



การคัดแยกความแก่ของผงด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Classification of Ginger Powder Maturity Using Near Infrared Spectroscopy

จิรายุทธ หงษ์เวียงจันทร์¹, อนุปันต์ เทอดวงศ์วรกุล^{1*}, Satoru Tsuchikawa², Tetsuya Inagaki², สิรินาถ น้อยพิทักษ์¹

Jeerayut Hongwiangjan¹, Anupun Terdwongworakul^{1*}, Satoru Tsuchikawa², Tetsuya Inagaki², Sirinad Noypitak¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

²Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan

*Corresponding author: Tel: +66-8-6775-1723, Fax: +66-34-351-896, E-mail: fengant@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการคัดแยกผงตามความแก่สำหรับใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขิงผงโดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIRS) จากการวัดการดูดกลืนแสงขิงผงที่มีความแก่สามระดับในรูปแบบสะท้อนแสงในช่วงเลขคลื่น 4,000 – 10,000 cm^{-1} แล้วนำมาสร้างโมเดลจำแนกกลุ่ม พบว่า โมเดลที่เหมาะสมได้จากการดูดกลืนแสงที่ปรับด้วย Standard Normal Variate ร่วมกับ Second Derivative ในการศึกษาลดจำนวนพจน์ในโมเดลพบว่า การเลือกเฉพาะความยาวคลื่นที่การดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับความแก่ให้โมเดลที่มีความแม่นยำในการคัดแยกขิง (98.55%) สูงขึ้นกว่าโมเดลที่ใช้ความยาวคลื่นตลอดช่วง (97.10%) เทคนิค NIRS แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้คัดแยกขิงผงตามความแก่ได้

คำสำคัญ: ขิง, การคัดแยก, สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Abstract

This research studied classification of powdered ginger into maturity classes for making product of powder ginger using near infrared spectroscopy (NIRS). In development of classifying model using reflectance spectra in a range of 4,000–10,000 cm^{-1} obtained from powdered ginger at three levels of maturity, the results showed that the optimal model was based on the absorbance pretreated with standard normal variate in combination with second derivative. The investigation of term reduction in the model showed that the model developed from the wavelengths associated with the absorbance, which changed with ginger maturity, provided better accuracy in classification of the powdered ginger (98.55%) than the model based on the whole range of wavelengths (97.10%). NIRS proved to have potential for the application of classification of powdered ginger with respect to maturity.

Keywords: Ginger, Classification, Near infrared spectroscopy

1 บทนำ

ขิง (*Zingiber officinale* Roscoe) เป็นพืชที่รู้จักและมีการใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง ราก (root) หรือเหง้า (rhizome) ของขิงถูกใช้เป็นเครื่องเทศและเครื่องปรุงอาหารอย่างกว้างขวางและยาวนานมากกว่า 2,000 ปี (Bartley and Jacobs, 2000) นักวิทยาศาสตร์หลายท่านรับรองการใช้ขิงเป็นยาสมุนไพรเพื่อเป็น

สาร anti-inflammatory (Kumar et al., 2013) ขิงเป็นพืชที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วย gingerol ต่างๆ (4-, 6-, 8-, และ 10-gingerol) และ shogaols องค์ประกอบของสารเหล่านี้มีผลทางเภสัชภัณฑ์และทางสรีระวิทยา (Bone, 1997; Kikuzaki, 2000) การพัฒนาระดับความแก่ของขิงทำให้ปริมาณของสารองค์ประกอบภายใน เช่น gingerol, shagaol, starch, essential oil, oleoresin, protein และ fibre

เปลี่ยนแปลงไปด้วย (Ratnambal et al., 1987; Vernin and Parkanyi, 2005)

การใช้ประโยชน์ของขิงในปัจจุบันอยู่ใน 2 รูปแบบหลัก คือ ขิงสดและขิงแห้ง โดยขิงสดจะใช้เพื่อการบริโภคสดและการดอง ซึ่งควรเป็นขิงอ่อน เพราะความเผ็ดและปริมาณเส้นใยภายในของขิงอ่อนยังมีปริมาณไม่มาก ขิงอ่อนควรถูกเก็บเกี่ยวที่ช่วงอายุ 5-7 เดือนหลังจากการปลูก ขิงแก่ (Mature ginger) จะถูกเก็บเกี่ยวที่อายุมากกว่า 7 เดือนหลังจากการปลูก เนื่องด้วยขิงแก่จะมีความฉุนและเส้นใยในปริมาณที่สูง ขิงแก่จึงเหมาะต่อการทำแห้ง และผ่านกระบวนการการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป (สิรินาฏ, 2557; อนงค์, 2551) ขิงแห้งสามารถบดเป็นผงและใช้โดยตรงเป็นเครื่องปรุงรส บรรจุใส่แคปซูล เป็นยาสมุนไพรและสามารถนำไปสกัด เพื่อเอา essential oil และ oleoresin ก่อนนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขิงต่างๆ ต่อไป

การคัดแยกขิงของบริษัทรับซื้อในเชิงอุตสาหกรรมเพื่อการแปรรูป ปัจจุบันใช้วิธีการตรวจโดยสุ่มขิงจากเกษตรกรที่นำมาส่ง และนำขิงดังกล่าวมาตัดหรือหักดูปริมาณเส้นใยของขิงเพื่อประเมินอายุของขิง การสุ่มตรวจขิงจะทำให้ตำแหน่งหัว กลางและท้ายของรถบรรทุก เกณฑ์การประเมินเพื่อการคัดแยกอายุขิงพิจารณาจากปริมาณเส้นใยภายในของขิงหลังจากการตัดหรือหักแง่งขิงออก ขิงที่มีปริมาณเส้นใยน้อยจะถูกพิจารณาเป็นขิงอ่อนและนำไปสู่กระบวนการดองหรือการรับประทานสด ส่วนขิงที่มีปริมาณเส้นใยมากจะถูกคัดแยกเป็นขิงแก่และจะถูกนำไปแปรรูปเป็นขิงแห้งและทำเป็นผงต่อไป การคัดแยกอายุขิงของบริษัทรับซื้อมีโอกาสที่ขิงอ่อน ขิงกลางและขิงแก่จะปะปนผสมกัน โดยแง่งขิงที่แก่ที่สุดของเหง้าที่อายุกลางจะมีลักษณะภายนอกใกล้เคียงกับแง่งขิงที่อายุอ่อนสุดของเหง้าที่แก่ ซึ่งทำให้การคัดแยกเป็นไปได้ยากทำให้เกิดการปะปนของขิงในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ขิงผง และจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขิงมีความไม่สม่ำเสมอหรือไม่ได้มาตรฐานในที่สุด

Near Infrared spectroscopy (NIRS) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการใช้ตรวจสอบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีกับตัวอย่างที่อยู่ในรูปของตัวอย่างผง (Borina et al., 2006; Guoquan et al., 2006; Xiaoying et al., 2012) และ NIRS ยังเคยถูกใช้ในการตรวจสอบเชิงปริมาณของสาร อาทิ cellulose, starch, protein, and fibre (Baera et al., 2007; Kays et al., 1996; Katayama et al., 1996) ซึ่งสารดังกล่าวเป็นองค์ประกอบภายในของขิงที่เปลี่ยนแปลงตามการพัฒนาตามระดับความแก่

การเลือกใช้ขิงที่อายุเหมาะสมในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดี แต่ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการพัฒนาวิธีการทางด้านการตรวจสอบและคัดแยกความแก่ของขิงที่อยู่ในรูปขิงผง (ขิงอบแห้งบด) เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพและเป็นการสร้างมาตรฐานของผลิตภัณฑ์จากขิงที่ใช้ขิงผงในกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้จึงศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS ร่วมกับวิธีการการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) เพื่อใช้สร้างสมการแคลิเบรชันในการคัดแยกความแก่ของขิงที่อยู่ในรูปของขิงผงออกเป็นระดับต่างๆ คือ ขิงอ่อน (immature) ขิงกลาง (early-mature) และขิงแก่ (mature)

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ขิงพันธุ์ใหญ่จำนวน 180 แ่งถูกเก็บเกี่ยวมาจากแปลงขิงของเกษตรกรที่อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย โดยแบ่งการเก็บเกี่ยวออกเป็น 3 ช่วงอายุ (นับวันหลังจากการปลูก) คือ ขิงอ่อน (อายุ 5 เดือน) ขิงกลาง (อายุ 7 เดือน) และขิงแก่ (อายุ 10 เดือน) จำนวนช่วงอายุละ 60 แ่ง ถูกนำมาล้างทำความสะอาดและเก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 12 hr และนำมาปอกเปลือกออกบางส่วน และหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นระยะเวลา 72 hr น้ำหนักขิงก่อนอบและหลังอบถูกบันทึกเพื่อนำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Moisture content wet basis, ASAE 1993) จากนั้นนำขิงอบมาบดเป็นผงด้วยเครื่องบด (POLYMIX PX-MFC 90D, Switzerland) ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm เป็นเวลา 60 s กรองด้วยตะแกรง (sieve) เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 mm และกรองอีกครั้งด้วย Mini-sieve micro sieve set (F37845-1000, USA) ด้วยตะแกรงขนาด 120 mesh นำตัวอย่างขิงที่ได้ใส่ในถุงซิปล็อคและเก็บรักษาไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator)

ขิงผง 0.5 g ถูกเทลงในทรงกระบอกแก้ว (Glass cylinder) โดยเขย่าเบาๆ เพื่อให้ผิวด้านบนเรียบสม่ำเสมอ นำมาวัดการดูดกลืนแสงในโหมด diffuse reflectance ที่ช่วงเลขคลื่น 4,000-10,000 cm^{-1} โดยใช้เครื่อง FT-NIR spectrometer (Bruker, MATRIX-F, Germany) ด้วยหัวโพรบแบบ Bundle fiber optics (Inagaki et al., 2010) (Figure 1) และทำ reference background ด้วย diffuse reflectance standard spectra การดูดกลืนแสงที่ได้ถูกจัดเก็บที่ความละเอียด 8 cm^{-1} โดยการเฉลี่ยจาก 32 สเปกตร้า OPUS software ถูกใช้ในการบันทึกสเปกตร้าในช่วง NIR การวัดซ้ำกระทำโดยนำผงขิงที่ผ่านการวัดสเปกตร้ามาแล้วพร้อมกับขิงผง

ที่บรรจุอยู่ในถุงซิปล็อคและคนผสมจึงผงดังกล่าวให้เข้ากันและเท
จึงผงลงในกระบอกแก้วเพื่อการวัดอีกครั้ง สเปกตรัมเฉลี่ยที่ได้จาก
การเฉลี่ย จากการวัดซ้ำ 3 ครั้งของตัวอย่างเดียวกันถูกนำไปใช้
เป็นข้อมูลของตัวอย่างนั้นๆ

2.2 การวิเคราะห์สร้างโมเดลจำแนกกลุ่ม

ตัวอย่างซึ่งในแต่ละอายุถูกแบ่งออกเป็น subcalibration set
จำนวน 40 ตัวอย่าง และ subprediction set จำนวน 20 ตัวอย่าง
ตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีความแปรปรวนและการกระจายตัวของค่า
เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เหมือนกัน การกระจายตัวของค่าเปอร์เซ็นต์
ความชื้นของตัวอย่างกลุ่ม subcalibration set ครบคลุมกลุ่ม
subprediction set ตัวอย่างกลุ่ม subcalibration set ของแต่ละ
กลุ่มอายุถูกรวมกันเป็น calibration set เพื่อสร้างโมเดลการจำแนก
(Classification model) ตัวอย่างกลุ่ม subprediction set ได้ถูก
รวมกันเป็น prediction set เพื่อทดสอบความถูกต้องของโมเดลการ
จำแนก

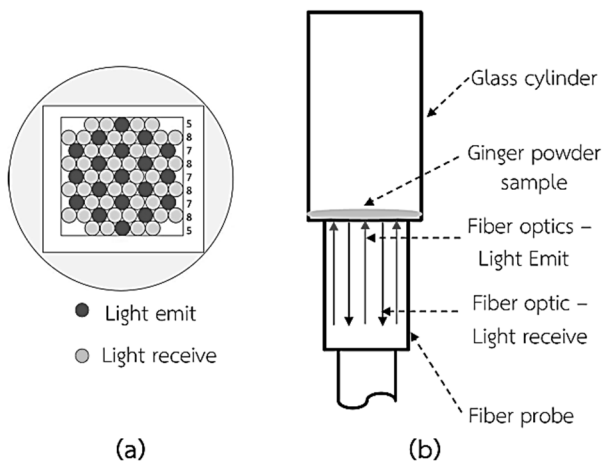


Figure 1 Bundle of fiber optics (a) and ginger powder in cylinder glass placed on fiber optics (b) for spectra acquisition.

โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ The Unscrambler v.9.8
(Camo, Oslo, Norway) ถูกใช้ในการวิเคราะห์สร้างโมเดลการ
จำแนกกลุ่มด้วยวิธีการ Partial least squares discriminant
analysis (PLS-DA) โมเดลถูกสร้างโดยการใช้ตัวแปรอิสระ
(independent variable) เป็นค่าการดูดกลืนแสงตลอดช่วง
ความยาวคลื่นและบางช่วงของความยาวคลื่นที่ไว้วัด ตัวแปรกลุ่ม
(Class variables) ถูกสร้างขึ้นโดยการให้ค่าตัวเลขกับอายุการแก่
ของแต่ละตัวอย่าง โดยระบุค่าของแต่ละตัวอย่างในตัวอย่างกลุ่ม
อายุแก่เป็น 1 สำหรับคัดแยกเป็นกลุ่มอายุแก่และระบุค่าเป็น 0
สำหรับตัวอย่างในกลุ่มอายุอ่อน (Ballabio and Todeschini,

2009) จำนวนของตัวแปรแฝง (latent variable) หาจากเทคนิค
full cross validation

เพื่อเป็นการลดผลกระทบทางด้านการกระเจิงแสง กระบวนการ
spectral preprocessing ต่างๆ เช่น the standard normal
variate (SNV), multiplication scatter correction (MSC) และ
second derivative (2-D) ด้วยวิธีการของ Savitzky Golay ได้ถูก
ดำเนินการต่อ original spectra ทั้งแบบลำพังและรวมกัน

3 ผลและวิจารณ์

3.1 อิทธิพลของระดับความแก่ต่อลักษณะและการดูดกลืนของ สเปกตรัม

Figure 2 (a) แสดงสเปกตรัมเริ่มต้นเฉลี่ยของตัวอย่างในการ
ดูดกลืนแสงในแต่ละระดับความแก่ รูปร่างของสเปกตรัมของ
ตัวอย่างซึ่งทั้งหมด 180 ตัวอย่างมีลักษณะที่คล้ายกัน ลักษณะ
ของโค้งบนสเปกตรัมเกิดมาจากการดูดกลืนแสง NIR ที่ช่วงเลข
คลื่นต่างกัน ด้วยประเภทของพันธะไฮโดรเจนและลักษณะของ
การสั่นที่ต่างกัน การดูดกลืนของสเปกตรัมที่โดดเด่นของตัวอย่าง
จะอยู่ในช่วงประมาณ $6,757\text{ cm}^{-1}$ ($1,480\text{ nm}$) สัมพันธ์กับการ
สั่นของฟังก์ชัน O-H ด้วยโหมดแบบโอเวอร์โทนลำดับที่หนึ่งใน
น้ำตาลกลูโคส (glucose) การดูดกลืนแสงที่ $6,330\text{ cm}^{-1}$ ($1,580\text{ nm}$)
สัมพันธ์กับการสั่นแบบโอเวอร์โทนลำดับที่หนึ่งของฟังก์ชัน
O-H ในแป้ง (starch) ที่มีโหมดการสั่นแบบสเตรตซ์ซิ่ง และการ
ดูดกลืนแสงที่ $5,168\text{ cm}^{-1}$ ($1,935\text{ nm}$) สัมพันธ์กับการสั่นของ
กลุ่มฟังก์ชัน O-H ในน้ำด้วยรูปแบบคอมบิเนชัน (combination)
ของ stretching และ deformation (Xiaoying et al., 2012)

ค่าการดูดกลืนตลอดช่วงของความยาวคลื่นที่ทำการวัดเลื่อน
สลับตำแหน่งอยู่บน กลางและล่างโดยไม่ได้เรียงจากค่าการ
ดูดกลืนแสงของตัวอย่างซึ่งผงจากอายุอ่อนไปแก่หรือแก่ไปอ่อน
ในทิศทางเรียงตามลำดับ แต่ค่าการดูดกลืนในช่วง $5,627\text{ cm}^{-1}$
($1,777\text{ nm}$) มีการเรียงตัวในลักษณะจากอายุอ่อนไปแก่ (ล่าง -
บน) ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนที่สัมพันธ์กับเซลลูโลส (cellulose)
(Xiaoying et al., 2012)

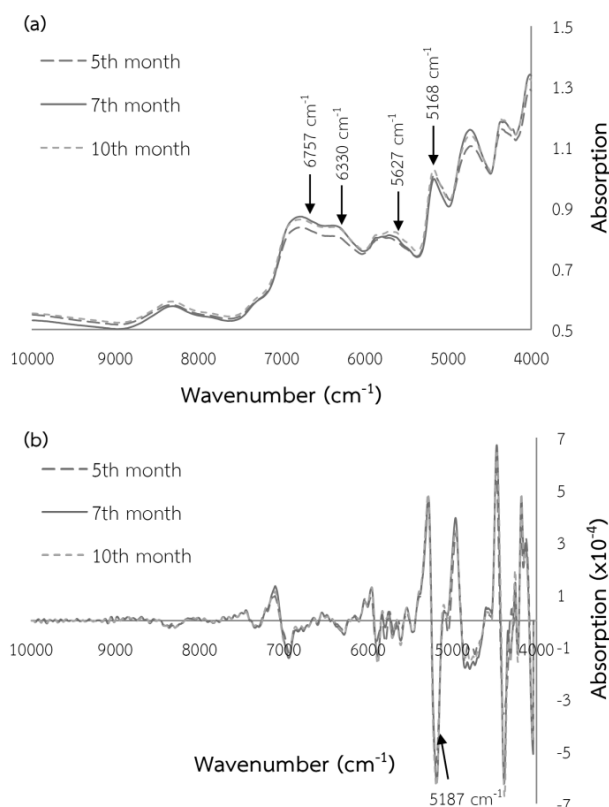


Figure 2 Averaged original spectra (a) and second derivative spectra (b) of the samples.

Figure 2 (b) แสดงสเปกตรัมที่ปรับด้วย second derivative จากสเปกตรัมเฉลี่ยในแต่ละอายุ จากสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองทำให้เห็นการดูดกลืนของแสงที่ต่างกันเพิ่มขึ้นในช่วง $5,187\text{ cm}^{-1}$ ($1,928\text{ nm}$) โดยตัวอย่างชิงฝงที่อายุ 5 เดือนมีการดูดกลืนน้อยที่สุดและการดูดกลืนมีค่ามากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความแก่ การดูดกลืนในช่วงเลขคลื่นดังกล่าวสัมพันธ์กับการสั่นในโหมดแบบ stretching ของฟังก์ชัน O-H ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแป้งและเซลลูโลส (Donald and Emil, 2001)

3.2 ประสิทธิภาพการคัดแยกของโมเดล

3.2.1 โมเดลที่สร้างจากสเปกตรัมตลอดช่วง

ประสิทธิภาพของโมเดล PLS-DA ในการจำแนกกลุ่มอายุของตัวอย่างชิงฝงถูกแสดงใน Table 1 โมเดลที่ถูกสร้างด้วยสเปกตรัมเริ่มต้นสามารถทำนายการจำแนกอายุของตัวอย่างชิงฝงได้ความถูกต้องรวม 99.28% โดยใช้ PC (principal component) จำนวน 12 PCs โมเดลที่ให้ความถูกต้องสูงสุดในการจำแนกความแก่ของตัวอย่างชิงฝงด้วยความถูกต้อง 100 % คือ โมเดลที่สร้างจากสเปกตรัมที่ผ่านการปรับด้วยวิธี SNV และ MSC ด้วยจำนวน PC เท่ากับ 12 และ 10 PCs ตามลำดับ

Table 1 Classification performances of PLS-DA model based on various treatments.

Treatment	No. PC	Corrected prediction (%)			
		5th month	7th month	10th month	Total
Original	12	100.00	97.83	100.00	99.28
SNV	12	100.00	100.00	100.00	100.00
MSC	10	100.00	100.00	100.00	100.00
2-D	5	100.00	82.61	100.00	94.20
SNV and 2-D	5	100.00	93.48	97.83	97.10
MSC and 2-D	5	100.00	93.48	97.83	97.10

SNV, standard normal variate; MSC, multiplicative scatter correction; 2-D, second derivative.

3.2.2 โมเดลที่สร้างจากการเลือกในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ

จากผลการจำแนกความแก่ของชิงด้วยโมเดลที่สร้างจากวิธีการ PLS-DA ที่ให้ค่าความถูกต้องที่สูงนั้น แต่เนื่องด้วยโมเดลดังกล่าวถูกสร้างจากสเปกตรัมเริ่มต้น และสเปกตรัมที่ถูกปรับด้วยวิธีการต่างๆ จากสเปกตรัมของการดูดกลืนตลอดช่วงความยาวคลื่นที่ใช่วัด ดังนั้น เพื่อประโยชน์ในการนำข้อมูลไปพัฒนาเป็นเครื่องมือวัดในอนาคตควรจะลดความซับซ้อนของโมเดลเพื่อให้จำนวนพจน์ของตัวแปรอิสระในโมเดลลดลง โดยการเลือก

ความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่มีการดูดกลืนแสงสัมพันธ์โดยเฉพาะกับองค์ประกอบทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงตามอายุชิง

จาก Table 1 ซึ่งแสดงค่าความถูกต้องในการจำแนกความแก่ของชิงฝงของแต่ละโมเดลที่ถูกสร้างจากสเปกตรัมเริ่มต้น และสเปกตรัมที่ถูกปรับด้วยกระบวนการต่างๆ นั้น จะเห็นได้ว่าแต่ละโมเดลให้ความถูกต้องในการจำแนกอายุที่สูงแต่ต้องใช้จำนวน PC หลายตัวเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาจำนวน PC เป็นหลักในการเลือกโมเดลนั้นจะเหลือโมเดล 2 โมเดลที่ถูกปรับด้วยกระบวนการ

MSC ร่วมกับ second derivative และด้วยกระบวนการ SNV ร่วมกับ second derivative ที่ใช้จำนวน PC ในการสร้างโมเดลทั้งหมด 5 PCs โมเดลดังกล่าวทั้ง 2 นั้นให้ค่าความถูกต้องที่สูง (97.10%) เท่ากัน แต่มีวิธีการปรับสเปกตรัมที่ต่างกันตรงที่โมเดลแรกใช้วิธีการแบบ MSC และโมเดลหลังใช้การปรับแบบ SNV ก่อนที่โมเดลทั้งสองจะถูกปรับด้วย second derivative อีกครั้งหนึ่ง วิธีการปรับสเปกตรัมแบบ MSC นั้นจะใช้สเปกตรัมของตัวอย่างทั้งหมดมาเฉลี่ยเพื่อเป็นสเปกตรัมอ้างอิงในการปรับอิทธิพลจากตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะประกอบอยู่ในสเปกตรัมอ้างอิงซึ่งจะส่งผลต่อสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างหลังการปรับ แต่วิธีการปรับสเปกตรัมแบบ SNV นั้น สเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างจะถูกลบด้วยค่าเฉลี่ยของสเปกตรัม (ตลอดช่วงความยาวคลื่น) และหารด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสเปกตรัมของตัวอย่างนั้นๆ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการปรับสเปกตรัมแบบ SNV จะไม่ได้รับอิทธิพลจากสเปกตรัมของตัวอย่างอื่นๆ เลย ดังนั้นโมเดลที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้รับการปรับด้วยวิธีการแบบ SNV ร่วมกับ second derivative จึงมีความน่าสนใจเพื่อนำมาคัดเลือกราคาความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงในการคัดแยกความแก่ของขิงผงต่อไป

ในการเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมนั้นมีการศึกษาในหลายรูปแบบ เช่น การใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) และค่า loading weight เป็นต้น (Naes et al., 2002) ในการศึกษานี้ได้ทดลองหลายวิธีเพื่อเปรียบเทียบดังนี้ 1) โดยใช้ช่วงความยาวคลื่นที่ค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเฉลี่ยที่เรียงลำดับตามการพัฒนาความแก่ และ 2) ค่าอัตราส่วนความแปรปรวน (F-value) ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) มาเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสม

Figure 3 แสดงสเปกตรัมเฉลี่ยที่ผ่านการปรับด้วยวิธีการ SNV ร่วมกับ second derivative ของตัวอย่างขิงผงในแต่ละระดับความแก่ซึ่งสเปกตรัมดังกล่าวมีพีคของค่าการดูดกลืนแสงที่เรียงลำดับตามความแก่จากอ่อนไปแก่อยู่ที่ช่วง $5,936-5,577\text{ cm}^{-1}$, $5,195-5,153\text{ cm}^{-1}$, และ $4,400-4,362\text{ cm}^{-1}$ เมื่อนำช่วงความยาวคลื่นที่เรียงลำดับตามความแก่ของอายุดังกล่าวมาสร้างโมเดลสำหรับจำแนกความแก่ของตัวอย่างขิงผงนั้น โมเดลสามารถจำแนกระดับความแก่ได้ถูกต้องเท่ากับ 98.55% โดยใช้จำนวน 5 PCs เมื่อพิจารณา score plot ระหว่าง PC1 และ PC2 ตาม Figure 4 นั้น PC1 สามารถแยกตัวอย่างอายุกลุ่มที่ 1

ออกจากตัวอย่างอายุกลุ่มที่ 2 หรือ 3 แต่ไม่สามารถแยกกลุ่มอายุที่ 2 ออกจาก 3 ได้ ในขณะที่ PC2 สามารถแยกกลุ่มอายุที่ 2 ออกจากกลุ่มที่ 3 ได้ แต่กลุ่มที่ 1 ไม่สามารถถูกแยกออกจากกลุ่มอายุที่ 2 และ 3 ได้ด้วย PC2 ตามผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า PC1 เป็นตัวคัดแยกกลุ่มอายุ immature ออกจากกลุ่มอายุ early- mature หรือ mature และ PC2 เป็นตัวคัดแยกระหว่างอายุ early-mature และ mature

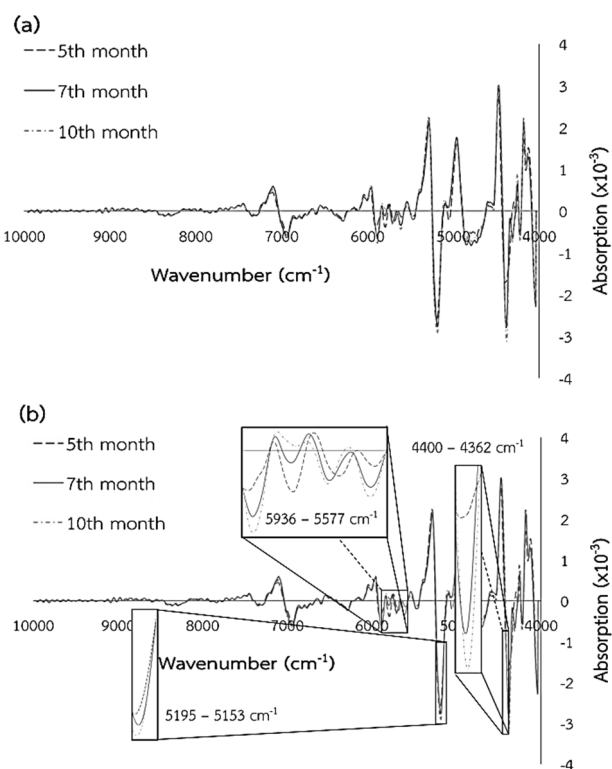


Figure 3 Averaged spectra treated by SNV and second derivative methods (a) and ranges of wavelengths which absorbance changed with ginger maturity (b).

Figure 5 และ Figure 6 แสดงค่า regression coefficient ของโมเดลที่สร้างสเปกตรัมที่ผ่านการปรับด้วยเทคนิค SNV ร่วมกับ second derivative และค่า F-value ของแต่ละค่าสเปกตรัมตลอดช่วง $10,000-4,000\text{ cm}^{-1}$ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนตามลำดับ เมื่อพิจารณาขนาด (ค่าสัมบูรณ์) ของค่า Regression Coefficient จาก Figure 5 พบว่าจะมีค่าน้อยและมากสลับกันตลอดช่วงความยาวคลื่นที่ใช้วัด ($10,000-4,000\text{ cm}^{-1}$) และเมื่อพิจารณาค่า F-value พบว่ามีค่ามากและน้อยสลับกันเช่นกัน เมื่อนำค่าทั้งสองมาพิจารณาร่วมกันเพื่อสังเกตช่วงความยาวคลื่นที่สำคัญโดยพิจารณาจากทั้งค่า Regression coefficient และค่า F-value ที่มีค่าสูงเพื่อลดความซับซ้อนของข้อมูลเพื่อสร้างโมเดล โดยได้การเลือกความยาวคลื่น

ที่มีค่า Regression coefficient ที่มากกว่าค่า 0.004 และความยาวคลื่นที่มีค่า F-value ที่มากกว่า 100 จะได้ความยาวคลื่นที่ $5,936.04\text{ cm}^{-1}$, $5,901.33 - 5,882.04\text{ cm}^{-1}$, $5,851.19\text{ cm}^{-1}$, $5,704.97\text{ cm}^{-1}$, $5,561.91 - 5,542.62\text{ cm}^{-1}$, $5,461 - 5,446.2\text{ cm}^{-1}$, $4,458.78 - 4,443.35\text{ cm}^{-1}$ และ $4,076.93\text{ cm}^{-1}$ และเมื่อนำช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวสร้างโมเดลจะให้ความถูกต้อง 96.38% ด้วย PC จำนวน 4 PCs

จากการคัดเลือกความยาวคลื่นทั้งวิธีการใช้ช่วงความยาวคลื่นที่การดูดกลืนแสงเรียงตามลำดับความถี่และการเลือกเอาค่าความยาวคลื่นที่มีค่า Regression coefficient ร่วมกับ F-value สูงกว่า 0.004 และ 100 ตามลำดับ สร้างโมเดลนั้น โมเดลที่เลือกความยาวคลื่นในช่วงที่การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความถี่และปรับสเปกตรัมด้วย SNV กับ second derivative ให้ค่าความถูกต้อง (98.55% จาก Table 2) สูงกว่าโมเดลที่ใช้สเปกตรัมตลอดช่วงความยาวคลื่นและปรับด้วย SNV กับ second derivative (97.10% จาก Table 1) จึงถือว่าเป็นโมเดลที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นทั้งหมด 117 ค่า

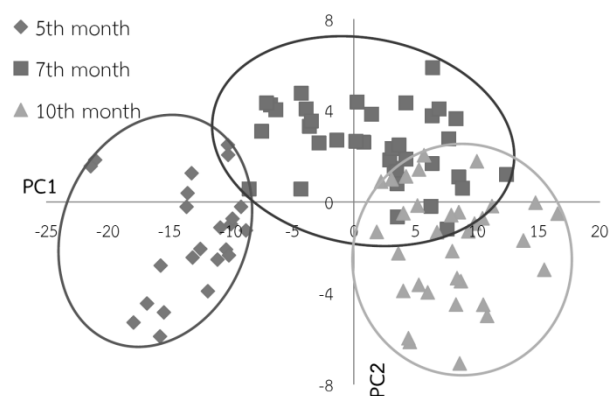


Figure 4 Score plot of PLS-DA model based on spectra treated by SNV and second derivative and the selected spectra in the wavenumber range of $5936-5577\text{ cm}^{-1}$, $5195-5153\text{ cm}^{-1}$, and $4400-4362\text{ cm}^{-1}$ corresponding to an increase in absorbance with maturity.

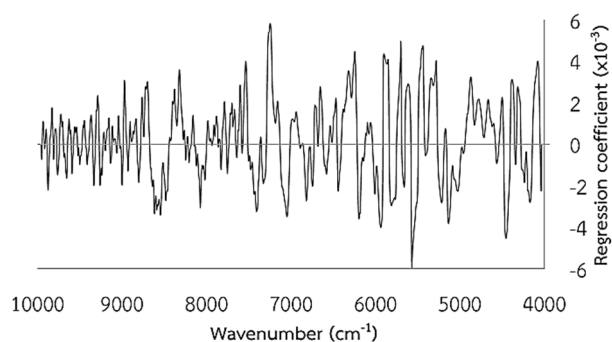


Figure 5 Regression coefficient of classification model using spectra treated by SNV and second derivative methods.

Table 2 Classification performances of PLS-DA model based on spectra treated by the combination of SNV and second derivative with selected wavenumber.

Wavenumbers	No. Variables	No. PC	Corrected prediction			
			5th month	7th month	10th month	Total
*5,936 – 5,577, 5,195 – 5,153, and 4,400 – 4,362 cm^{-1}	117	5	100	95.65	100	98.55
**5,936.04, 5,901.33 – 5,882.04, 5,851.19, 5,704.97, 5,561.91 – 5,542.62, 5,461 – 5,446.2, 4,458.78 – 4,443.35 and 4,076.93 cm^{-1}	26	4	97.83	93.45	97.82	96.38

*Wavenumber selected from the absorbance that increased with maturity.

**Wavenumber selected from regression coefficient and F-value greater than 0.004 and 100 respectively.

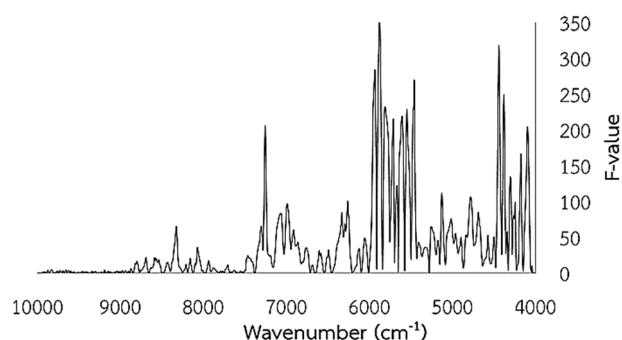


Figure 6 F-value of averaged spectra treated by the combination of SNV and 2nd derivative from analysis of variance.

4 สรุป

เทคนิค NIRS สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดแยกชิงผงตามอายุเก็บเกี่ยว กระบวนการปรับสเปกตรัมเพื่อลดการกระเจิงแสงที่เหมาะสมได้แก่ SNV ร่วมกับ second derivative ซึ่งทำให้ได้โมเดลจำแนกกลุ่มที่ใช้จำนวน PC เพียง 5 PCs ในการศึกษาการลดจำนวนพจน์ในโมเดลพบว่า การเลือกค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับความแก่ของชิง ให้โมเดลที่มีความแม่นยำที่ดีขึ้นในขณะเดียวกันยังทำให้จำนวนพจน์ในโมเดลลดลงเหลือ 117 ค่า

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สัญญาเลขที่ PHD/0017/2553 และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาสับสนุนงบประมาณการวิจัย และขอขอบคุณ Graduate School of Bioagricultural Sciences มหาวิทยาลัยนาโกยา ประเทศญี่ปุ่น ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวัด FT-NIR spectrometer

6 เอกสารอ้างอิง

สิรินาฏ น้อยพิทักษ์. 2557. การประเมินและจำแนกความฝืดของผลพลับพลาพันธุ์ชิงและความแก่ของชิงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรพหุคูณ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนงค์ เสรีฐิตาสนา. 2551. การพัฒนากระบวนการแปรรูปน้ำชิงผงและชิงผง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- Bartley, J.P., Jacobs, A.L. 2000. Effects of drying on flavour compounds in Australian-grown ginger (*Zingiber officinale*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80, 209–215.
- Baera, I., Gurnyby, R., Margota, P. 2007. NIR analysis of cellulose and lactose—Application to ecstasy tablet analysis. *Forensic Science International* 167, 234–241.
- Ballabio, D., Todeschini, R. 2009. Multivariate classification for qualitative analysis. In: Sun, D.W. (Eds.), *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control* (pp. 83–104). New York, USA: Academic Press.
- Bone, K. 1997. Ginger. *The British Journal of Phytotherapy* 4, 110–120.
- Borina, A., Ferrão, M.F., Mello, C., Maretto, D.A., Poppi, R.J. 2006. Least-squares support vector machines and near infrared spectroscopy for quantification of common adulterants in powdered milk. *Analytica Chimica Acta* 579, 25–32.
- Donald, A.B., Emil, W.C. 2001. *Handbook of Near-Infrared Analysis*. (2nd ed). Taylor & Francis.
- Guo-quan, L., Hua-hong, H., Da-peng, Z. 2006. Application of near-infrared spectroscopy to predict sweetpotato starch thermal properties and noodle quality. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B* 7, 475–481.
- Inagaki, T., Siesler, H.W., Mitsui, K., Tsuchikawa, S. 2010. Difference of the crystal structure of cellulose in wood after hydrothermal and aging degradation: A NIR spectroscopy and XRD Study. *Biomacromolecules* 11, 2300–2305.
- Katayama, K., Komaki, K., Tamiya, S. 1996. Prediction of starch, moisture, and sugar in sweetpotato by near infrared transmittance. *HORTSCIENCE* 31, 1003–1006.
- Kays, S.E., Windham, W.R., Barton, F.E. 1996. Prediction of total dietary fiber in cereal products using near-infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44, 2266–2271.

- Kikuzaki, H. 2000. Ginger for drug and spice purposes.
In: Mazza, G., Oomah, B.D. (Eds.), Herbs, Botanicals
and Teas, (pp. 75-105). Lancaster, PA: Technomic
Publishing Company.
- Kumar, S., Saxena, K., Singh, U.N., Saxena, R. 2013. Anti-
inflammatory action of ginger: A critical review in
anemia of inflammation and its future aspects.
International Journal of Herbal Medicine 1, 16-20.
- Naes, T., Isaksson, T., Fearn, T., Davies, T. 2002. A User-
friendly Guide to Multivariate Calibrationn and
Classification. Chichester, U.K.: NIR Publications.
- Ratnambal, M.J., Gopalan, A., Nair, M.K. 1987. Quality
evaluation of ginger in relation to maturity. Journal
of Plantation Crops 15, 108-111.
- Vernin, G., Parkanyi, C. 2005. Chemistry of ginger. In:
Ravindran, P.N., Babu, K.N. (Eds.), Ginger: The Genus
Zingiber, (pp. 87-180). Boca Raton, FL: CRC Press
- Xiaoying, N., Zhilei, Z., Kejun, J., Xiaoting, L. 2012. A
feasibility study on quantitative analysis of glucose
and fructose in lotus root powder by FT-NIR
spectroscopy and chemometrics. Food Chemistry
133, 592-597.