TPT-12

การวิเคราะห์การเกิดด้วงงวงข้าว (มอด) ในข้าวด้วย NIRS.

*ศรนรินทร์ ทูนไธสง[1]และประสันต์ ชุ่มใจหาญ[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ถนนฉลองกรุง1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

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

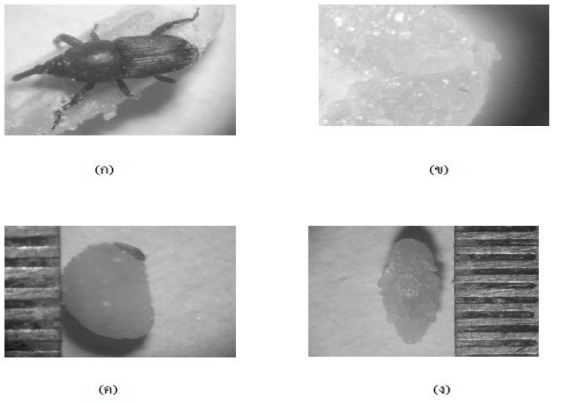
บทคัดย่อ

ด้วงงวงข้าว (มอด) เป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของธัญพืชที่ส่งผลกระทบในการเก็บรักษาธัญพืชเพื่อการบริโภคและรอจำหน่าย ซึ่งหากมีการระบาดของด้วงงวงข้าวอย่างรุนแรงก็จะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมาก การวิเคราะห์การเกิดมอดจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยในการวินิจฉัยปริมาณมอดที่จะเกิดขึ้น เพื่อลดโอกาสการเกิดการสูญเสียที่ตามมาดังกล่าว การวิเคราะห์นี้ประยุกต์การใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) กับเทคนิค Numerical Analysis เพื่อประเมินสัดส่วนของด้วงงวงข้าวที่ปนอยู่ในข้าวตัวอย่าง การทดลองนี้ใช้ตัวอย่างข้าวเปลือก, ข้าวกล้อง และข้าวขาว ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากการทดลองพบว่าการใช้เทคนิค NIRs ด้วยวิธี Full MSC เหมาะสำหรับการทำนายด้วงงวงข้าวที่ปนในข้าวเปลือก และวิธี 1st Derivative เหมาะสำหรับการทำนายด้วงงวงข้าวที่ปนในข้าวกล้อง และข้าวสาร โดยที่มีค่า R^2อยู่ที่ 0.818 0.947 และ 0.836 ตามลำดับ สำหรับ Numerical Analysis ไม่สามารถทำนายด้วงงวงข้าวที่ปนในข้าวเปลือกได้ แต่เมื่อใช้วิธี Full MSC ปรับแต่งสเปกตรัมแล้ว พบว่าสามารถทำนายปริมาณด้วงงวงข้าวที่ปนในข้าวกล้องและข้าวสารได้ โดยมีค่า R^2อยู่ที่ 0.7603 และ 0.9356

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

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอันดับหนึ่งในแถบทวีปเอเชีย ก่อนการจำหน่าย บริโภค หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เมล็ดข้าวที่ผ่านการเก็บเกี่ยว ขัดสี และขัดขาวจะถูกเก็บไว้ในโรงเก็บ ซึ่งพบว่ามีแมลงหลายชนิดเข้ามาทำลายเมล็ดข้าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้วงงวงข้าว (rice weevil : Sitophilus oryzae L.) (แสดงในรูปที่ 1) ซึ่งจะทำลายทั้งข้าวเปลือกและข้าวสาร [1] โดยที่ตัวเมียจะใช้ปากเจาะเข้าไปในเมล็ดข้าวเพื่อทำการวางไข่ หลังจากนั้นตัวอ่อนก็จะกัดกินและเจริญเติบโตภายในเมล็ดข้าว เมื่อโตเต็มที่ก็จะเจาะเมล็ดข้าวออกมาเป็นตัวแก่ จึงส่งผลให้เมล็ดข้าวเป็นรูและข้างในเป็นโพรง ใช้ประโยชน์ไม่ได้ แมลงชนิดนี้มีการระบาดแพร่กระจายไปทั่วพื้นที่ที่มีสภาพอากาศร้อนและอบอุ่น การระบาดเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งปีในแหล่งที่มีการเก็บข้าวในโรงเก็บ [2] การป้องกันกำจัดด้วงงวงข้าวโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การป้องกันกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมี เช่น การรักษาความสะอาดของโรงเก็บ การลดความชื้นในเมล็ด การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ความร้อน หรือเย็นจัด และการเก็บรักษาในสภาพสูญญากาศ ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการที่ต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างโรงเก็บสูงเพื่อควบคุมปัจจัยต่างๆ อีกวิธีการหนึ่งคือการป้องกันกำจัดแบบใช้สารเคมี แต่การใช้สารเคมีในการกำจัดด้วงงวงข้าวอาจทำให้มีสารตกค้างในผลผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารเคมีปริมาณมากเกินความจำเป็น ซึ่งส่งผลต่อปริมาณสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ข้าวในการส่งออก [3] ดังนั้นแล้วการทราบปริมาณด้วงงวงข้าวที่มีอยู่ในผลผลิตว่ามีปริมาณเท่าใดจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ใช้ในการคำนวณปริมาณสารเคมีได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 1 ด้วงงวงข้าวที่ระยะเวลาการเจริญเติบโตต่างๆ(ก) ตัวเต็มวัย (ข) ไข่ (ค) ตัวหนอน (ง) ดักแด้[2]

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

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

การประมาณค่าโดยวิธี Numerical Method สามารถคำนวณอย่างง่ายโดยวิธีทางเมตริกซ์แบบ Linear Algebra เพื่อหาค่าเมตริกซ์ x โดยความสัมพันธ์ของการคำนวณแสดงในสมการที่ 1

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

โดยที่

$A_{Rice,n1}$ - ค่าสัญญาณของข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของข้าว

$A_{Rice,2}$ - ค่าสัญญาณของข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของด้วงงวงข้าว

$A_{Weevil,1}$ - ค่าสัญญาณของด้วงงวงข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของข้าว

$A_{Weevil,2}$ - ค่าสัญญาณของด้วงงวงข้าวที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของด้วงงวงข้าว

X_{Rice} - สัดส่วนของข้าวในตัวอย่าง

X_{Weevil} - สัดส่วนของด้วงงวงข้าวในตัวอย่าง

$b_{Unknow,1}$ - ค่าสัญญาณที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของข้าว

$b_{Unknow,2}$ - ค่าสัญญาณที่ได้จาก Wave Length ที่มีความเด่นของด้วงงวงข้าว

จากสมการที่ 1 สามารถลดรูปโดยการเขียนอย่างง่ายได้ดังแสดงในสมการที่ 2

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

โดยที่ *A* เป็นเมตริกซ์เอกลักษณ์ของข้าว กับมอด

x เป็นเมตริกซ์แสดงสัดส่วนของข้าวกับมอดในตัวอย่าง b

b เป็นเมตริกซ์ตัวอย่างที่ทำการวัดค่า

ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกคือค่า R2 SEC/RMSEE และค่า Bias โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

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

โดยที่

$x_{\exp i}$ - เป็นค่าที่ได้จากการวัดค่าโดยเครื่องFQA NIR GUN ตัวอย่างลำดับที่ *i*

$x_{pre,i}$ - เป็นค่าที่ได้จากการทำนายด้วยวิธีการต่างๆ ทางคณิตศาสตร์ ตัวอย่างลำดับที่ *i*

i - เป็นลำดับตัวอย่าง

n - เป็นลำดับตัวอย่างสูงสุด

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - a - bx_i)}{n-2}} \quad (4)$$

โดยที่

y_i - เป็นค่าที่ได้จากการวัดค่าโดยเครื่องFQA NIR GUN ตัวอย่างลำดับที่ *i*

x_i - เป็นค่าที่ได้จากการทำนายด้วยวิธีการต่างๆทางคณิตศาสตร์ ตัวอย่างลำดับที่ *i*

a - เป็นค่าคงที่ ณ จุดตัดแกน Y

b - เป็นค่าคงที่ regression หรือค่าความชัดของกราฟ

i - เป็นลำดับตัวอย่าง

n - เป็นลำดับตัวอย่างสูงสุด

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)}{n} \quad (5)$$

โดยที่

x_i - เป็นค่าในแกน x ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์

y_i - เป็นค่าในแกน y ที่ได้เป็นค่าจริงของตัวอย่าง

i - เป็นลำดับตัวอย่าง

n - เป็นลำดับตัวอย่างสูงสุด

วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ควรจะมีค่าR^2 สูง ค่า SEC ต่ำ และค่า Bias ต่ำ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแนวทางศึกษาวิธีการประมาณปริมาณด้วงงวงข้าวที่ปนเปื้อนในผลผลิตข้าวเปลือก, ข้าวกล้อง และข้าวสาร ด้วยวิธี Near Infrared Spectroscopy เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับผู้ประกอบการในการกำหนดปริมาณการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดด้วงงวงข้าวต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบไปด้วย ข้าวเปลือก, ข้าวกล้อง, ข้าวขาว, ด้วงงวงข้าว (มอด) และเครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan) ความยาวคลื่น 600-1100 nm

ข้าวที่ใช้เป็นข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 ชนิดดีพิเศษ ที่ได้รับการรับรองจากกรมการค้าภายใน จากนั้นแบ่งข้าวเปลือกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกคงสภาพข้าวเปลือกไว้ ส่วนที่สองนำมาผ่านการกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยางคู่ SATAKE THU แล้วทำความสะอาดข้าวที่ได้รับโดยการคัดแยก แกลบ และ เมล็ดข้าวหักออก โดยใช้ลมเป่า และใช้เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าวตามยาว ตามลำดับ เพื่อคงเหลือแต่ส่วนที่เป็นเมล็ดข้าวกล้องเต็มเมล็ด สำหรับส่วนที่สามทำการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับส่วนที่สอง แต่นำข้าวกล้องที่ได้รับไปขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาว SATAKE TM05 เป็นเวลา 90 วินาที เพื่อทำการขัดเอาชั้นรำออกจากเมล็ดข้าวสารขาว หลังจากนั้นนำข้าวที่ผ่านการขัดขาวมาคัดขนาดตามความยาวด้วยเครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าวเพื่อคัดแยกเมล็ดข้าวส่วนแตกหักออก ให้คงเหลือแต่เมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด

สำหรับด้วงงวงข้าวได้ทำการเตรียมโดยการเพาะมอดโดยปล่อยให้เจริญเติบโตใน ตัวอย่างข้าวสารหอมมะลิ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-40 วันเพื่อให้ด้วงงวงข้าวเกิดการเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย

2.2 วิธีการวัดค่าสัญญาณโดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN

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

- - ทำการวัดข้าวเปลือกจำนวน 100 กรัม โดยมีการผสมด้วงงวงข้าวจำนวน 0 50 100 150 และ 200 ตัว ตามลำดับ
- - ทำการวัดข้าวกล้องจำนวน 100 กรัม โดยมีการผสมด้วงงวงข้าวจำนวน 0 50 100 150 และ 200 ตัว ตามลำดับ

- ทำการวัดข้าวสารจำนวน 100 กรัม โดยมีการผสมด้วงงวงข้าวจำนวน 0 50 100 150 และ 200 ตัว ตามลำดับ
- ทำการวัดด้วงงวงข้าวอย่างเดียว

ทุกตัวอย่างที่ทำการทดลองต้องใช้ฟิล์มพลาสติกห่ออาหารคลุมก่อนทำการสแกน โดยนำฟิล์มพลาสติกมาตัดให้มีขนาดพอเหมาะ แล้ววางบนตัวอย่าง เพื่อป้องกันฝุ่นละอองจากข้าวเข้าเครื่องวัด FQA NIR GUN ดังรูป

รูปที่ 2 การวิธีการติดตั้งฟิลม์ และการวัดค่าโดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN

2.3 วิธีการประเมินผลค่าสัญญาณที่ได้รับจากเครื่อง FQA NIR GUN

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

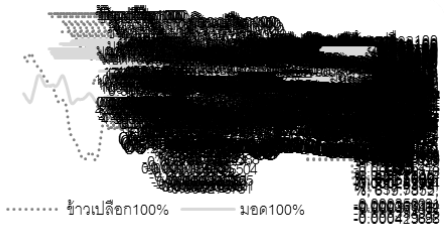
ที่ผสมลงไปในตัวอย่างข้าว ซึ่งน้ำหนักด้วงงวงข้าวจำนวน 100 ตัวมีน้ำหนัก 0.22กรัม ข้อมูลที่ได้นำมาจัดข้อมูลสเปกตรัมเบื้องต้นเพื่อให้เห็นความแตกต่างของแต่ละค่าได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยการหาค่าเพื่อนำไปพิจารณาเลือกแบบจำลองจาก 7 วิธีการต่อไปนี้ 1) Mean Normal-ization 2) Maximum Normalization 3) Range Normalization 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 โดยไม่นำค่าสเปคตรัมของน้ำมาใช้ในการวิเคราะห์ (สเปกตรัมของน้ำ คือที่ความยาวคลื่น 760 nm)

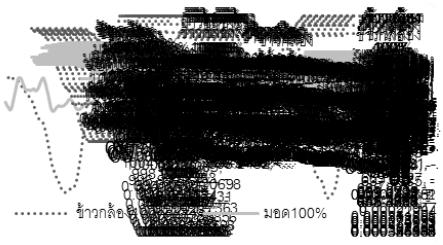
3. ผลการทดลอง

3.1 การวัดค่าสัญญานโดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN แบบ Raw Spectrum

จากการตรวจวัดสเปกตรัมของข้าวเปลือก 100% ข้าวกล้อง 100% และข้าวสาร 100% กับ ด้วงงวงข้าว 100% แสดงในรูปที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ จากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าสัญญาณที่วัดด้วงงวงข้าว 100 % มีลักษณะที่ค่อนข้างเรียบและสม่ำเสมอกับแกน x ซึ่งแตกต่างอย่างชัดเจนกับเส้นสเปกตรัมของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้ FQA NIR GUN มีแนวโน้มที่จะประเมินหรือคำนวณปริมาณด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าวได้



รูปที่ 3 เส้นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างข้าวเปลือก 100% และมอด 100%



รูปที่ 4 เส้นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างข้าวกล้อง 100% และมอด 100%

รูปที่ 5 เส้นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างข้าวสาร 100% และมอด 100%

2.3 ผลการประเมินผลค่าสัญญาณที่ได้รับจากเครื่อง FQA NIR GUN

ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA 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 ประกอบผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการวัดปริมาณด้วงงวงข้าวจากข้าวเปลือกสามารถใช้วิธีปรับแต่งสเปกตรัมแบบวิธี Maximum Normalization, วิธี Range Normalization หรือ วิธี Full MSC โดยให้ค่า R^2 ของชุด Calibration set สูงสุดอยู่ที่ 0.817 0.817 และ 0.818 ตามลำดับ และให้ค่า R^2 ของชุด Prediction set สูงสุดอยู่ที่ 0.817 0.818 และ 0.818 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการวัดปริมาณด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าวกล้อง พบว่า ใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมแบบวิธี 1st Derivative และวิธี 2nd Derivative โดยให้ค่า R2 สูงสุดที่ 0.947 และ 0.943 สำหรับชุด Calibration set ตามลำดับ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.947 และ 0.943 สำหรับชุด Prediction set ตามลำดับ

สำหรับการวัดปริมาณด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าวสาร พบว่า ใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมแบบวิธี 1st Derivative และวิธี 2nd Derivative โดยให้ค่า R^2 สูงสุดที่ 0.836 และ 0.823 สำหรับชุด Calibration set ตามลำดับ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.836 และ 0.823 สำหรับชุด Prediction set ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าการวัดปริมาณมอดที่อยู่ในข้าวสารด้วยโดยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Maximum Normalization จะให้ค่า R^2 สูงที่สุดอยู่ที่ 0.891 ในชุด Calibration set แต่เมื่อนำไปทำนายแล้วพบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีดังกล่าวให้ค่า R^2 ที่ต่ำลงเหลือ 0.539 ดังนั้นจึงไม่ทำการเลือกวิธีนี้ในการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 1 แบบจำลอง PLS ที่ดีที่สุดสำหรับการวัดด้วงงวงข้าวในตัวอย่างข้าวแต่ละชนิดด้วย

SAMPLE	PRE TREATMENT	PC	CALIBRATION SET			PREDICTION SET		
			R^2	SEC/RMSEE	BIAS	R^2	SEC/RMSEE	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	7.2E-08
	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

	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	0.891	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	O.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 ที่เหมาะสมและเด่นสำหรับด้วงงวงข้าว และข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร พบว่าที่ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม และผลการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทาง Numerical method พร้อมค่า R^2 ของการทำนายแสดงได้ดังตารางที่ 2

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Numerical Methods สามารถทำนายปริมาณด้วงงวงข้าวที่ปนอยู่กับข้าวเปลือก โดยการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ 1^{st} Derivative ซึ่งได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.2946 แต่อย่างไรก็ตาม ค่า R^2 นี้ยังคงต่ำเกินกว่าจะนำมาใช้ทำนายได้

ตารางที่ 2 ความแม่นยำในการทำนายโดยใช้วิธี Numerical Methods แสดงในค่า R^2

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
	Baseline offset	0.9213
	Linear baseline	0.8492
	1st Derivative	0.8605
	2nd Derivative	0.8599

แต่เมื่อพิจารณาในส่วนที่ด้วงงวงข้าวปนกับข้าวกล้อง พบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Full MSC, Base Line Offset, 1^{st} Derivative และ 2^{nd} Derivative สามารถให้ค่าความแม่นยำในการทำนายโดยที่ค่า R^2 มีค่าสูงกว่า 0.7

สำหรับด้วงงวงข้าวที่ปนกับข้าวสารพบกว่าการใช้วิธีการทำนายแบบ Numerical Method สามารถนำไปใช้ในการทำนายได้ดีที่สุดที่ทุกวิธีการปรับแต่งสเปกตรัม โดยวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่ได้ค่า R^2 สูงคือวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Full MSC และ แบบ Base Line Offset ซึ่งได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.9356 และ 0.9213 ตามลำดับ

4. สรุปผลการทดลอง

จากกระบวนการทำแบบจำลอง PLS โดยเลือกวิธี Full MSC เหมาะกับการวัดข้าวเปลือกและด้วงงวงข้าวจะได้ค่า R^2 ที่สูงที่สุดคือ 0.818 และการตรวจวัดข้าวกล้องและด้วงงวงข้าวเหมาะกับวิธี 1^{st} Derivative จะได้ค่า R^2 ที่สูงที่สุดคือ 0.947 และการตรวจวัดข้าวสารและด้วงงวงข้าวเหมาะกับวิธี 1^{st} Derivative จะได้ค่า R^2 ที่สูงที่สุดคือ 0.836

สำหรับการใช้วิธีแบบ Numerical Method ไม่เหมาะสมสำหรับการวัดปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวเปลือก แต่สำหรับการตรวจสอบปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวกล้อง และปริมาณด้วงงวงข้าวในข้าวสาร ทำได้โดยใช้วิธีปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Full MSC จะให้ค่า R^2 สูงสุดที่ 0.7603 และ 0.9356

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการวิเคราะห์แบบ PLS จะให้ค่าความแม่นยำในการทำนายสำหรับ ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง

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

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีสำหรับผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร และศูนย์วิจัยกระบวนการการแปรรูปธัญพืชและการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้อุปกรณ์ และสถานที่ทำการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ชุมพล กันทะ (2533). หลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 249 หน้า.

[2] บานชื่น เก่งมนตรี (2548). การศึกษาตารางชีวิต (life table) และลักษณะการทำลายของด้วงงวงข้าว Sitophilus oryzae (L.). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชากีฏวิทยาบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. [ISBN 974-284-835-1]

[3]จิรภัทร ขำญาติ (2546). กรอ. เลือกนครหลวงค้าข้าวนำร่องโครงการ ICM ใช้สารรม ECO2 Fumeป้องกันโอโซนในชั้นบรรยากาศ. 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

.