

การแบ่งกลุ่มและหาปริมาณความชื้น และไขมันในรำข้าวแบบรวดเร็วโดยใช้แสงเนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม

*ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง¹ และ จันทร์เชิดฉาย สังเกตกิจ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น
150 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

²สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์
145 ถนนสุรินทร์-ปราสาท ตำบลนอกเมือง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000

ติดต่อผู้เขียน: ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง E-mail: panuwatphd1@yahoo.com

บทคัดย่อ

น้ำมันรำข้าวเป็นที่นิยมบริโภคและแปรรูป คุณภาพรำข้าวจะมีผลต่อคุณภาพน้ำมันรำข้าว การตรวจสอบคุณภาพปกติจะใช้สารเคมีและใช้เวลานาน ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการแบ่งกลุ่มและหาปริมาณความชื้น และไขมันในรำข้าวแบบรวดเร็วโดยใช้แสงเนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม โดยตัวอย่างรำข้าวจาก 3 แหล่ง เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 3, 6, 11, 14, 18, 24, 32, 38, 44, 53, 62 และ 68 วัน ได้รวม 143 ตัวอย่าง และนำไปตรวจวัดสเปกตรัมแบบงานหมุนโดยคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มในช่วงจำนวนคลื่นแสง $4000-10000\text{ cm}^{-1}$ ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของรำข้าวด้วยวิธีมาตรฐาน ผลการแบ่งกลุ่มแหล่งรำข้าวโดยการวิเคราะห์พริ้นซิเปิลคอมโปเนนท์ (PCA) คือ 96% สำหรับการทำนายปริมาณความชื้นและไขมัน สเปกตรัมเฉลี่ยทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มคาไลเบรชันและวาลิเดชันและใช้การวิเคราะห์การถดถอยพาร์เชียลลีสต์สแควร์ (PLSR) ผลการวิจัย พบว่า สเปกตรัมเริ่มต้นช่วงจำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร $4000-9000\text{ cm}^{-1}$ เหมาะสมที่สุด โดยผลการทำนายปริมาณความชื้นและไขมันได้ค่า R^2 คือ 0.91 และ 0.98 โดยค่า SEP มีค่า 0.78 และ 0.74 % ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดในการแบ่งกลุ่ม และหาปริมาณความชื้น และไขมัน ในรำข้าวได้ และมีความแม่นยำสูง

คำหลัก: รำข้าว, ความชื้น, ไขมัน, คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม

1. บทนำ

รำข้าว (rice bran) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวซึ่งเป็นส่วนของจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ด คิดเป็นประมาณ 10.5 % ของข้าวเปลือกทั้งเมล็ด ในปีการผลิตข้าว 2556/57 ประเทศไทยมีผลผลิตข้าวเปลือกประมาณ 31.5 ล้านตัน เป็นรำข้าวประมาณ 3.2 ล้านตัน [1] รำละเอียดมีไขมันประมาณ 17 - 23 % (น้ำหนักแห้ง) และมีปริมาณโปรตีนประมาณ 13-17 % (น้ำหนักแห้ง) [2] จากองค์ประกอบดังกล่าวทำให้รำข้าวมักจะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเป็นน้ำมันรำข้าว หรือนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ และในบางครั้งก็มีการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากกากรำข้าวที่เหลือจากการสกัดน้ำมันได้อีกด้วย ขณะที่รำข้าวเป็นแหล่งของน้ำมันที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอี และออโรซานอล ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่โดดเด่นซึ่งแตกต่างจากน้ำมันพืชอื่นๆ สารสำคัญเหล่านี้ พบว่า

สามารถช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือดและลดอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจได้ [3] อย่างไรก็ตามคุณภาพของน้ำมันรำข้าวขึ้นอยู่กับคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของรำข้าว และปัจจัยอื่นนอกจากนี้คือ เอนไซม์ไลเปสและไลพอกซิจีเนส ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการหืนในการใช้รำข้าวสำหรับบริโภคและใช้เป็นอาหารสัตว์เนื่องจากการเกิดไฮโดรไลซิสและออกซิเดชันของไขมันในรำข้าว

อย่างไรก็ตามการตรวจสอบคุณภาพรำข้าวก่อนการแปรรูป จะทำในห้องปฏิบัติการได้แก่ การหาความชื้น และปริมาณไขมันรวม ถ้วนแล้วแต่ต้องใช้เวลา ใช้สารเคมีและเครื่องมืออุปกรณ์ ราคาแพง ต้นทุนสูง วิธีการยุ่งยาก ซับซ้อน ใช้สารเคมีเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม ใช้ผู้ปฏิบัติการที่มีความชำนาญพิเศษ และทำลายตัวอย่าง อีกทั้งกว่าจะทราบผลก็อาจจะทำให้เกิดความ

เสียหาย แก่น้ำมันรำข้าว และผลิตภัณฑ์จากรำ และกระบวนการผลิตไปแล้ว อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาวิจัยนำเทคโนโลยีหรือเทคนิคตรวจสอบคุณภาพแบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่างมาใช้มากขึ้น ได้แก่ การใช้คลื่นแสง เป็นต้น เทคนิคการใช้คลื่นแสงช่วงเนียร์อินฟราเรด (Near Infrared Spectroscopy, NIRs) เป็นวิธีการหนึ่งที่มีการยอมรับในการวัดค่าหรือตรวจสอบคุณภาพและคุณลักษณะที่แตกต่างของชีวมวลมานานกว่า 20 ปีมาแล้ว คลื่นแสงช่วงเนียร์อินฟราเรดมีความยาวคลื่นแสงช่วง 750-2500 nm การดูดกลืนแสงเกิดจากการสั่นของพันธะ C-H O-H และ N-H ข้อมูลเหล่านี้จะแสดงออกมาในรูปแบบสเปกตรัมและจะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของส่วนประกอบทางชีวภาพของวัสดุชีวภาพนั้นๆ [4] เทคนิค NIRs ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพอาหารและเครื่องดื่ม [5,6] ใช้ และมีการรับรองให้ใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์ ธัญพืชและเมล็ดธัญพืชตามมาตรฐาน ISO 12099 [7] การใช้เทคนิค NIRs มีการศึกษาวิจัยและการพัฒนาให้สามารถนำไปใช้ตรวจวัดค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าว รายงานวิจัยการใช้เทคนิค เนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Fourier transform near infrared spectroscopy, FT-NIRs) ในการตรวจหาปริมาณความชื้นและโปรตีนในข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เมล็ดเดียว วิเคราะห์สถิติแบบพาร์เชียลลีสทิสต์สแควร์ (PLS) พบว่ามีความแม่นยำ R^2 (Coefficient of Determination) มีค่า 0.78 [8] สำหรับการวิจัยด้านคุณภาพ น้ำมันและไขมันบริโภคน้ำมัน มีการใช้เทคนิค NIRs ในการหาไอโอดีนในน้ำมันบริโภค และวิเคราะห์สถิติแบบ PLS พบว่ามีความแม่นยำสูง R^2 มีค่า 0.98 และ ค่า SEC (Standard error of cross validation) มีค่า 0.2-1.4 [9] และ ค่า เปอร์ออกไซด์ในน้ำมันบริโภค R^2 มีค่า 0.98 และ ค่า SEP (Standard error of prediction) มีค่า 1.0 [10] นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเนื่องการใช้เทคนิค สเปกโตรสโคปีในช่วงคลื่นแสงต่างๆ ได้แก่ Raman, MIR และ NIR และการวิเคราะห์ทางสถิติแบบเคโมเมตริก (Chemo-metrics) ในการตรวจสอบคุณภาพโดยรวมของไขมันและน้ำมันบริโภค [11] การใช้เทคนิค Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (DRIFTS) สามารถใช้ตรวจวัดปริมาณไขมันที่ผิวของเมล็ดข้าว ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณรำข้าว และวิเคราะห์สถิติแบบ PLS พบว่าที่จำนวนช่วงคลื่น 1100-1300 cm^{-1} มีความแม่นยำสูง R^2 มีค่า 0.94-0.98 [12] จะเห็นได้ว่ามีการใช้คลื่นแสงช่วงต่างๆ โดยเฉพาะช่วงคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดในการตรวจสอบคุณภาพข้าว น้ำมัน และไขมันบริโภคน้ำมัน

ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยการใช้เทคนิค FT-NIRs เป็นเทคนิคที่ตัวอย่างจะถูกสแกนโดยคลื่นแสงช่วงเนียร์อินฟราเรดในทุกช่วงความยาวคลื่นที่สนใจในช่วงเวลาทั้งหมด ซึ่งต่างจากเทคนิคเดิมที่เป็นแบบ Dispersive ซึ่งจะสแกนเฉพาะช่วงคลื่นแสงในระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น [13, 14] เทคนิค FT-NIRs จะมีข้อดีกล่าวคือ สามารถสแกนตัวอย่างได้รวดเร็ว มีค่าอัตราส่วนสัญญาณคลื่นต่อสัญญาณคลื่นแทรก (S/N) สูง มีความแม่นยำและความเสถียรของคลื่นแสงสูงมาก และง่ายในการส่งถ่ายข้อมูลคำนวณค่าลิเบรชัน [14] แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องจะมีขนาดใหญ่และราคาแพงมาก [15] อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบคุณภาพของรำข้าว โดยเฉพาะการคัดแยกแหล่งผลิต หาปริมาณความชื้น และไขมันในรำข้าวก่อนการแปรรูปเป็นน้ำมันรำข้าว โดยการใช้เทคนิค FT-NIRs ซึ่งมีความแม่นยำรวดเร็วแต่ยังไม่มีการศึกษาวิจัยเลย ดังนั้น การศึกษาวิจัยการคัดแยกและหาปริมาณความชื้น และไขมันในรำข้าวแบบรวดเร็ว ไม่ทำลายโดยเทคนิค FT-NIRs ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์ในการค้าและการแปรรูปรำข้าวและการตลาดข้าวในภาพรวมต่อไปในอนาคต

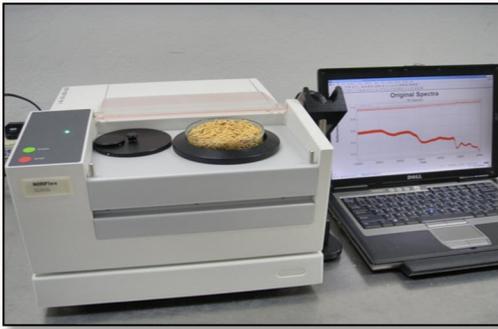
2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1. การเตรียมตัวอย่าง

โดยตัวอย่างรำข้าวจาก 3 แหล่ง แหล่ง A (บริษัทน้ำมันรำข้าวสุรินทร์ จำกัด) 5 ตัวอย่าง แหล่ง B โรงสีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ 5 ตัวอย่าง และแหล่ง C รำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมัน 1 ตัวอย่าง รวม 11 ตัวอย่างๆ ละประมาณ 5kg เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง สุ่มเก็บตัวอย่างรำข้าวตัวอย่างละประมาณ 100g ใส่พลาสติกปิดสนิท ที่เวลาเก็บรักษา 0, 3, 6, 11, 14, 18, 24, 32, 38, 44, 53, 62 และ 68 วัน นำตัวอย่างที่สุ่มเก็บแต่ละครั้งเก็บรักษาในห้องที่มีอุณหภูมิ 25°C และเป็นอุณหภูมิเดียวกับเครื่องตรวจวัดคลื่นแสงอินฟราเรดย่านใกล้แบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (FT-NIR spectrometer) ไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง ก่อนตรวจวัดและนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีหลังการตรวจวัด ได้ตัวอย่างรำข้าวรวม 143 ตัวอย่าง

2.2. การตรวจวัดสเปกตรัม

เครื่อง FT-NIR spectrometer รุ่น NIR Flex N500 ผลิตโดย บริษัท Buchi Labortechnik, AG, Flawil ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ พร้อมชุดวัดด้วยเทคนิคจานแก้วหมุน (Rotating plate) ดัง รูปที่ 1



รูปที่ 1 FT-NIR spectrometer

เครื่อง FT-NIR spectrometer ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัด NIR สเปกตรัม โดยตรวจวัดในช่วงคลื่นแสง(Wave number region) ต่อเซนติเมตร ตั้งแต่ 4000-10000 cm^{-1} แบบการสะท้อนคลื่นแสงด้วยความละเอียดทุก 16 cm^{-1} ของช่วงคลื่นแสงจะบันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดจำนวน 32 ครั้ง โดยตรวจวัดตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

2.4. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC โดยอบในตู้อบลมร้อน จนน้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์ฐานเปียก (%wb) บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

วิเคราะห์หาปริมาณไขมัน โดยวิธี Soxhlet system โดยการสกัดไขมันด้วยสารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ แล้วระเหยสารละลายอีเทอร์ออก ส่วนที่เหลือเรียกว่า Crude Fat หรือ Ether extract นำไขมันที่แยกได้ไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณไขมันเป็นเปอร์เซ็นต์ฐานเปียก บันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

เส้นสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกเฉลี่ยจากการตรวจวัด 5 ซ้ำ เหลือเส้นสเปกตรัม 143 เส้นหรือตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ เคโมเมตริก โปรแกรม Unscrambler version 10.1 (Camo, Oslo, Norway)

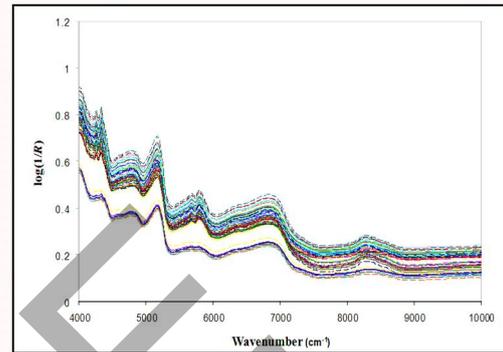
การวิเคราะห์แยกความแตกต่างหรือแยกกลุ่มตัวอย่าง ใช้การวิเคราะห์ Principal component analysis (PCA)

การวิเคราะห์การหาปริมาณความชื้นและไขมัน โดยเรียงลำดับสเปกตรัมตามปริมาณความชื้น หรือไขมันน้อยไปหามาก แบ่งสเปกตรัมตัวอย่างถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มคาลิเบรชัน (Calibration set) 72 ตัวอย่างและวาลิเดชัน (Validation set) 71 ตัวอย่าง โดยวิธีเลือกเลขคู่ เลขคี่และใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบพาร์เชียลลีสทส์สแควร์ (Partial least squares regression, PLSR)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการตรวจวัดสเปกตรัมของตัวอย่าง

สเปกตรัมเริ่มต้น (ไม่ผ่านการปรับแต่ง) ของตัวอย่างโดยวิธีการสะท้อนของแสงที่จำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร ตั้งแต่ 4000-10000 cm^{-1} ทั้งด้วยเทคนิคจานแก้วหมุน โดยสเปกตรัมเริ่มต้นของตัวอย่างในคุณสมบัติการดูดกลืนแสง (Absorbance) แสดงในรูปที่ 2



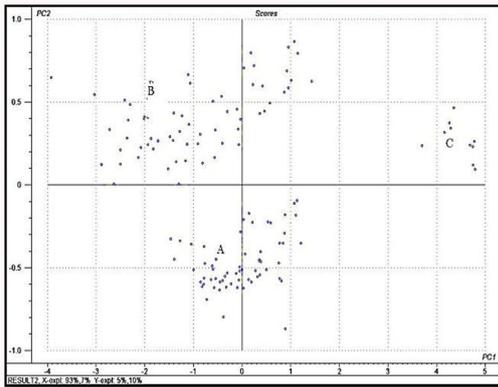
รูปที่ 2 สเปกตรัมเริ่มต้นของตัวอย่างในคุณสมบัติการดูดกลืนแสง (Absorbance)

จากผลการวิจัยจากสเปกตรัมเริ่มต้นของตัวอย่างทั้งหมด พบว่ามีการเลื่อนของเส้นสเปกตรัม (Base line) เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณไขมันของตัวอย่างรำข้าวปกติและรำข้าวผ่านการสกัดไขมัน และแสดงถึงช่วงการดูดกลืนแสงที่สำคัญคือจะครอบคลุมช่วงการดูดกลืนแสงของน้ำ (Water) คือ 5252 cm^{-1} และ 6896 cm^{-1} เป็นช่วงดูดกลืนแสงโอเวอร์โทนอันดับสองของพันธะ O-H [5] [6] และช่วงการดูดกลืนแสงของกรดไขมันอิสระ ไขมันนม และน้ำมัน (Free fatty acid, fat and oil) คือ 4487-4761 cm^{-1} , 5618-5882 cm^{-1} และ 8547-8850 cm^{-1} [16]

3.2 ผลการวิเคราะห์แยกความแตกต่างหรือแยกกลุ่ม

ตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ Principal component analysis (PCA) จากสเปกตรัมเริ่มต้นของตัวอย่างทั้งหมดแสดงผลดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ PCA จากสเปกตรัมเริ่มต้นของตัวอย่างทั้งหมด

จากผลการวิเคราะห์ PCA จากสเปกตรัมเริ่มต้นของตัวอย่างทั้งหมดพบว่าตัวอย่างรำข้าวจาก 3 แหล่งมีความแตกต่างกันและแบ่งแยกกลุ่มได้อย่างชัดเจนที่ความแปรปรวนทั้งหมด (Total variance) คือ 96% อาจเป็นเพราะรำข้าวจากต่างพันธุ์ หรือกระบวนการสีและเก็บรักษาที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างรำข้าว แหล่ง A (บริษัทน้ำมันรำข้าวสุรินทร์ จำกัด) เป็นรำที่ได้จากข้าวหลายพันธุ์ ในขณะที่รำข้าวจากแหล่ง B โรงเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จะได้จากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เท่านั้น ส่วนรำข้าวจากแหล่ง C เป็นรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการคัดแยกรำข้าวจากแหล่งต่างๆ ด้วยเทคนิคแสงเนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (FT NIRs) มีความแม่นยำสูงและทำได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ทำลายตัวอย่าง

3.3 ผลการทำนายปริมาณความชื้นและไขมัน

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าปริมาณความชื้นและไขมันในรำข้าวตัวอย่างทั้งหมดอยู่ในช่วง 7.24-16.01 และ 0.23-18.46%(wb)

จากสเปกตรัมเริ่มต้นของตัวอย่างทั้งหมด พบว่าเส้นสเปกตรัม แสดงความแตกต่างของปริมาณไขมันของตัวอย่างรำข้าวปกติและรำข้าวผ่านการสกัดไขมัน และแสดงถึงช่วงการดูดกลืนแสงที่สำคัญคือจะครอบคลุมช่วงการดูดกลืนแสงของน้ำ กรดไขมันอิสระ ไขมัน และน้ำมัน และเมื่อวิเคราะห์สถิติด้วยเคโมเมตริก ผลของการคำนวณ PLS regression สร้างสมการ calibration และ validation สำหรับหาปริมาณความชื้นและไขมัน โดยพิจารณาจากค่า R² SEC (Standard error of calibration) SEP (Standard error of prediction) และ ค่า Bias พบว่า R² มีค่ามาก และจะต้องมีค่า SEC SEP และค่า Bias น้อยที่สุดเมื่อคำนวณที่ช่วงจำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตรตั้งแต่ 4000-9000cm⁻¹ เมื่อ

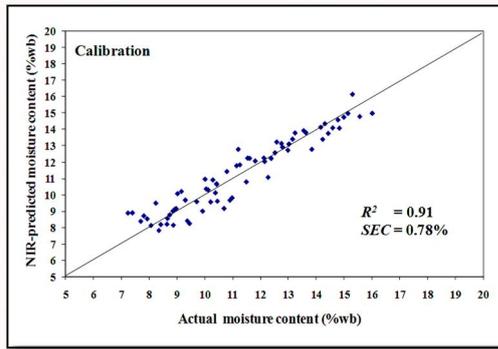
เทียบกับ ในช่วงจำนวนคลื่นแสงช่วงอื่นๆ ซึ่งเป็นช่วงจำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตรช่วงนี้จะครอบคลุมช่วงการดูดกลืนแสงของน้ำ และไขมันดังกล่าวแล้วข้างต้น ดังนั้นสเปกตรัมเริ่มต้นช่วงจำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร 4000-9000 cm⁻¹ เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายปริมาณความชื้นและไขมันในรำข้าว โดยไม่ทำลายด้วยคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม และแสดงผลคำนวณในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการทำนายปริมาณความชื้นและไขมันรำข้าว ช่วงจำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร 4000-9000 cm⁻¹

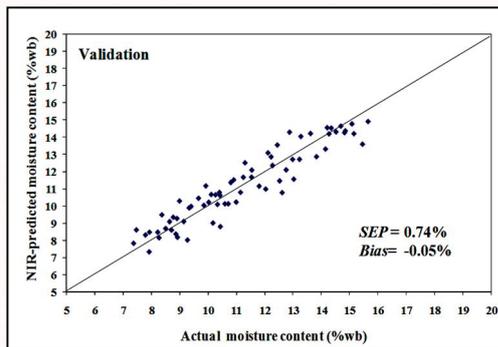
Results	Factors (F)	Constituents	
		Moisture content	Fat content
Calibration	R ²	0.91	0.98
	SEC (%)	0.72	0.69
	SEP (%)	0.78	0.74
Validation	Bias (%)	-0.04	0.17

หมายเหตุ เมื่อ F: Number of factors used in the calibration equation. R²: Coefficient of Determination. SEC: Standard error of calibration. SEP: Bias-corrected standard error of prediction. Bias: The average of difference between actual value and NIR-value

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าจากการทำนายปริมาณความชื้นในรำข้าวโดยใช้สมการ Calibration ที่ดีที่สุด จากสเปกตรัมเริ่มต้นช่วงจำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร 4000-9000 cm⁻¹ แสดงในรูปที่ 4 (a) และการทวนสอบหรือการ Validation จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าจากการทำนายแสดงในรูปที่ 4 (b) ในทำนองเดียวกันกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าจากการทำนายปริมาณไขมันในรำข้าวและการทวนสอบจะได้กราฟความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 5 (a) และ (b) และเมื่อเปรียบเทียบค่าจริงและค่าทำนายปริมาณความชื้นและไขมันในรำข้าวโดยใช้ T-test พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างค่าจริงและค่าจากการทำนาย ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มในการทำนายค่าปริมาณความชื้นและไขมันในรำข้าวได้อย่างดี ถูกต้องเพียงพอรวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่าง ใช้ได้ในการตรวจสอบจริง อย่างไรก็ตามสมการทำนายจากการวิจัยนี้อาจจะไม่ครอบคลุมปริมาณไขมันในรำข้าวช่วงประมาณ 1.5-12 % (wb)

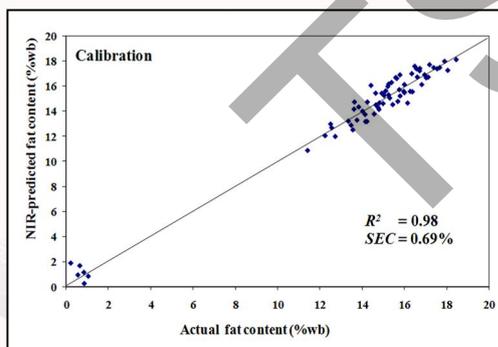


(a)

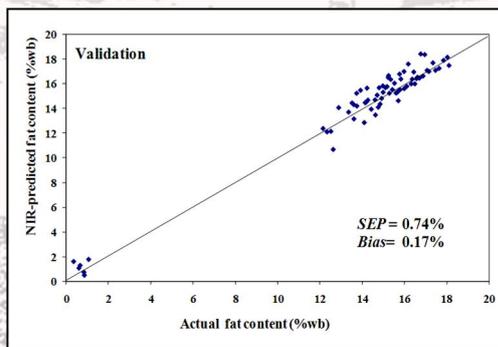


(b)

รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายปริมาณความชื้นในรำข้าวจากสมการcalibration (a) และการสอบทวน หรือ validation (b)



(a)



(b)

รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายปริมาณไขมันในรำข้าวจากสมการcalibration (a) และการสอบทวน หรือ validation (b)

4. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนากระบวนการตรวจสอบที่มีความแม่นยำถูกต้องค่อนข้างสูงโดยไม่ทำลายตัวอย่างด้วยคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มโดยเทคนิคงานแก้วหมุนสำหรับการคัดแยกกลุ่ม หรือแหล่งผลิต ใช้สถิติเคมเมตริก PCA และหาปริมาณความชื้นและไขมันในรำข้าว จะกำหนดจำนวนคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดต่อเซนติเมตรช่วง 4000 – 9000 cm^{-1} โดยใช้สเปกตราเริ่มต้นโดยไม่ต้องมีการปรับแต่ง ใช้สถิติเคมเมตริก PLS regression ผลของการคำนวณสร้างสมการ calibration และ validation สามารถใช้ในการทำนายที่มีความเหมาะสม แม่นยำ และสามารถพัฒนาผลงานวิจัยนี้ในการแบ่งกลุ่มหรือหาปริมาณความชื้นและไขมันในรำข้าวได้โดยไม่ต้องทำลาย ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านการค้า การพัฒนาและควบคุมคุณภาพรำข้าวต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ให้ทุนและสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณหน่วยวิจัยและตรวจสอบสินค้าแบบไม่ทำลายตัวอย่าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่นที่สนับสนุนเครื่องมือและโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2557). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ วารสารเศรษฐกิจการเกษตร ปีที่ 60 ฉบับที่ 697
- [2] Marshall, W.E. and Wadsworth, J.L. (1994). *Rice science and technology*. Marcel Dekker, Inc. p.p. 1-1
- [3] Rigo, L.A., Pohlmann, A.R., Guterres, S.S. and Beck, R.C.R. (2014). Rice Bran Oil: Benefits to Health and Applications in Pharmaceutical Formulations. *In Wheat and Rice in Disease Prevention and Health*, Elsevier Inc. P.P. 311-322
- [4] Marten, G., Shenk, J. and Barton, III.F. (1985). Near infrared reflectance spectroscopy (NIRs): Analysis of Forage quality. USDA. Agriculture Research Service. Handbook No. 643.
- [5] Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P.H. (1993). *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food*

- and Beverage Analysis. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK
- [6] Williams, P. (2007). *Near Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*, Ed by Ozaki, Y., Fred McClure, W. and Christy, A.A. Wiley Inter-science, A John Wiley & Sons, Inc., USA. p. 165
- [7] ISO (2010). Animal feeding stuffs cereals and milled cereal products – Guidelines for the application of near infrared spectrometry. ISO 12099 1sted.
- [8] Supprung, P., Saranwong, S. and Kawano, S. (2009). Performance of Fourier Transform NIR Spectrophotometer for Determining Moisture and Protein Contents of Single Kernel Thai “KDML105” Brown Rice. paper presented in *The 14th International Conference of Near Infrared Spectroscopy, 7-16 Nov 2009, Bangkok, Thailand*.
- [9] Cox, R., Lebrasseur, J., Michiels, E., Buijs, H., Li, H., and van de Voort, F. R. (2000). Determination of iodine value with a Fourier transform-near infrared based global calibration using disposable vials: An international collaborative study. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77, 1229–1234.
- [10] Allendorf, M., Subramanian, A., and Rodriguez-Saona, L. (2012). Application of a handheld portable mid-infrared sensor for monitoring oil oxidative stability. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89, 79–88.
- [11] Nunes C. A. (2014). Vibrational spectroscopy and chemometrics to assess authenticity, adulteration and intrinsic quality parameters of edible oils and fats. *Food Research International* 60: 255–261
- [12] Gangidi, R., Proctor, A, and Meullenet, J. F. (2002). Milled Rice Surface Lipid Measurement by Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (DRIFTS) *J. Am. Oil Chem. Soc.* 79 (1):7–12
- [13] Griffiths, P.R. and de Haseth, J.A. (1986). *Fourier Transform Infrared Spectrometry*. John Wiley and Sons, Canada.
- [14] Manley, M.L., Van, Z. and Osborne, B.G. 2002. *J. Near Infrared Spectrosc.* 10, 71-76
- [15] Tarkosova, J. and Copikova, J. (2000). *J. Near Infrared Spectrosc.* 8, 251-257
- [16] Slobodan, S. and Ozaki, Y. (2000). Band Assignment of Near-Infrared Spectra of Milk by Use of Partial Least-Squares Regression. *Applied Spectroscopy*. 54, 1327-1338.