

# การหาปริมาณความชื้นอย่างแม่นยำสูงในข้าวสาร พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

## High Accuracy Moisture Determination in Milled Rice cv. Khao Dawk Mali 105 by Near Infrared Spectroscopy

ปาริชาติ เทียนจุมพล<sup>1/</sup> รณฤทธิ์ ฤทธิธรณ<sup>2/</sup> สงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์<sup>3/</sup> และ  
สุชาดา เวียรศิลป์<sup>3/</sup>

*Parichat Theanjumpol<sup>1/</sup>, Ronnarit Rittiron<sup>2/</sup>, Sa-nguansak Thanapornpoonpong<sup>3/</sup> and  
Suchada Vearasilp<sup>3/</sup>*

**Abstract:** Moisture content of milled rice cv. Khao Dawk Mali 105 could be determined with high accuracy by near infrared (NIR) spectroscopy in wavelength region from 1400 to 1900 nm. The calibration equation obtained has the values of correlation coefficient (R), standard error of calibration (SEC), standard error of prediction (SEP) and ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP (RPD) equal to 0.93, 0.18%, 0.14 % and 3.41 respectively.

**Keywords:** Moisture, near infrared spectroscopy, milled rice

---

<sup>1/</sup>สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

<sup>2/</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

<sup>3/</sup>ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

<sup>1/</sup> Postharvest Technology Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

<sup>2/</sup> Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

<sup>3/</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

**บทคัดย่อ:** ความชื้นของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สามารถตรวจวัดได้อย่างแม่นยำสูงด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรด-สเปกโทรสโกปี ในช่วงความยาวคลื่น 1400 ถึง 1900 นาโนเมตร สมการทำนายมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.93 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายความชื้นในกลุ่ม calibration set (SEC) เท่ากับ 0.18 % ค่าผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายความชื้นในกลุ่ม validation set (SEP) เท่ากับ 0.14 % และ สัดส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความชื้นใน validation set กับ SEP (RPD) เท่ากับ 3.41 ความชื้นของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สามารถตรวจวัดได้อย่างแม่นยำสูงด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรด-สเปกโทรสโกปี ในช่วงความยาวคลื่น 1400 ถึง 1900 นาโนเมตร สมการทำนายมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.93 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายความชื้นในกลุ่ม calibration set (SEC) เท่ากับ 0.18 % ค่าผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายความชื้นในกลุ่ม validation set (SEP) เท่ากับ 0.14 % และ สัดส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความชื้นใน validation set กับ SEP (RPD) เท่ากับ 3.41

**คำสำคัญ:** ความชื้น เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ข้าวสาร

## คำนำ

น้ำหรือความชื้น (moisture content) เป็นองค์ประกอบหนึ่งของเมล็ดพืช (grains) ที่มีความสำคัญยิ่ง เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา รวมถึงการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวในขั้นตอนต่าง ๆ ด้วย เมล็ดพืชที่มีความชื้นต่ำจะลดการสูญเสียที่เกิดจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อันเป็นผลจากกระบวนการทางชีวเคมี ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบทางเคมีและอื่น ๆ สะดวกต่อการขนย้ายและการเก็บรักษา ทำให้สามารถเก็บรักษานานขึ้น (Hill, 1999) ข้าวสารที่ได้จากกระบวนการกะเทาะเปลือก และขัดขาวข้าวกล้อง ซึ่งผ่านกระบวนการลดความชื้นมาอย่างสมบูรณ์แล้วจะมีความชื้นในระดับต่ำ ปริมาณความชื้นของข้าวสารถูกใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญเพื่อการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อและผู้ขายเกี่ยวข้องในการกำหนดราคาซื้อขาย (อรอนงค์, 2547) จะเห็นว่าความชื้นมีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าว ดังนั้นหากสามารถตรวจวัดความชื้นได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ จะช่วยให้สามารถสร้างระบบการซื้อขายข้าวสารได้อย่างยุติธรรม อีกทั้งยังสามารถตัดสินใจในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวได้อย่างถูกต้องลดการสูญเสียข้าวสารในระบบการผลิต

วิธีตรวจวัดความชื้นที่ใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรกคือ วิธีการวัดโดยตรง (direct method) เป็นการวัดปริมาณน้ำที่ไล่ออกจากเมล็ดพืช วิธีที่สองคือ วิธีโดยอ้อม (indirect method) เป็นการวัดคุณสมบัติอื่นที่สัมพันธ์กับความชื้นของเมล็ด เช่น การนำไฟฟ้า (conductivity) ความจุไฟฟ้า (capacitance) (Hall, 1971) ซึ่งโดยทั่วไปมักมีค่าผิดพลาดมาตรฐาน 0.5-2.0 % (Alberta Farm Machinery Research Centre, 1997; ชูศักดิ์ และคณะ, 2548) อย่างไรก็ตาม การใช้เครื่องวัดความชื้นดังกล่าว มีปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างสูงต่อความแม่นยำของการวัด เช่น ปริมาณตัวอย่างที่ใส่ใน grain cup หรือจำนวนเมล็ดข้าว จะเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อค่าความจุไฟฟ้า และเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความต้านทานไฟฟ้า จึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าความชื้นที่อ่านได้นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีก เช่น ความละเอียดของเมล็ดข้าว สภาวะตัวอย่างทดสอบ และค่าความชื้นอ้างอิงของผู้ผลิตที่แตกต่างกันผู้ใช้ มีผลทำให้การปรับเทียบ (calibration) ค่าทางไฟฟ้ากับความชื้นแตกต่างจากผู้ผลิต ผลจากปัจจัยดังกล่าวสามารถทำให้ค่าความชื้นในข้าวเปลือกที่อ่านได้อาจแตกต่างจากวิธีมาตรฐาน (oven method) ถึง 5 % (อารีย์ และนัทศน์, 2548)

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy) เป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความชื้น ให้หลักการ

ดูดกลืนคลื่นแสงแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ในช่วงความยาวคลื่น 700–2500 นาโนเมตร (Osborne *et al.*, 1993) ของโมเลกุลของสารที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงมาหาความสัมพันธ์กับค่าวิเคราะห์ทางเคมีโดยวิธีการ chemometrics เพื่อให้ได้สมการที่ใช้ในการทำนายปริมาณของสารนั้น เป็นวิธีที่รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัด ไม่ทำลายตัวอย่าง อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์คุณสมบัติในเชิงปริมาณ (quantitative) และเชิงคุณภาพ (qualitative) หลายประการในเวลาเดียวกันและเป็นที่ยอมรับของนานาชาติ ปัจจุบันมีการนำเทคนิค NIR มาใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะด้านเมล็ดพืชและเมล็ดพันธุ์ (grains and seeds) เช่น Williams and Sobering (1993) สามารถใช้เทคนิค NITS (near infrared transmittance spectroscopy) และ NIRS (near infrared reflectance spectroscopy) หาปริมาณโปรตีน น้ำมัน ความชื้นและคุณสมบัติอื่น ๆ ของข้าวสาลีได้ นอกจากนี้ Kays *et al.* (2000) ใช้เทคนิค NIRS ช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร หาปริมาณโปรตีนในเมล็ดธัญพืชได้อย่างแม่นยำ โดยหาสมการด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) พบว่าสมการที่ได้มีค่า standard error of cross validation (SECV) และ correlation of determination ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.09 % และ 0.97 และเมื่อนำไปทำนายหาปริมาณโปรตีน มีค่า standard error of prediction (SEP) และ  $r^2$  เท่ากับ 0.07% และ 0.98 ตามลำดับ รวมถึงสามารถหา ปริมาณ insoluble and soluble dietary fiber ด้วยสมการที่มีค่า SECV เท่ากับ 1.54 % และ  $r^2$  เท่ากับ 0.98 สำหรับ insoluble dietary fiber และ SECV เท่ากับ 1.15 % และ  $r^2$  เท่ากับ 0.82 สำหรับ soluble dietary fiber (Kays and Barton, 2002) นอกจากนี้ยังได้นำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดไปหาปริมาณอะมิโลสในเมล็ดข้าวโพดได้เช่นกัน (Campbell *et al.*, 1997)

จะเห็นได้ว่า NIRS สามารถที่จะทำนายองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณความชื้นของธัญพืชได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เทคนิค NIR หาปริมาณความชื้นโดยสร้างสมการทำนายที่มีความแม่นยำสำหรับ

ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่ได้รับ ความนิยมจากผู้บริโภค

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมตัวอย่าง

ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105; KDML105) จำนวน 120 ตัวอย่าง คัดขนาดด้วยเครื่องคัดเมล็ด จากนั้นนำมาอบโดยใช้ตู้อบความร้อน (oven) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20, 60, 120, 180 และ 360 นาที เพื่อให้ช่วงความชื้นของตัวอย่างกว้างขึ้นกว่าตัวอย่างปกติ

### การวัดสเปกตรัม

บรรจุข้าวสารที่ผ่านการลดความชื้นตามระยะเวลาที่กำหนด ตัวอย่างละ 200 กรัม ในเซลล์บรรจุตัวอย่างสำหรับเมล็ดธัญพืช (coarse sample cell) นำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystems 6500 (ภาพที่ 1) ในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร โดยวัดการสะท้อนกลับของแสง (reflectance) เปรียบเทียบกับแผ่นเซรามิคในชุด transportation module

### การวิเคราะห์ความชื้น

ปริมาณความชื้นของตัวอย่างหาโดยการอบด้วยความร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 ชั่วโมง (ISTA, 2006) และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกตามสมการด้านล่าง (Hill, 1999)

$$MC (\%) = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100$$

MC : Moisture content (% wet basis)

$M_1$  : น้ำหนักของ moisture can และฝา

$M_2$  : น้ำหนักของ moisture can, ฝา และตัวอย่างก่อนอบแห้ง

$M_3$  : น้ำหนักของ moisture can, ฝา และตัวอย่างหลังอบแห้ง



Figure 1 Equipment for NIR spectral acquisition of milled rice (KDML105).

(a) NIR spectrophotometer, "NIRSystems 6500" equipped with the transportation module, (b) coarse sample cell

### การวิเคราะห์ข้อมูล

แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ Savitzky-Golay smoothing (10 nm averaging for left and right side) จากนั้นแปลงรูปด้วยอนุพันธ์อันดับที่สอง (second derivative: 10 nm averaging for left and right side) หรือ multiplicative scatter correction (MSC) จากนั้นสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม the Unscrambler® version 7.6 (CAMO,

Oslo, Norway) กลุ่มตัวอย่างถูกแบ่งเป็นสองกลุ่ม คือ calibration set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น ระหว่างข้อมูลความชื้นที่วัดได้โดยวิธีมาตรฐาน กับข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของข้าวในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร และอีกกลุ่มตัวอย่าง คือ validation set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพหรือความสามารถของสมการถดถอยเชิงเส้น ในการทำนายความชื้นของตัวอย่างอีกกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน ค่าสถิติของตัวอย่างทั้งสองกลุ่มแสดงในตารางที่ 1

Table 1 Characteristics of calibration and validation sample set of milled rice.

| Variable           | Calibration set | Validation set |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Number of samples  | 62              | 58             |
| Moisture content   | 10.04–11.94     | 10.05–11.70    |
| Mean               | 11.14           | 11.11          |
| Standard deviation | 0.52            | 0.48           |
| Unit               | % wet basis     | % wet basis    |

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### สเปกตรัมของข้าว (Spectrum)

จากสเปกตรัมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทั้ง 120 ตัวอย่าง สังเกตเห็นสัญญาณรบกวนแทรก (noise) ในช่วงความยาวคลื่น 2100 - 2500 นาโนเมตร และพบการเลื่อนตัวของสเปกตรัม (base line shift) ในแนวแกน Y และเส้น สเปกตรัมเหมือนมีเส้นตรงที่มีความชันรวมอยู่ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการกระเจิงแสง (scattering) ที่เป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้แสงเปลี่ยนทิศทาง มีผลกระทบต่อการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน ในกรณีนี้มีสาเหตุจากความแตกต่างของการอัดตัวของข้าวสาร และการกระจายขนาดของเมล็ดข้าวในเซลล์ใส่ตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัด สเปกตรัม ของ Williams and Sobering (1993) ในระบบ reflectance โดยพบจุดยอด (peak) ชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 1454 และ 1944 นาโนเมตร (ภาพที่ 2) และเมื่อเฉลี่ยข้อมูลสเปกตรัม ด้วยเทคนิค Savitzky-Golay smoothing เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแทรก จากนั้นแปลงรูปด้วยอนุพันธ์อันดับสองหรือ MSC พบว่า เส้นสเปกตรัมเลื่อนมาชิดกัน สามารถลดอิทธิพลของ scattering และพบ peak หัวกลับที่ความยาวคลื่น 1440 และ 1900 นาโนเมตรสำหรับการแปลงรูปด้วยอนุพันธ์อันดับสอง (ภาพที่ 3) และ peak ที่ความยาวคลื่น 1456 และ 1940 นาโนเมตรสำหรับการแปลงรูปด้วย MSC (ภาพที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Iwamoto *et al.* (1995a) ที่รายงานว่าน้ำในสภาวะปกติจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1150, 1350, 1440, 1790 และ 1930 นาโนเมตร ในขณะที่ Williams and Norris (2001) รายงานว่าพบ peak น้ำชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 1450 และ 1940 นาโนเมตร จะเห็นว่าการดูดกลืนแสงของน้ำอาจเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นต่างกัน อันเป็นผลจากการที่น้ำเกิด weak band ในช่วงคลื่นแสง NIR และอุณหภูมิมีผลกระทบโดยตรงต่อโมเลกุลของน้ำ (Iwamoto *et al.*, 1995b) อีกทั้ง peak อาจเลื่อนไปเล็กน้อยจากการแปลงข้อมูลหรือแปลงรูปด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์

### สมการทำนาย (Calibration equation)

ผลการสร้างสมการถดถอยในการทำนายความชื้นของตัวอย่างในกลุ่ม calibration set และ validation set แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าการใช้การแปลงรูปสเปกตรัมทั้งสองวิธีให้ความแม่นยำของสมการทำนายใกล้เคียงกัน แต่สมการทำนายที่สร้างด้วยข้อมูลสเปกตรัมที่แปลงด้วยอนุพันธ์อันดับสอง จะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; R) สูงสุด เท่ากับ 0.93 ที่ช่วงความยาวคลื่น 1100-1800 และ 1400-1900 นาโนเมตร โดยมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายความชื้น ในกลุ่ม validation set ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามที่ช่วงความยาวคลื่น 1400-1900 นาโนเมตร มีค่า RPD ซึ่งเป็นสัดส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความชื้นใน validation set กับ SEP สูงสุดเท่ากับ 3.41 แสดงว่าสมการทำนายนี้สามารถใช้สำหรับการคัดแยกความชื้นของข้าวสารได้ (Williams and Norris, 2001)

เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยใน regression coefficient plot (ภาพที่ 5) พบว่าความยาวคลื่นที่ 1452 นาโนเมตร มีอิทธิพลต่อสมการถดถอย กล่าวคือมีค่าสัมประสิทธิ์มากที่สุดที่ตำแหน่งนี้ซึ่งคือความยาวคลื่นที่น้ำดูดกลืนแสงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการสร้างสมการทำนายจะทำให้สามารถใช้ข้อมูลสเปกตรัมที่จำเป็นในการทำนายค่าความชื้นได้อย่างแม่นยำ ผลการทำนายความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้สมการทำนายที่สร้างในตัวอย่างกลุ่ม calibration set และ validation set แสดงในภาพที่ 6

## สรุป

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้อย่างแม่นยำมาก ความถูกต้องและความแม่นยำของสมการขึ้นกับวิธีการลดผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อข้อมูลสเปกตรัม และการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม

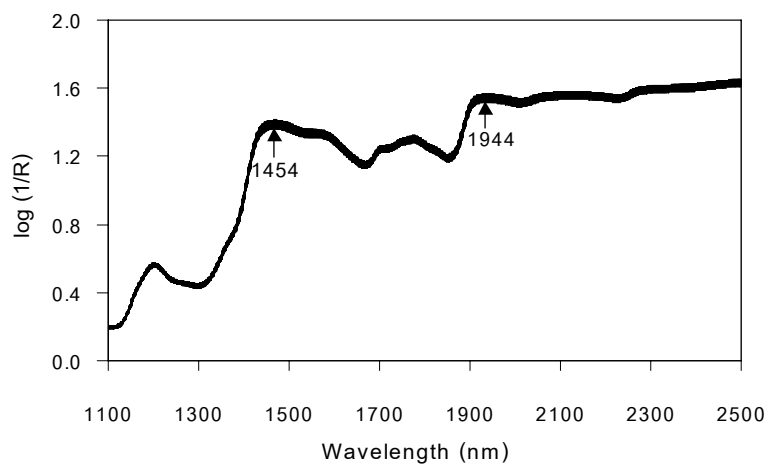


Figure 2 The original spectra of milled rice (KDML105).

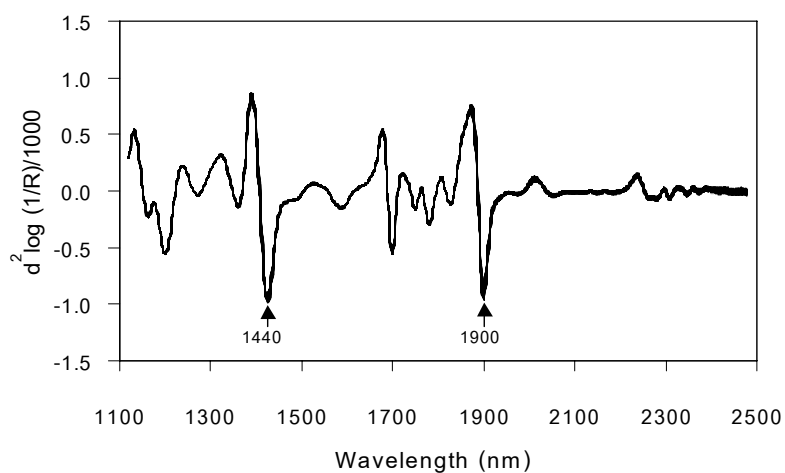


Figure 3 Milled rice (KDML105) spectra treated with Savitzky-Golay smoothing and second derivative.

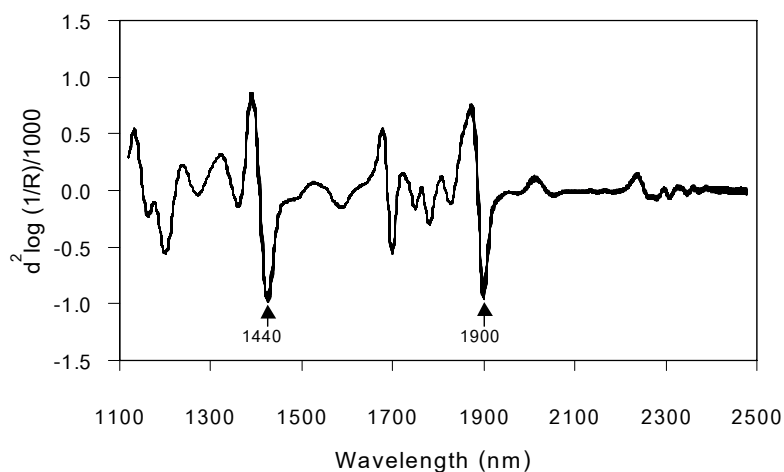


Figure 4 Milled rice (KDML105) spectra treated with Savitzky-Golay smoothing and multiplicative scatter correction (MSC).

Table 2 PLS calibration results for moisture content using spectra treated with second derivative or multiplicative scatter correction (MSC).

| Pre-treatment                           | Wavelength(nm) | F | R    | SEC  | SEP                | Bias  | RPD  |
|-----------------------------------------|----------------|---|------|------|--------------------|-------|------|
| Second derivative                       | 1100-2500      | 1 | 0.90 | 0.23 | 0.16 <sup>ns</sup> | 0.01  | 2.94 |
|                                         | 1100-1800      | 3 | 0.93 | 0.18 | 0.15 <sup>ns</sup> | -0.01 | 3.20 |
|                                         | 1400-1900      | 3 | 0.93 | 0.18 | 0.14 <sup>ns</sup> | 0.00  | 3.41 |
|                                         | 1800-2500      | 1 | 0.90 | 0.23 | 0.16 <sup>ns</sup> | 0.02  | 3.00 |
| Multiplicative scatter correction (MSC) | 1100-2500      | 3 | 0.92 | 0.20 | 0.14 <sup>ns</sup> | -0.02 | 3.32 |
|                                         | 1100-1800      | 3 | 0.92 | 0.20 | 0.15 <sup>ns</sup> | 0.00  | 3.14 |
|                                         | 1400-1900      | 3 | 0.91 | 0.22 | 0.14 <sup>ns</sup> | 0.00  | 3.20 |
|                                         | 1800-2500      | 4 | 0.92 | 0.20 | 0.14 <sup>ns</sup> | -0.02 | 3.35 |

F: number of factors used in the calibration equation.

R: multiple correlation coefficients.

SEC: standard error of calibration.

SEP: standard error of prediction, tested by the method of Fearn (1996).

Superscript ns means no significant difference at 95 % confidence.

Bias: average of difference between actual value and NIR predicted value.

RPD: ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP

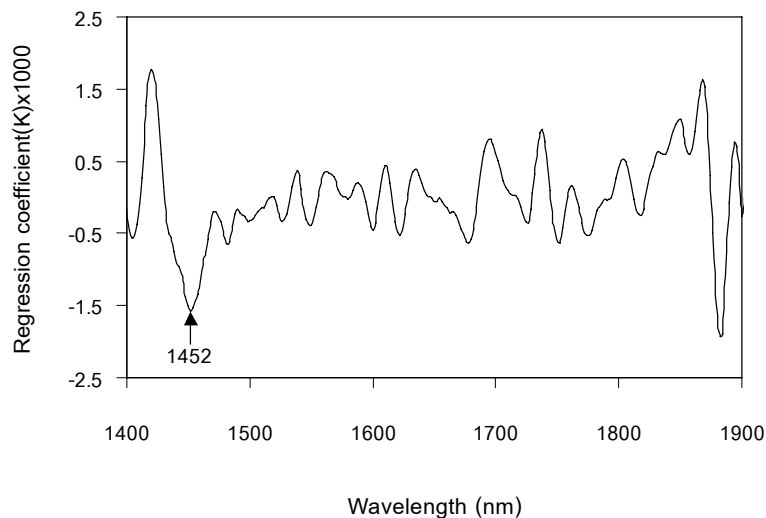


Figure 5 Regression coefficient plots for moisture calibration equation of milled rice (KDML105).

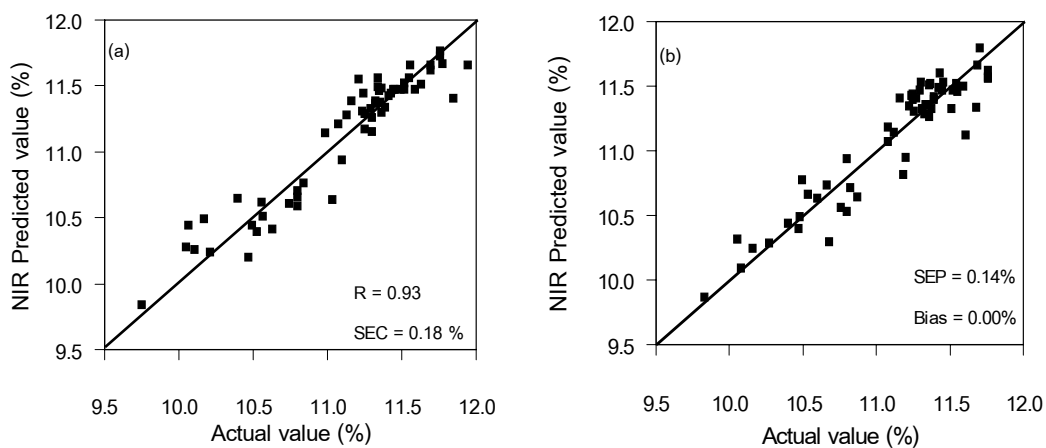


Figure 6 Scatter plots for predicting moisture content in the (a) calibration sample set and (b) validation sample.



## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย และขอขอบคุณ Prof. Dr. Sumio Kawano และขอขอบคุณ ดร. ศิริณนภา ศรีณย์วงศ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการวิเคราะห์ข้อมูล รวมทั้งขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ ที่กรุณาตรวจแก้และให้คำแนะนำในการเขียนงานวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

- ชูศักดิ์ ขวประดิษฐ์, อารีย์ ทิมนกุล, ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร และ ปรีชา อานันท์รัตนกุล. 2548. พัฒนาเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกแบบความต้านทานไฟฟ้า. เอกสารรายงานวิจัย รหัส 09-01-47-0203. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 10 หน้า.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 366 หน้า.
- อารีย์ ทิมนกุล และนิทัศน์ ตั้งพินิจกุล. 2548. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องวัดความชื้น. เอกสารรายงานวิจัย รหัส 09-01-47-0202. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 27 หน้า.
- Alberta Farm Machinery Research Centre. 1997. Evaluation Report No.E0175E[Dole 400(PB-70-11)]. Alberta, Canada. 7 pp.
- Campbell, M.R., T.J. Brumm and D.V. Glover. 1997. Whole grain amylose analysis in maize using near-infrared transmittance spectroscopy. Cereal Chem. 74(3): 300-303.
- Fearn, T. 1996. Comparing standard deviations. NIR News 7: 5-6.

- Hall, C.W. 1971. Drying Farm Crops. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. 336 pp.
- Hill, M.J. (ed.). 1999. The Drying and Storage of Grain and Herbage Seeds. Foundation for Arable Research.Canterbury Agricultural and Science Center, Lincoln, New Zealand. 210 pp.
- ISTA. 2006. International Rules for Seed Testing. Edition 2006. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Iwamoto, M., S. Kawano and Y. Ozaki. 1995a. An overview of research and development of near infrared spectroscopy in Japan. J. Near Infrared Spectroscopy 3: 179-189.
- Iwamoto, M., S. Kawano and H. Abe. 1995b. Analysis of hydrogen bonding related to water in foods. NIR News 6(3): 10-12.
- Kays, S. E. and F.E. Barton, II. 2002. Near-infrared analysis of soluble and insoluble dietary fiber fractions of cereal food products. J. Agric. Food Chem. 50: 3024-3029.
- Kays, S. E., F.E. Barton, II and W. R. Windham. 2000. Predicting protein content by near infrared reflectance spectroscopy in diverse cereal food products. J. Near Infrared Spectroscopy 8: 35-43.
- Osborne, B.G., T. Fearn, and P.T. Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis. 2nd ed. Longman Scientific & Technology, Harlow. 227 pp.
- Williams, P.C. and D.C. Sobering. 1993. Comparison commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. J. Near Infrared Spectroscopy 1: 25-32.

Williams, P.C. and K. Norris. (eds.). 2001. Near-infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota. 296 pp.

---