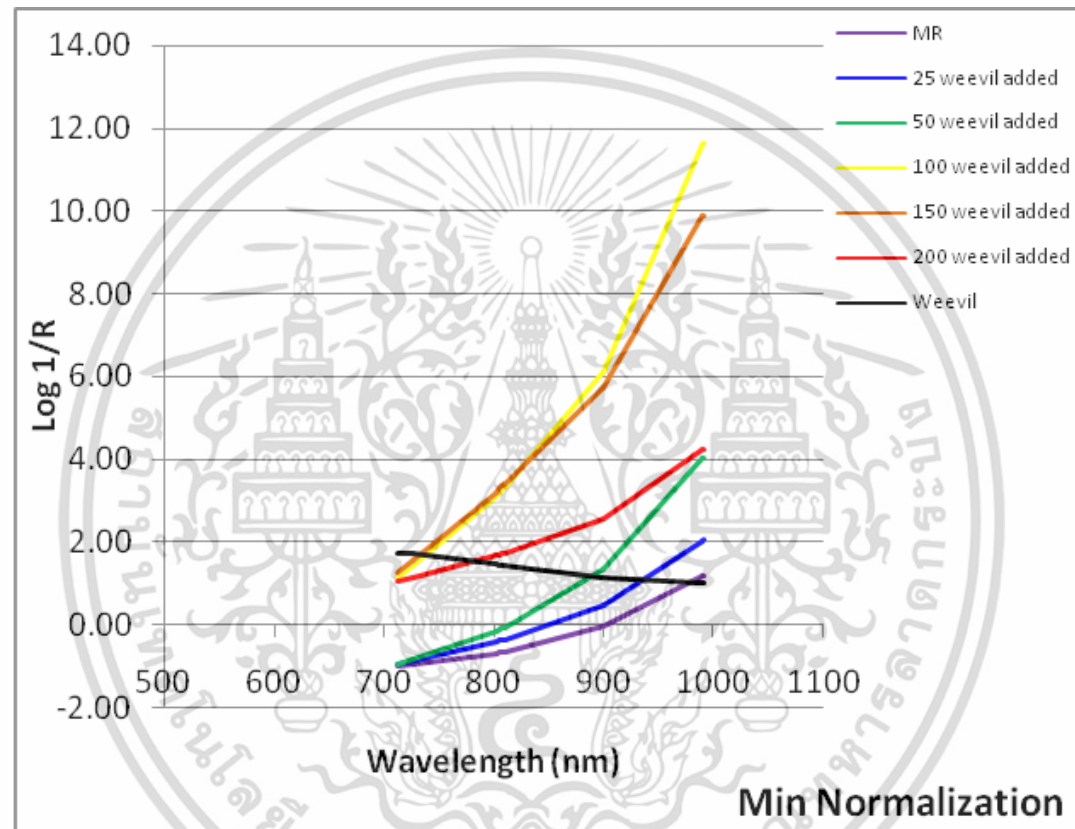


รูปที่ ข4 กราฟจากข้อมูลของ ตารางที่ ข1 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) ที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Max Normalization

ตารางที่ ข5 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) จากเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร

เลือกเฉพาะ Wave length ที่มีความเด่นของ ดัชนีหักเหและค่าสาร ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Min Normalization ที่ 700-900 นาโนเมตร

wave length	Milled rice	25 weevil added	50 weevil added	100 weevil added	150 weevil added	200 weevil added	Weevil
712.5961	-0.986314	-0.951477	-0.958114	1.141034	1.243646	1.042836	1.719330
726.419	-0.944422	-0.869833	-0.850526	1.428219	1.542660	1.134157	1.701652
801.4576	-0.685188	-0.416885	-0.153555	3.114507	3.208372	1.666092	1.465384
805.407	-0.668853	-0.391188	-0.111523	3.207768	3.295481	1.695110	1.450192
807.3817	-0.661206	-0.379223	-0.092023	3.250991	3.335967	1.708516	1.442718
809.3564	-0.653128	-0.366811	-0.071825	3.295662	3.378495	1.722456	1.435038
900.1926	-0.026334	0.477763	1.344365	6.130586	5.724477	2.569176	1.141811
989.0541	1.159435	2.031251	4.013754	11.613668	9.878882	4.214980	1.002243
991.0288	1.165529	2.038680	4.025113	11.635976	9.891616	4.221869	1.002412



รูปที่ ข5 กราฟจากข้อมูลของ ตารางที่ ข1 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) ที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Min Normalization

ตารางที่ ข6 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) จากเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร

เลือกเฉพาะ Wave length ที่มีความเด่นของ ตัวงวงข้าวและข้าวสาร ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Range Normalization ที่ 700-900 นาโนเมตร

wave length	Milled rice	25 weevil added	50 weevil added	100 weevil added	150 weevil added	200 weevil added	Weevil
712.5961	-0.454254	-0.312701	-0.190467	0.107118	0.139797	0.323429	1.899562
726.419	-0.434961	-0.285868	-0.169079	0.134078	0.173409	0.351751	1.880030
801.4576	-0.315568	-0.137008	-0.030526	0.292384	0.360650	0.516727	1.618996
805.407	-0.308045	-0.128563	-0.022170	0.301139	0.370442	0.525727	1.602210
807.3817	-0.304523	-0.124631	-0.018294	0.305197	0.374993	0.529885	1.593953
809.3564	-0.300803	-0.120552	-0.014278	0.309390	0.379774	0.534209	1.585468
900.1926	-0.012128	0.157016	0.267251	0.575527	0.643484	0.796813	1.261503
989.0541	0.533986	0.667565	0.797908	1.090268	1.110477	1.307248	1.107305
991.0288	0.536793	0.670007	0.800166	1.092362	1.111908	1.309385	1.107491



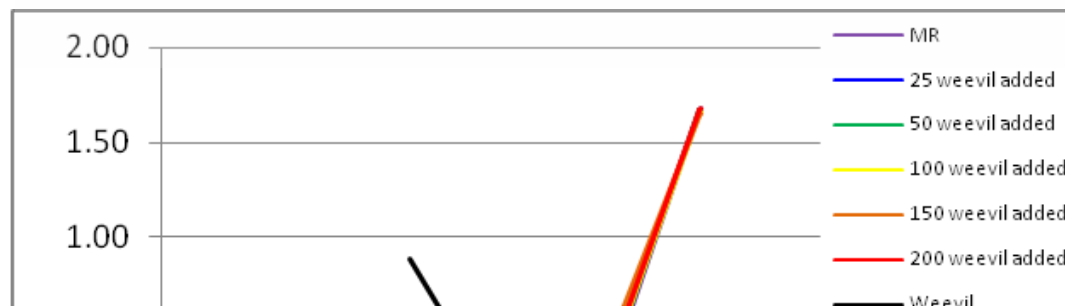


รูปที่ ข6 กราฟจากข้อมูลของ ตารางที่ ข1 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) ที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Range Normalization

ตารางที่ ข7 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) จากเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร

เลือกเฉพาะ Wave length ที่มีความเด่นของ ตัวอย่างข้าวและข้าวสาร ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Standard Normal Variate (SNV) ที่ 700-900 นาโนเมตร

wave length	Milled rice	25 weevil added	50 weevil added	100 weevil added	150 weevil added	200 weevil added	Weevil
712.5961	-1.094214	-1.108659	-1.105640	-1.128941	-1.126307	-1.140444	0.938696
726.419	-1.040270	-1.032910	-1.045698	-1.052637	-1.030375	-1.059494	0.883660
801.4576	-0.706454	-0.612673	-0.657384	-0.604598	-0.495965	-0.587972	0.148127
805.407	-0.685419	-0.588832	-0.633967	-0.579820	-0.468018	-0.562250	0.100830
807.3817	-0.675571	-0.577731	-0.623102	-0.568335	-0.455029	-0.550365	0.077564
809.3564	-0.665170	-0.566215	-0.611849	-0.556466	-0.441384	-0.538009	0.053654
900.1926	0.141955	0.217368	0.177174	0.196760	0.311277	0.212549	-0.859202
989.0541	1.668871	1.658668	1.664409	1.653590	1.644133	1.671438	-1.293695
991.0288	1.676718	1.665561	1.670738	1.659517	1.648219	1.677544	-1.293170





รูปที่ ข7 กราฟจากข้อมูลของ ตารางที่ ข1 ข้อมูลสเปกตรัมดิบ(Raw spectrum) ที่ปรับปรุงสเปกตรัมด้วย Standard Normal Variate (SNV)



ภาคผนวก ค.
การคำนวณหาสัดส่วนของตัววงขาวในตัวอย่างขาวโดยวิธีการแก้สมการ
เชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณนี้จะใช้สมการแบบเมตริกซ์ $\times 2$ โดยที่จะเลือก Wave length ที่เด่นและมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับการที่จะนำไปเปรียบเทียบ โดยเลือก Wave length ที่ 726 ของดิววงงข้าว และ 900 ของข้าวสาร เช่นดังตัวอย่างต่อไปนี้

		ข้าว100%	ดิววงงข้าว100%	ค่าคงที่(25ตัว)		
ค่าคงที่ ที่ดิววงงข้าว 25 ตัว	สมการที่ 1	-0.434960614	1.880030068	-0.285868191	X1(ดิววงงข้าว)	= 1.247031803
	สมการที่ 2	-0.012128094	1.261503186	0.157015658	X2(ข้าว)	= 0.136456077

		ข้าว100%	ดิววงงข้าว100%	ค่าคงที่(50ตัว)		
ค่าคงที่ ที่ดิววงงข้าว 50 ตัว	สมการที่ 1	-0.434960614	1.880030068	-0.169079068	X1(ดิววงงข้าว)	= 1.360961615
	สมการที่ 2	-0.012128094	1.261503186	0.267251066	X2(ข้าว)	= 0.224935568

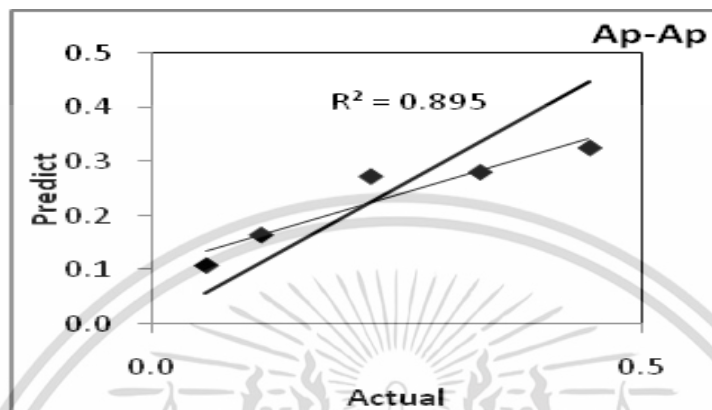
		ข้าว100%	ดิววงงข้าว100%	ค่าคงที่(100ตัว)		
ค่าคงที่ ที่ดิววงงข้าว 100 ตัว	สมการที่ 1	-0.434960614	1.880030068	0.13407838	X1(ดิววงงข้าว)	= 1.7358107
	สมการที่ 2	-0.012128094	1.261503186	0.575527175	X2(ข้าว)	= 0.472911409

		ข้าว100%	ดิววงงข้าว100%	ค่าคงที่(150ตัว)		
ค่าคงที่ ที่ดิววงงข้าว 150 ตัว	สมการที่ 1	-0.434960614	1.880030068	0.173409148	X1(ดิววงงข้าว)	= 1.884401858
	สมการที่ 2	-0.012128094	1.261503186	0.643483762	X2(ข้าว)	= 0.528209498

		ข้าว100%	ดิววงงข้าว100%	ค่าคงที่(200ตัว)		
ค่าคงที่ ที่ดิววงงข้าว 200 ตัว	สมการที่ 1	-0.434960614	1.880030068	0.351751421	X1(ดิววงงข้าว)	= 2.004736537
	สมการที่ 2	-0.012128094	1.261503186	0.796813074	X2(ข้าว)	= 0.650911322

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ได้นำค่าของดั่งวงขวาง(X1)/ค่าของข้าว(X2) ในแต่ละสัดส่วน จะได้ค่าที่ใช้เพื่อสำหรับการเปรียบเทียบ เมื่อนำค่าทั้งหมดมาวาดกราฟ (รูป ค1.) จะทำให้เห็นการเรียงตัวของแต่ละลำดับที่ดี สำหรับชุด Range Normalization



รูปที่ ค1 กราฟจากสมการคำนวณหาสัดส่วนที่ Wave length ที่ 726 ของดั่งวงขวาง และ 900 ของข้าวสาร สำหรับชุด Range Normalization

จากรูปที่ ค1 เป็นการนำค่าที่ได้จากการคำนวณสมการแบบเมตริกซ์ $\times 2$ มาเปรียบเทียบกับ ขนาดของพื้นที่ภาพฉายของดั่งวงขวาง เมื่อเทียบกับเส้นแนวโน้มจะได้ค่า Coefficient of determination (R^2) เท่ากับ 0.895 ซึ่งเป็นการบอกถึงมีความแม่นยำในชุดตัวเลขที่ใช้คำนวณ

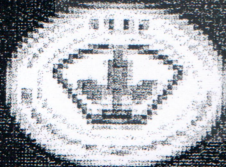


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TSAE 2013

การประชุมวิชาการ
 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
 ระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6
 The 14th TSAE National Conference and
 the 6th TSAE International Conference
 (TSAE 2013)

โรงแรมฟิวเจอร์ปาร์ค แอนด์ เวิลด์
 จังหวัดปทุมธานี
 1-4 เมษายน 2556



กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย



จัดสถานที่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในครั้งเดียว

การวิเคราะห์การเกิดด้วงงวงข้าว (มอด) ในข้าวด้วย NIRS.

*ศรนรินทร์ ทุนโรสง¹และประสันต์ ชุ่มใจหาญ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ถนนฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

ผู้เขียนติดต่อ: ศรนรินทร์ ทุนโรสง E-mail: s.toonthaisong@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

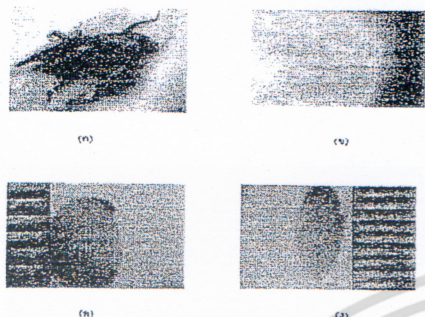
ด้วงงวงข้าว (มอด) เป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของธัญพืชที่ส่งผลกระทบต่อในการเก็บรักษาธัญพืชเพื่อการบริโภคและ
รอจำหน่าย ซึ่งหากมีการระบาดของด้วงงวงข้าวอย่างรุนแรงก็จะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมาก การวิเคราะห์การเกิดมอดจึงเป็น
วิธีหนึ่งที่จะช่วยในการวินิจฉัยปริมาณมอดที่จะเกิดขึ้น เพื่อลดโอกาสการเกิดการสูญเสียที่ตามมาดังกล่าว การวิเคราะห์นี้ประยุกต์การ
ใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) กับเทคนิค Numerical Analysis เพื่อประเมินสัดส่วนของด้วงงวงข้าวที่ปนอยู่ใน
ข้าวตัวอย่าง การทดลองนี้ใช้ตัวอย่างข้าวเปลือก, ข้าวกล้อง และข้าวขาว ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากการทดลองพบว่าการ
ใช้เทคนิค NIRS ด้วยวิธี Full MSC เหมาะสำหรับการทำนายด้วงงวงข้าวที่ปนในข้าวเปลือก และวิธี 1st Derivative เหมาะสำหรับการ
การทำนายด้วงงวงข้าวที่ปนในข้าวกล้อง และข้าวสาร โดยที่มีค่า R² อยู่ที่ 0.818 0.947 และ 0.836 ตามลำดับ สำหรับ
Numerical Analysis ไม่สามารถทำนายด้วงงวงข้าวที่ปนในข้าวเปลือกได้ แต่เมื่อใช้วิธี Full MSC ปรับแต่งสเปกตรัมแล้ว พบว่า
สามารถทำนายปริมาณด้วงงวงข้าวที่ปนในข้าวกล้องและข้าวสารได้ โดยมีค่า R² อยู่ที่ 0.7603 และ 0.9356

คำสำคัญ: ด้วงงวงข้าว (มอด); ข้าว; NIRS; Numerical Methods

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอันดับ
หนึ่งในแถบทวีปเอเชีย ก่อนการจำหน่าย บริโภค หรือนำไป
แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เมล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการเก็บเกี่ยว ชัด
สี และขัดขาวจะถูกเก็บไว้ในโรงเก็บ ซึ่งพบว่ามีแมลงหลาย
ชนิดเข้ามาทำลายเมล็ดข้าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้วงงวงข้าว
(rice weevil : Sitophilus oryzae L.) (แสดงในรูปที่ 1) ซึ่ง
จะทำลายทั้งข้าวเปลือกและข้าวสาร [1] โดยที่ตัวเมียจะใช้
ปากเจาะเข้าไปในเมล็ดข้าวเพื่อทำการวางไข่ หลังจากนั้นตัว
อ่อนก็จะกัดกินและเจริญเติบโตภายในเมล็ดข้าว เมื่อโตเต็มที่
ก็จะเจาะเมล็ดข้าวออกมาเป็นตัวแก่ จึงส่งผลให้เมล็ดข้าวเป็น
รูและข้างในเป็นโพรง ใช้ประโยชน์ไม่ได้ แมลงชนิดนี้มีการ
ระบาดแพร่กระจายไปทั่วพื้นที่ที่มีสภาพอากาศร้อนและ
อบอุ่น การระบาดเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งปีในแหล่งที่มีการเก็บ
ข้าวในโรงเก็บ [2] การป้องกันกำจัดด้วงงวงข้าวโดยทั่วไปแบ่ง

ออกได้เป็น 2 วิธี คือ การป้องกันกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมี เช่น
การรักษาความสะอาดของโรงเก็บ การลดความชื้นในเมล็ด
การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ความร้อน หรือเย็นจัด และการ
เก็บรักษาในสภาพสูญญากาศ ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการที่
ต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างโรงเก็บสูงเพื่อควบคุมปัจจัย
ต่างๆ อีกวิธีการหนึ่งคือการป้องกันกำจัดแบบใช้สารเคมี แต่
การใช้สารเคมีในการกำจัดด้วงงวงข้าวอาจทำให้มีสารตกค้าง
ในผลผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารเคมีปริมาณมากเกินไป
ความจำเป็น ซึ่งส่งผลต่อปริมาณสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์
ข้าวในการส่งออก [3] ดังนั้นแล้วการทราบปริมาณด้วงงวง
ข้าวที่มีอยู่ในผลผลิตว่ามีปริมาณเท่าใดจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ใช้
ในการคำนวณปริมาณสารเคมีได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 1 ตัวอย่างข้าวที่ระยะเวลาการเจริญเติบโตต่างๆ(ก) ตัวเต็มวัย (ข) ไซ้ (ค) ตัวนอน (ง) ตักแต่[2]

เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจในการวิเคราะห์การเกิดดั่งวงข้าว(มอด)ในข้าว คือ การใช้ NIRS ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่มีการทำลายตัวอย่าง โดยการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่น NIR ลงไปบนตัวอย่าง แสงที่มีพลังงานเพียงพอจะถูกดูดกลืนและกระตุ้นให้เกิดการสั่นของโมเลกุลใน Functional Groups ต่าง ๆ 2 ลักษณะ คือ การยืดหด (Stretching) และการเปลี่ยนมุม (Bending) ช่วงความถี่ Overtones และ Combination ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, N-H และ O=H ทั้งหมดเป็น โมเลกุลหลักของสารอินทรีย์ [4] ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ผลที่รวดเร็ว ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ

เทคนิค NIRS เป็นวิธีการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางเคมีที่รวดเร็ว แม่นยำ ไม่ต้องใช้สารเคมี เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ต้องเตรียมตัวอย่างที่ซับซ้อนมาก แต่การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้จำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการทำนาย (Calibration Model) ก่อนการนำไปใช้งาน เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำกับวิธีอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานในปัจจุบัน

การประมาณค่าโดยวิธี Numerical Method สามารถคำนวณอย่างง่ายโดยวิธีทางเมตริกซ์แบบ Linear Algebra เพื่อหาค่าเมตริกซ์ x โดยความสัมพันธ์ของการคำนวณแสดงในสมการที่ 1

$$\begin{bmatrix} A_{Rice,1} & A_{Weevil,1} \\ A_{Rice,2} & A_{Weevil,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{Rice} \\ X_{Weevil} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{Unknown,1} \\ b_{Unknown,2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

โดยที่

- $A_{Rice,1}$ - ค่าสัญญาณของข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของข้าว
- $A_{Rice,2}$ - ค่าสัญญาณของข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของดั่งวงข้าว
- $A_{Weevil,1}$ - ค่าสัญญาณของดั่งวงข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของข้าว
- $A_{Weevil,2}$ - ค่าสัญญาณของดั่งวงข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของดั่งวงข้าว

- X_{Rice} - สัดส่วนของข้าวในตัวอย่าง
- X_{Weevil} - สัดส่วนของดั่งวงข้าวในตัวอย่าง
- $b_{Unknown,1}$ - ค่าสัญญาณที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของข้าว
- $b_{Unknown,2}$ - ค่าสัญญาณที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของดั่งวงข้าว

จากสมการที่ 1 สามารถสรุปโดยการเขียนอย่างง่ายได้ดังแสดงในสมการที่ 2

$$[A]x = [b] \quad (2)$$

โดยที่ A เป็นเมตริกซ์เอกลักษณ์ของข้าว กับมอด x เป็นเมตริกซ์แสดงสัดส่วนของข้าวกับมอดในตัวอย่าง b เป็นเมตริกซ์ตัวอย่างที่ทำการวัดค่าค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกคือค่า R^2 SEC/RMSEE และค่า Bias โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_{exp,i} \times X_{pre,i}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n X_{exp,i}^2\right) \left(\sum_{i=1}^n X_{pre,i}^2\right)}} \quad (3)$$

โดยที่

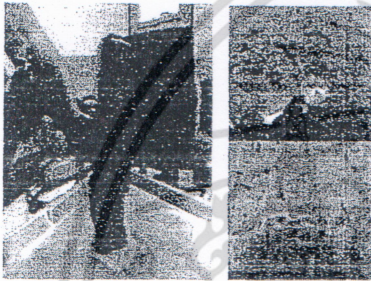
- $X_{exp,i}$ - เป็นค่าที่ได้จากการวัดค่าโดยเครื่อง FQA NIR GUN ตัวอย่างลำดับที่ i
- $X_{pre,i}$ - เป็นค่าที่ได้จากการทำนายด้วยวิธีการต่างๆ ทางคณิตศาสตร์ ตัวอย่างลำดับที่ i
- i - เป็นลำดับตัวอย่าง
- n - เป็นลำดับตัวอย่างสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• - ทำการวัดข้าวสารจำนวน 100 กรัม โดยมีการผสมด้วงวงข้าวจำนวน 0 50 100 150 และ 200 ตัวตามลำดับ

• - ทำการวัดด้วงวงข้าวอย่างเดียว

ทุกตัวอย่างที่ทำการทดลองต้องใช้ฟิล์มพลาสติกห่ออาหารคลุมก่อนทำการสแกน โดยนำฟิล์มพลาสติกมาตัดให้มีขนาดพอเหมาะ แล้ววางบนตัวอย่าง เพื่อป้องกันฝุ่นละอองจากข้าวเข้าเครื่องวัด FQA NIR GUN ดังรูป



รูปที่ 2 การวิธีการติดตั้งฟิล์ม และการวัดค่าโดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN

2.3 วิธีการประเมินผลค่าสัญญาณที่ได้รับจากเครื่อง FQA NIR GUN

นำข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) มาวิเคราะห์โดยโปรแกรม The Unscrambler V9.8 (Camo, Norway) เทียบกับสัดส่วนของน้ำหนักด้วงวงข้าว

ที่ผสมลงไปในตัวอย่างข้าว ซึ่งน้ำหนักด้วงวงข้าวจำนวน 100 ตัวมีน้ำหนัก 0.22กรัม ข้อมูลที่ได้นำมาจัดข้อมูลสเปกตรัมเบื้องต้นเพื่อให้เห็นความแตกต่างของแต่ละค่าได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยการหาค่าเพื่อนำไปพิจารณาเลือกแบบจำลองจาก 7 วิธีการต่อไปนี้ 1) Mean Normalization 2) Maximum Normalization 3) Range Normalization 4) First Derivative (11 points) 5) Second Derivative (11 points) 6) Multiplicative Scattering Correction (MSC) และ 7) Baseline Offset

นอกจากนี้ทำการคัดเลือกค่า Wave length ที่มีลักษณะที่มีความเด่นของข้าวแต่ละชนิด และมีความเด่นของมอด ด้วยวิธีการจัดการเส้นสเปกตรัมเบื้องต้นด้วยวิธีการ

Second Derivative แบบ 11 จุด ทำการคัดเลือกโดยให้รูปแบบเส้นสเปกตรัมที่ได้จากการปรับแต่งดังกล่าวมีค่าที่ติดลบ แล้วดูลักษณะของจุดยอดที่มีค่าต่ำสุดแสดงว่าค่านั้นสามารถเป็นตัวแทนของตัวอย่างได้ดี และต้องกำหนดให้ค่าสเปกตรัมของทั้งข้าวและมอดติดลบทั้งคู่ หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าของสัญญาณสเปกตรัมที่ได้จาก Wave length ที่เลือกมาทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทาง Numerical Method ในแบบเมตริกซ์ 2x2 ที่แสดงในสมการที่ 1 และ 2 แล้วนำค่าที่ได้จากวิธีการปรับแต่งค่าสเปกตรัม ทั้ง 7 วิธีมาใช้ในการคำนวณ โดยไม่นำค่าสเปกตรัมของน้ำมาใช้ในการวิเคราะห์ (สเปกตรัมของน้ำ คือที่ความยาวคลื่น 760 nm)

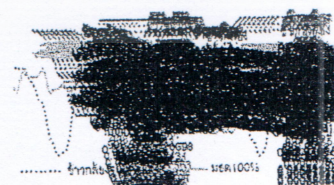
3. ผลการทดลอง

3.1 การวัดค่าสัญญาณโดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN แบบ Raw Spectrum

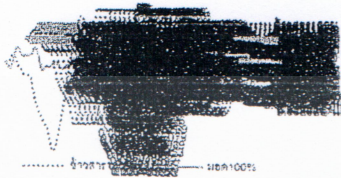
จากการตรวจวัดสเปกตรัมของข้าวเปลือก 100% ข้าวกล้อง 100% และข้าวสาร 100% กับ ด้วงวงข้าว 100% แสดงในรูปที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ จากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าสัญญาณที่วัดด้วงวงข้าว 100 % มีลักษณะที่ค่อนข้างเรียบและสม่ำเสมอกับแกน x ซึ่งแตกต่างอย่างชัดเจนกับเส้นสเปกตรัมของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้ FQA NIR GUN มีแนวโน้มที่จะประเมินหรือคำนวณปริมาณด้วงวงข้าวในตัวอย่างข้าวได้



รูปที่ 3 เส้นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างข้าวเปลือก 100% และมอด 100%



รูปที่ 4 เส้นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างข้าวกล้อง 100% และ
มอด 100%



รูปที่ 5 เส้นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างข้าวสาร 100% และ
มอด 100%

2.3 ผลการประเมินผลค่าสัญญาณที่ได้รับจากเครื่อง FOA NIR GUN

ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FOA NIR GUN (Fantec, Japan) มาวิเคราะห์โดยโปรแกรม The Unscrambler V9.8 (Camo, Norway) โดยใช้แบบจำลอง 7 วิธีคือ 1) Mean Normalization 2) Maximum Normalization 3) Range Normalization 4) First Derivative (11 points) 5) Second Derivative (11 points) 6) Multiplicative Scattering Correction (MSC) และ 7) Baseline Offset แสดงในตารางที่ 1 โดยมีค่า R^2 ค่า SEC และค่า Bias ประกอบผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการวัดปริมาณตัววงวงข้าวจากข้าวเปลือกสามารถใช้วิธีปรับแต่งสเปกตรัมแบบวิธี Maximum Normalization, วิธี Range

ตารางที่ 1 แบบจำลอง PLS ที่ดีที่สุดสำหรับการวัดตัววงวงข้าวในตัวอย่างข้าวแต่ละชนิดด้วย

SAMPLE	PRE TREATMENT	PC	CALIBRATION SET			PREDICTION SET		
			R^2	SEC/RMS EE	Bias	R^2	SEC/RMS EE	Bias
PADDY	MEAN NORMALIZATION	18	0.807	0.142	-5.3E-08	0.807	0.142	-7.4E-08
	MAXIMUM NORMALIZATION	18	0.817	0.139	-2.6E-08	0.817	0.139	-2.6E-08
	RANGE NORMALIZATION	18	0.817	0.140	-1.2E-09	0.818	0.140	3.9E-08
	FULL MSC	18	0.818	0.140	-2.5E-08	0.818	0.138	-3.9E-08
	BASELINE OFFSET	18	0.772	0.156	-7.4E-09	0.771	0.154	-4.4E-09
	LINEAR BASELINE	18	0.790	0.149	1.0E-09	0.790	0.149	-6.0E-09
	1ST DERIVATIVE	11	0.783	0.151	-1.2E-08	0.783	0.151	-4.7E-09
	2ND DERIVATIVE	11	0.760	0.158	-5.1E-09	0.760	0.151	6.9E-09
	BROWN RICE	MEAN NORMALIZATION	18	0.896	0.104	7.0E-08	0.896	0.104
MAXIMUM NORMALIZATION	18	0.910	0.098	-2.4E-08	0.910	0.097	2.5E-08	
RANGE NORMALIZATION	18	0.910	0.098	-1.2E-07	0.910	0.097	-1.3E-07	
FULL MSC	18	0.808	0.142	-2.0E-08	0.710	0.173	-0.032	
BASELINE OFFSET	18	0.880	0.112	-1.1E-08	0.880	0.112	-6.0E-09	
LINEAR BASELINE	18	0.919	0.093	-3.7E-09	0.919	0.093	-1.7E-08	
1ST DERIVATIVE	11	0.947	0.075	-3.0E-09	0.947	0.075	8.5E-09	

[657]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	2ND DERIVATIVE	11	0.943	0.077	-3.9E-08	0.943	0.077	-2.1E-08
MILLED RICE	MEAN NORMALIZATION	18	0.886	0.110	-4.5E-08	0.351	0.250	-0.083
	MAXIMUM NORMALIZATION	18	0.821	0.107	-2.4E-08	0.539	0.222	0.013
	RANGE NORMALIZATION	18	0.855	0.124	-5.1E-09	0.370	0.256	0.036
	FULL MSC	18	0.862	0.121	9.3E-08	0.283	0.219	-0.168
	BASELINE OFFSET	18	0.840	0.130	-9.4E-09	0.157	0.297	-0.029
	LINEAR BASELINE	18	0.834	0.131	-9.9E-09	-0.901	0.253	-0.310
	1ST DERIVATIVE	11	0.836	0.132	-7.1E-09	0.836	0.131	-1.8E-08
	2ND DERIVATIVE	11	0.823	0.137	-6.0E-09	0.823	0.137	-8.7E-09

จากการวิเคราะห์ค่า Wave Length ที่เหมาะสมและเด่นสำหรับตัววงข้าว และข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร พบว่าช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม และผลการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทาง Numerical method พร้อมค่า R² ของการทำนายแสดงดังตารางที่ 2

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Numerical Methods สามารถทำนายปริมาณตัววงข้าวที่ปนอยู่กับข้าวเปลือก โดยการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ 1st Derivative ซึ่งได้ค่า R² เท่ากับ 0.2946 แต่อย่างไรก็ตาม ค่า R² นี้ยังคงต่ำกว่าที่จะนำมาใช้ทำนายได้

ตารางที่ 2 ความแม่นยำในการทำนายโดยใช้วิธี Numerical Methods แสดงในค่า R²

SAMPLE	PRE TREATMENT	R ²
PADDY	Mean normalization	0.1924
	Maximum normalization	0.2256
	Range normalization	0.0942
	Full MSC	0.0077
	Baseline offset	0.0209
	Linear baseline	0.0106
	1st Derivative	0.2946
	2ND DERIVATIVE	0.2533
BROWN RICE	Mean normalization	0.6432
	Maximum normalization	0.6555
	Range normalization	0.6497
	Full MSC	0.7603
	Baseline offset	0.7124
	Linear baseline	0.5371
	1st Derivative	0.7246
	2nd Derivative	0.7266
MILLED RICE	Mean normalization	0.6079
	Maximum normalization	0.6835
	Range normalization	0.7656
	Full MSC	0.9356

SAMPLE	PRE TREATMENT	R ²
	Baseline offset	0.9213
	Linear baseline	0.8492
	1st Derivative	0.8605
	2nd Derivative	0.8599

แต่เมื่อพิจารณาในส่วนที่ตัววงข้าวปนกับข้าวกล้อง พบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Full MSC, Base Line Offset, 1st Derivative และ 2nd Derivative สามารถให้ความแม่นยำในการทำนายโดยที่ค่า R² มีค่าสูงกว่า 0.7

สำหรับตัววงข้าวที่ปนกับข้าวสารพบว่าการใช้วิธีการทำนายแบบ Numerical Method สามารถนำไปใช้ในการทำนายได้ดีที่สุดที่ทุกวิธีการปรับแต่งสเปกตรัม โดยวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่ได้ค่า R² สูงคือวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Full MSC และ แบบ Base Line Offset ซึ่งได้ค่า R² เท่ากับ 0.9356 และ 0.9213 ตามลำดับ

4. สรุปผลการทดลอง

จากกระบวนการทำแบบจำลอง PLS โดยเลือกวิธี Full MSC เหมาะกับการวัดข้าวเปลือกและตัววงข้าวจะได้ค่า R² ที่สูงที่สุดคือ 0.818 และการตรวจวัดข้าวกล้องและตัววงข้าวเหมาะกับวิธี 1st Derivative จะได้ค่า R² ที่สูงที่สุดคือ 0.947 และการตรวจวัดข้าวสารและตัววงข้าวเหมาะกับวิธี 1st Derivative จะได้ค่า R² ที่สูงที่สุดคือ 0.836

สำหรับการใช้วิธีแบบ Numerical Method ไม่เหมาะสมสำหรับการวัดปริมาณตัววงข้าวในข้าวเปลือก แต่สำหรับการตรวจสอบปริมาณตัววงข้าวในข้าวกล้อง และปริมาณตัววงข้าวในข้าวสาร ทำได้โดยใช้วิธีปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Full MSC จะให้ค่า R² สูงสุดที่ 0.7603 และ 0.9356

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการวิเคราะห์แบบ PLS จะให้ค่าความแม่นยำในการทำนายสำหรับ ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง

[658]

และข้าวสาร ดีกว่าการวิเคราะห์แบบ Numerical Methods แต่วิธีนี้จะต้องมีการเตรียมตัวอย่างที่มีความหลากหลายเพื่อสร้างสมการในการทำนาย แต่สำหรับวิธีการวิเคราะห์แบบ Numerical Methods ที่ให้ความแม่นยำในการทำนายได้ต่ำกว่าวิธีการวิเคราะห์แบบ PLS เว้นแต่ในกรณีของข้าวสาร มีความสะดวกและใช้งานได้ง่ายกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างที่หลากหลายค่า กล่าวคือสามารถนำแค่ตัวอย่าง ข้าว 100% และตัวอย่างของด่างวงข้าว 100% มาทำการวัดค่าโดยเครื่อง FQA NIR GUN ก็เพียงพอต่อการทำนาย

- [4] Li, H., LV, X., Wang, J., Li, J., Yang, H. and Qin, Y. (2007). Quantitative determination of soybean meal content in compound feeds: Comparison of near-infrared spectroscopy and real-time PCR. *Anal Bioanal Chem.* 389: 2313-2322

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สำหรับผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร และศูนย์วิจัยกระบวนการแปรรูปธัญพืชและการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้อุปกรณ์ และสถานที่ทำการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชุมพล กิ่งหะ (2533). หลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 249 หน้า.
- [2] บานชื่น เก่งมนตรี (2548). การศึกษาตารางชีวิต (life table) และลักษณะการทำลายของด่างวงข้าว *Sitophilus oryzae* (L.). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชากีฏวิทยาบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. [ISBN 974-284-835-1]
- [3] จิรภัทร ข้าญาติ (2546). กรอ. เลื่อนนครหลวงค้าข้าวนำร่องโครงการ ICM ใช้สารรม ECO2 Fume ป้องกันไอโซนในชั้นบรรยากาศ. *Engineering Today* 1(1): 68-72.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายศรนรินทร์ ทุนไธสง
 วัน เดือน ปีเกิด 23 สิงหาคม 2531
 ที่อยู่ 98/44 ม.7 ต.บางพลีใหญ่ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540
 โทรศัพท์ 083-8495064
 E-mail s.toonthaisong@hotmail.co.th
 ประวัติการศึกษา - ระดับปริญญาตรี ได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2555
 ประสบการณ์และผลงานวิจัย - ในปีพ.ศ. 2556 ส่งผลงานเข้าร่วมการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติครั้งที่ 6 ประจำปี 2556 วันที่ 1-4 เมษายน 2556 ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เรื่อง การวิเคราะห์การเกิดด้วงวงข้าว(มอด)ในข้าวด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้