

การทำนายองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรดจากโรงงานอุตสาหกรรม

ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

อาทิตยา สุขสะเกษ^{1/} ปฎิมา บุตรชา^{2/} เยวาลักษณ์ แหม่งปิง^{2/}

บทคัดย่อ

การผลิตสัตว์มักประสบปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบคุณภาพดีในช่วงฤดูแล้ง จำเป็นต้องหาแหล่งอาหารหยาบอื่นมาทดแทน ผลพลอยได้และเศษเหลือสับปะรดจากโรงงานอุตสาหกรรมสามารถนำมาใช้เป็นอาหารหยาบได้ แต่ก่อนจะนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์จำเป็นต้องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อใช้ประกอบสูตรอาหารสัตว์ งานวิจัยในนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer (NIRS) ในการทำนายองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรดป่น และเปลือกสับปะรดแผ่น ได้แก่ ค่าวัตถุแห้ง (Dry matter; DM) โปรตีน (Crude protein; CP) ไขมัน (Ether extract; EE) เถ้า (Ash) ผนังเซลล์ (Neutral detergent fiber; NDF) ลิกโนเซลลูโลส (Acid detergent fiber; ADF) และลิกนิน (Acid detergent lignin; ADL) นำมาวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 800 – 2,500 นาโนเมตร ด้วยโหมดการวัดแบบสะท้อนกลับ (reflectance) แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี Partial least squares regression (PLS) และ Modified partial least squares regression (MPLS) มีการปรับแต่งสเปกตรัมทั้งแบบใช้และไม่ใช้ Standard normal variate (SNV) and detrend ร่วมกับ Derivative, Gap, Smoothing, Second smoothing และ Math treatment 10 รูปแบบ จากการศึกษาพบว่าสมการเทียบมาตรฐาน DM CP EE Ash NDF ADF และ ADL มีค่า ratio of standard error of validation to standard deviation (RPD) ของเปลือกสับปะรดป่น และเปลือกสับปะรดแผ่น อยู่ในช่วง 1.29 - 9.89 และ 1.89 - 5.12 ตามลำดับ ซึ่งสมการเทียบมาตรฐานบางค่ามีค่า RPD ต่ำ ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จึงนำข้อมูลและสเปกตรัมของเปลือกสับปะรดป่นและเปลือกสับปะรดแผ่นมารวมกันทำให้มีจำนวนตัวอย่างเพิ่มขึ้นและพิสัยของข้อมูลกว้างขึ้นเมื่อนำไปสร้างสมการเทียบมาตรฐาน พบว่า มีค่า RPD อยู่ในช่วง 2.20 - 11.30 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น สามารถใช้หาองค์ประกอบทางเคมีได้ทุกค่า ดังนั้น สมการเทียบมาตรฐานสำหรับเครื่อง NIRS ที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรดป่น เปลือกสับปะรดแผ่น และเปลือกสับปะรดรวมได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และเชื่อถือได้

คำสำคัญ : เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี, เปลือกสับปะรด, เปลือกสับปะรดแผ่น, เปลือกสับปะรดป่น

เลขทะเบียนวิชาการ : 67(2)-0214-019

^{1/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์มหาสารคาม ต.เชียงยืน อ.เชียงยืน จ.มหาสารคาม

^{2/} ศูนย์วิจัยและพัฒนามาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ต.ท่าพระ อ.เมือง จ.ขอนแก่น

Prediction of Chemical Composition Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy in Pineapple peel's residue.

Atitiya Suksaket^{1/} Patima Butcha^{2/} Yaowalak Mangpung^{3/}

Abstract

In the dry season, good quality roughage is often in short supply for animal production. It was required to look for other roughage sources. Pineapple residues from factories can be used as roughage. However, before being used as animal feed, the chemical composition must be analyzed for formulations. The aim of this research is to create a calibration equation for the Near Infrared Spectrophotometer (NIRS) to predict the chemical composition of pineapple peel's fine and sheet, including dry matter (DM), protein (Crude protein; CP), fat (Ether extract; EE), ash (Ash), cell wall (Neutral detergent fiber; NDF), lignocellulose (Acid detergent fiber; ADF), and lignin (Acid detergent lignin; ADL). The absorption of light with wavelengths ranging from 800 to 2,500 nm was determined using the reflection mode. Then use data to create equations that equivalent to standard Partial Least Squares Regression (PLS) and Modified Partial Least Squares Regression (MPLS). Standard Normal Variate (SNV) and detrend are frequently used combined with Derivative, Gap, Smoothing, Second Smoothing, and Math treatment 10 patterns. The research showed that the calibration equations of DM CP EE Ash NDF ADF and ADL had the same standard error of validation to standard deviation (RPD) of pineapple peel's fine and pineapple peel's sheets residue ranged from 1.29 to 9.89 and 1.89 to 5.12, respectively. Some calibration equations have low RPD values and cannot be used. Therefore, the data and spectra of pineapple peel's fine and pineapple peel's sheet residue were combined, resulting in an increased number of samples and a wider range of data. When used to create a standard calibration equation, it was found that the RPD value was in the range of 2.20 to 11.30, which has increased. Can be used to find every chemical element. Therefore, the created calibration equation for the NIRS can be used to predict the chemical composition of pineapple peel's fine, Pineapple peel's sheets and pineapple peel's mixed residue can be combined accurately and reliable.

Keywords : NIRS, Pineapple peel's residue, Pineapple peel's fine residue, Pineapple peel's sheet residue.

Registered No. : 67(2)-0214-019

^{1/}Maha Sarakham Animal Nutrition Research and Development Center, Chiang Yuen,
Maha Sarakham.

^{2/}Ruminant Feed Standard Research and Development Center, Muang, Khonkaen.

คำนำ

ประเทศไทยมีปริมาณสัตว์เคี้ยวเอื้องทั้งหมดประมาณ 9,239,556 ตัว (กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2563) และในแต่ละปีมีแนวโน้มการผลิตสัตว์ที่เพิ่มมากขึ้นแต่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภค ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตสัตว์เกษตรประสบปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบคุณภาพดีในช่วงฤดูแล้ง ทำให้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ การผสมติด รวมถึงการเจริญเติบโตของสัตว์ จำเป็นต้องหาแหล่งอาหารหยาบมาช่วยเสริมหรือทดแทนในช่วงที่ขาดแคลน ผลพลอยได้จากการเกษตรและเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ทดแทนแหล่งอาหารหยาบ แหล่งพลังงานหรือแหล่งโปรตีน เช่น เปลือกสับประรดป่น เปลือกสับประรดแผ่น ฟางข้าว เปลือกฝักข้าวโพดแห้ง ชังข้าวโพด และ ต้นข้าวโพดพร้อมฝัก ในประเทศไทยการปลูกสับประรดได้รับความนิยม มีพื้นที่ปลูกสับประรดประมาณ 491,117 ไร่ สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย ให้ผลผลิตประมาณ 1,825,257 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2562) คิดปริมาณผลพลอยได้ประมาณ 1,186,417 ตัน ซึ่งมีปริมาณมากเพียงพอในการนำผลพลอยได้ของสับประรดมาเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ปัจจุบันเกษตรกรนำเปลือกสับประรดจากโรงงานอุตสาหกรรมไปเป็นวัตถุดิบอาหารหยาบทางเลือกในสูตรอาหารผสมครบส่วน (Total Mixed Ration, TMR) ก่อนนำเปลือกสับประรดไปใช้ในการประกอบสูตรอาหารเลี้ยงสัตว์จำเป็นต้องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบก่อน ซึ่งการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบดำเนินการในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีมาตรฐานที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง แต่มีขั้นตอนและการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยากใช้เวลานาน อีกทั้งยังมีการใช้สารเคมีซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและตัวผู้วิเคราะห์ ปัจจุบันมีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) ซึ่งสามารถประเมินองค์ประกอบทางเคมีในวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ไม่ทำลายตัวอย่าง ไม่ใช้สารเคมี ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และลดค่าใช้จ่ายได้ในระยะยาว หลักการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIRS คือ การใช้คลื่นแสงในช่วง NIR ส่องเข้าไปในตัวอย่าง ทำให้โมเลกุลของตัวอย่างที่ดูดกลืน (Absorb) พลังงาน เกิดการสั่นสะเทือน (Vibration) จากนั้นตรวจวัดพลังงาน ซึ่งสามารถตรวจวัดได้หลายรูปแบบ เช่น แบบวัดการสะท้อน (Reflectance) แบบวัดการส่องผ่าน (Transmittance) เป็นต้น สเปกตรัมในช่วงคลื่น NIR ที่ได้ จะถูกนำมาประมวลผลในรูปของการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์หรือ เคมีเมทริก (Chemometrics) เพื่อหาความสัมพันธ์ทางสถิติกับข้อมูลของตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมี หรือวิธีอื่นๆ ที่ได้ค่ามาตรฐาน ได้สมการสอบเทียบ (Calibration equation) เพื่อใช้ทำนายค่าปัจจัยคุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดได้ทั้งเชิงปริมาณ (Quantitative) และเชิงคุณภาพ (Qualitative) ซึ่งสมการที่ได้นี้จะต้องผ่านขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องของสมการ (Validation) ว่าสมการมีความเหมาะสม แม่นยำหรือไม่ จึงจะนำสมการไปใช้ทำนายค่าทางเคมีของตัวอย่างในอนาคตได้ การรวบรวมตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ดีและครอบคลุมค่าตัวอย่างในอนาคต จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างสมการเพื่อให้ได้สมการที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่างแม่นยำ ซึ่งตัวอย่างที่นำมาใช้ในการสร้างสมการจะต้องมาจากการสุ่มเก็บอย่างที่ดี มีความหลากหลาย ในด้านพื้นที่การผลิต ฤดูกาล อายุพืช มีค่าทางเคมีที่กระจายครอบคลุมค่าของตัวอย่างในอนาคต (จันทกานต์, 2553)

ปัจจุบันยังไม่มีสมการทำนายองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับประรดจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ เปลือกสับประรดป่น เปลือกสับประรดแผ่น สำหรับเครื่อง NIRS มาก่อน ดังนั้น จึงควรมีการสร้างสมการสำหรับ

เครื่อง NIRS เพื่อทำนายองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเปลือกสับประดป่น เปลือกสับประดแผ่น และสมการสับประดรวม ที่มีความถูกต้องแม่นยำและรวดเร็ว ซึ่งจะช่วยนักอาหารสัตว์ได้รับผลวิเคราะห์ที่ทันต่อความต้องการใช้ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ ขณะเดียวกันสมการที่ได้นี้สามารถถ่ายโอนไปยังเครื่อง NIRS อื่นได้อีกด้วย ทำให้ตอบสนองต่อการพัฒนาการผลิตโคนม โคเนื้อ กระบือ แพะแกะ ได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

เก็บและรวบรวมตัวอย่างเปลือกสับประดป่น และเปลือกสับประดแผ่น จากโรงงานผลิตสับประดกระป๋อง ฟาร์มเกษตรกรและตัวแทนจำหน่าย ในพื้นที่ปศุสัตว์ เขต 2 และเขต 7 จำนวนชนิดละ 120 ตัวอย่าง นำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมงจนน้ำหนักแห้งคงที่ บันทึกน้ำหนักก่อนอบและหลังอบแล้วบดให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องบดตัวอย่างชนิดตัด และเก็บตัวอย่างในถุงพลาสติกปิดสนิท นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และเก็บสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRS ต่อไป

การวัดสเปกตรัมและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

- นำตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้ววัดสเปกตรัมโดยใช้เครื่อง NIRS ยี่ห้อ FOSS รุ่น DS 2500 (Foss Analytical A/S, Denmark) ความยาวคลื่นที่ใช้วัดสเปกตรัมอยู่ในช่วง 800-2,500 นาโนเมตร โดยใช้โปรแกรม ISIScan NOVA กำหนดให้สเปกตรัมแต่ละจุดห่างกัน 0.5 นาโนเมตร โดยบรรจุตัวอย่างที่บดแล้วในเซลล์ใส่ตัวอย่าง (sample cell) ทรงกลม โดยใส่ตัวอย่างให้กระจายสม่ำเสมอ แล้วสแกน 2 ซ้ำต่อตัวอย่าง (duplicates) การวัดแต่ละครั้งจะแสดงรายการองค์ประกอบทางเคมี จำนวน 7 รายการได้แก่ DM CP EE Ash NDF ADF และ ADL นำค่าแต่ละรายการที่ได้จากการวัดมาเฉลี่ยเพื่อแสดงผลออกมาเป็นเส้นสเปกตรัม 1 เส้นต่อรอบ ซึ่งค่าที่ได้เรียกว่าค่าการดูดกลืน (Absorbance)

- นำตัวอย่างเปลือกสับประดป่น และเปลือกสับประดแผ่น ที่ผ่านการวัดสเปกตรัมไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ โดยวิธีทางเคมี (Wet Chemical Analysis) ได้แก่ ความชื้นเพื่อกำหนดหาเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง โดยอบตัวอย่างด้วยตู้อบชนิด Force-air Oven ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตามวิธีที่ 930.15 (AOAC, 2016) และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง (Dry Matter, DM) CP โดยหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl แล้วคูณด้วยแฟกเตอร์ 6.25 ตามวิธีที่ 984.13 (AOAC, 2016) EE ตามวิธี ISO11085:2015 และ Ash ตามวิธี ISO5982:2002 NDF ตามวิธีที่ 2002.04 (AOAC, 2016) ADF และ ADL ตามวิธีที่ 973.18 (AOAC, 2016) โดยวิเคราะห์ 2 ซ้ำต่อตัวอย่าง ค่าที่ได้เรียกว่า ค่าจริง (Actual value)

- หาค่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ หรือ SEL (Standard error of laboratory) ด้วยวิธี duplicate blind test เพื่อจะนำค่าไปประเมินสมการเทียบมาตรฐานที่สร้างได้ โดยสองเท่าของ SEL ต้องมากกว่าค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนาย (Standard error of prediction, SEP) (SA, 2017) ทำการวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างแต่ละชนิด จำนวน 10 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างจะถูกแบ่งออกเป็นตัวอย่างย่อยที่ 1 และตัวอย่างย่อยที่ 2 กำหนดหมายเลขตัวอย่างไม่ให้ซ้ำกัน เพื่อไม่ให้ผู้วิเคราะห์ทราบรายละเอียดของตัวอย่าง แล้วส่งวิเคราะห์เป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ประกอบด้วยตัวอย่างย่อยที่ 1 ของตัวอย่างที่ 1 ถึง 10 และชุด

ที่ 2 ประกอบด้วยตัวอย่างย่อยที่ 2 ของตัวอย่างที่ 1 ถึง 10 แต่ละชุดวิเคราะห์ตัวอย่างละ 1 ซ้ำ จากนั้นนำผลวิเคราะห์ของแต่ละรายการคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง และคำนวณหาค่า SEL โดยใช้สมการ

$$SEL = \sqrt{\frac{\sum (D)^2}{n}}$$

D = ผลต่างผลวิเคราะห์ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ของแต่ละตัวอย่าง

n = จำนวนตัวอย่าง (10)

การสร้างสมการเทียบมาตรฐานและการทดสอบความใช้ได้ของสมการ

1. การสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

นำข้อมูลสเปกตรัมและค่าองค์ประกอบทางเคมี มาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธี Partial least square regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม WIN ISI IV แบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน คือกลุ่มที่ใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐาน (Calibration set) ทำนายค่า DM CP EE Ash NDF ADF และ ADL และกลุ่มทดสอบความใช้ได้ของสมการ (Validation set) ในสัดส่วนกลุ่มสมการเทียบมาตรฐานต่อกลุ่มทดสอบความใช้ได้ของสมการ เท่ากับ 80 ต่อ 20 เปอร์เซ็นต์ การสร้างสมการเป็นการสร้างแบบเต็มช่วงความยาวคลื่น (Full Spectrum Method) ด้วยวิธี Partial Least Squares (PLS) และ Modified Partial Least Squares (MPLS) ร่วมกับการไม่มีการปรับแต่งสเปกตรัม และปรับแต่งสเปกตรัมแบบ SNV-Detrend เพื่อลดความแปรปรวนและสิ่งรบกวนอื่นๆ ที่อาจทำให้ข้อมูลสเปกตรัมมีการเปลี่ยนแปลงไป และใช้ Derivative mathematics หรือ Math treatment ที่ใช้ค่า Derivative number, Gap, Smoothing and Second smoothing จำนวน 10 แบบ ดังนี้ (1,4,4,1) (2,4,4,1) (1,8,4,1) (2,8,4,1) (1,8,8,1) (2,8,8,1) (1,5,5,1) (2,5,5,1) (1,10,10,1) (2,10,10,1) โดยใช้ตามคำแนะนำในคู่มือการใช้เครื่อง NIRS (Infrasoft International, 2005) จะได้สมการเทียบมาตรฐานของแต่ละรายการจำนวน 40 สมการ

หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย (Coefficient of determination, r^2) ซึ่งควรมีค่าเข้าใกล้ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการสร้างสมการ (Standard error of calibration, SEC) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพิสูจน์แบบไขว้ (Standard error of cross validation, SECV) ซึ่งควรมีค่าต่ำ (Infrasoft International, 2005)

ในการพิจารณาการเลือกสมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุด จะพิจารณาจากค่า r^2 ที่มีค่าสูง และค่าผลต่างของ SEC และ SECV ที่มีค่าต่ำ จากสมการเทียบมาตรฐาน 40 สมการ แล้วเลือกสมการที่ดีที่สุดมา 3 สมการ เพื่อนำมาทดสอบความใช้ได้ของสมการต่อไป

2. การทดสอบความใช้ได้ของสมการ

นำสมการที่คัดเลือกมาจำนวน 3 สมการมาทดสอบความใช้ได้ของสมการเพื่อวัดประสิทธิภาพของสมการว่าสามารถใช้ในการประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใด โดยนำสเปกตรัมของตัวอย่างกลุ่มทดสอบ ประเมินความถูกต้องแม่นยำโดยใช้ค่าสถิติต่างๆ ได้แก่ ค่า SEP ควรมีค่าน้อยกว่า 2 เท่าของ SEL ($SEP < 2SEL$) ค่าความ

ผิดพลาดเฉลี่ยระหว่างค่าที่ได้จากวิธีทางเคมีและค่าที่ได้จากวิธี NIR (Bias) ควรมีค่าน้อยกว่า 0.55 เท่าของ SEC (Bias < 0.55 SEC) ค่า Standard Error of Prediction correction (SEP(C)) น้อยกว่า 1.29 เท่าของ SEC (SEP(C) < 1.29 SEC) ค่าความชันเข้าใกล้ 1 (Slope ~ 1) ตามวิธีการของ Sithiporn Associates Company (2017) นอกจากนี้ได้พิจารณาระดับชั้นคุณภาพของสมการด้วยค่า RPD (ratio of standard error of validation to standard deviation) ตามวิธีการของ Williams et al. (2019) ดังแสดงใน Table 1 เกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกสมการตามที่ได้กล่าวถึงจะเลือกสมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุดเพียง 1 สมการ สำหรับนำไปใช้ในการทำนายองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง NIRS ต่อไป

Table 1 Criteria of prediction efficiency : Williams et al. (2019)

RPD Value	Classification	Application
0.0 - 1.9	Very poor	Not recommended
2.0 - 2.4	Poor	Rough screening
2.5 - 2.9	Fair	Screening
3.0 - 3.4	Good	Quality control
3.5 - 4.0	Very good	Process control
> 4.1	Excellent	Any application

RPD = ratio of standard error of validation to standard deviation

3. สมการเทียบมาตรฐานที่คัดเลือกมา 1 สมการ (ข้อที่ 2) นำมาประเมินประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ISO 12099:2017 (ISO, 2017) ดังนี้

3.1 การตรวจสอบค่า Bias โดยการคำนวณค่า Bias confidence limit (T_b) ตามสมการ ถ้าค่า Bias มีค่าน้อยกว่า T_b แสดงว่า ค่า Bias ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่า T_b คำนวณได้ ดังนี้

$$T_b = \pm \frac{t_{(1-\alpha/2)*SEP}}{\sqrt{n}}$$

T_b คือ ค่า bias confidence limit

$t_{(1-\alpha/2)}$ คือ ค่า t value ของการทดสอบ 2 ทาง ด้วย degree of freedom ที่สอดคล้องกับ SEP ที่มีค่าเท่ากับ n-1

SEP คือ Standard error of prediction (ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มทดสอบ)

n คือ จำนวนตัวอย่างในกลุ่มทดสอบ

3.2 การตรวจสอบค่า SEP เป็นการคำนวณค่า The unexplained error confidence limit (T_{UE}) หากค่า SEP น้อยกว่า T_{UE} แสดงว่า ค่า SEP ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่า T_{UE} คำนวณได้ ดังนี้

$$T_{UE} = SEC \sqrt{F_{(\alpha, v, M)}}$$

T_{UE}	คือ	The unexplained error confidence limit
$F_{(\alpha, v, M)}$	คือ	ค่า F value
SEC	คือ	Standard error of calibration (ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการสร้างสมการของกลุ่มสร้างสมการ)
α	คือ	ระดับความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดชนิดที่ 1 (type I error) โดยทั่วไป คือ 5%
v	คือ	$n_{\text{validation set}} - 1$ (degree of freedom ที่สอดคล้องกับ SEP)
M	คือ	$n_{\text{validation set}} - p - 1$ (degree of freedom ที่สอดคล้องกับ SEC) โดย p คือ number of terms หรือ PLS factors of the model)

3.3 การตรวจสอบ slope เป็นความชันของกราฟการกระจาย (scatter plots) ระหว่างค่าองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริงเป็นค่าอ้างอิง (แกน y) กับค่าที่ทำนายที่ได้จากสมการเทียบมาตรฐาน ด้วยเครื่อง NIRS (แกน x) ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการเส้นตรง โดยมีค่า Slope b และ Intercept a คำนวณได้ตามสมการ

$$y = a + b\hat{y}$$

$$b = \frac{S_{\bar{y}y}}{S_{\bar{y}}^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{\hat{y}}$$

$S_{\bar{y}y}$	คือ	ความแปรปรวนร่วมระหว่างค่าทำนายกับค่าจริง (covariance)
$S_{\bar{y}}^2$	คือ	ความแปรปรวนของค่าทำนายในกลุ่มทดสอบ
$\bar{\hat{y}}$	คือ	ค่าเฉลี่ยของค่าที่ทำนายจากสมการเทียบมาตรฐาน
$\bar{y}$	คือ	ค่าเฉลี่ยของค่าอ้างอิงที่วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

จากนั้นทดสอบค่า slope ที่คำนวณได้โดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังสมการ

$$S_{res} = \sqrt{\frac{\sum [y_i - (a + b\hat{y}_i)]^2}{n - 1}}$$

$$t_{obs} = |b - 1| \sqrt{\frac{S_{\bar{y}}^2 (n - 1)}{S_{res}^2}}$$

S_{res}	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Residual
T_{obs}	คือ	The observed value

N	คือ	จำนวนตัวอย่างในกลุ่มทดสอบ
y_i	คือ	ค่าอ้างอิงที่วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน
$\hat{y}_i$	คือ	ค่าที่ทำนายได้จากสมการเทียบมาตรฐาน

หากค่า t_{obs} น้อยกว่า $t_{(1-\alpha/2)}$ แสดงว่า ความชันของกราฟการกระจายระหว่างค่าทางเคมีกับค่าที่ทำนายได้จากสมการเทียบมาตรฐานไม่แตกต่างจาก 1 แสดงว่าค่า Slope ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ผลการทดลองและวิจารณ์

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรด

สุ่มเก็บตัวอย่างเปลือกสับปะรดป่นและเปลือกสับปะรดแผ่น จากฟาร์มเกษตรกร ตัวแทนจำหน่ายในพื้นที่ปศุสัตว์ เขต2 และเขต7 ตัวอย่างที่สุ่มเก็บเพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ DM CP EE Ash NDF ADF และ ADL ของเปลือกสับปะรดป่น และเปลือกสับปะรดแผ่น มีจำนวนตัวอย่าง 123 และ 120 ตัวอย่างตามลำดับ ซึ่งแสดงจำนวนตัวอย่าง ค่าต่ำสุด-สูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า SEL ใน Table 2

Table 2. Total sample, nutritive value and standard error of Pineapple peel's residue.

Parameter	N	Minimum	Maximum	Average	±SD	SEL
เปลือกสับปะรดป่น						
DM, %	120	89.70	92.32	90.86	0.44	1.50
CP, %	120	6.36	7.43	6.86	0.21	0.21
EE, %	119	0.49	0.97	0.68	0.11	0.38
Ash, %	123	5.59	7.56	6.19	0.44	0.33
NDF, %	123	67.12	74.84	70.67	1.48	1.62
ADF, %	123	42.28	47.25	44.30	0.94	0.21
ADL, %	123	8.04	13.76	10.04	1.09	0.12
เปลือกสับปะรดแผ่น						
DM, %	119	84.64	90.50	87.66	1.44	1.02
CP, %	119	6.33	8.57	7.19	0.48	0.31
EE, %	120	0.46	1.05	0.71	0.12	0.08
Ash, %	106	6.71	8.21	7.42	0.35	0.22
NDF, %	119	48.90	61.62	56.97	2.57	0.94
ADF, %	119	36.48	43.68	39.82	1.66	0.50
ADL, %	119	6.37	11.17	8.04	0.91	0.18

N, Number of samples; SD, Standard deviation; SEL, Standard error of laboratory; DM, Dry matter; CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, Neutral detergent fiber; ADF, Acid detergent fiber; ADL, Acid detergent lignin.

ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปรดป่นในงานวิจัยนี้พบว่า CP และ Ash สอดคล้องกับรายงานของคณะกรรมการความต้องการโภชนาโคณมในประเทศไทย (2563) ซึ่งรายงานค่าเฉลี่ย CP และ Ash ของเปลือกสับปรดป่น เท่ากับ 6.66 และ 6.03 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ย NDF ADF และ ADL มีค่าน้อยกว่าในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีค่า 63.34 32.35 และ 3.49 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ย EE มีค่ามากกว่างานวิจัยนี้คือ 0.96 ส่วนค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปรดแผ่นในงานวิจัยนี้พบว่า EE สอดคล้องกับรายงานของคณะกรรมการความต้องการโภชนาโคณมในประเทศไทย (2563) ซึ่งรายงานค่าเฉลี่ย EE ของเปลือกสับปรดแผ่น เท่ากับ 0.76 ส่วนค่าเฉลี่ย CP Ash NDF ADF และ ADL มีค่าน้อยกว่าในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีค่า 5.57 5.12 50.01 24.06 และ 2.63 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่า SEL เปลือกสับปรดป่นและเปลือกสับปรดแผ่น พบว่าอยู่ในช่วง 0.21-1.62 และ 0.08-1.02 ถือว่ามีค่าต่ำ แสดงว่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีความคลาดเคลื่อนน้อย

การสร้างสมการและทดสอบความใช้ได้ของสมการเทียบมาตรฐาน

การสร้างสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับปรดป่นและเปลือกสับปรดแผ่น ใช้สเปกตรัมที่ช่วงความยาวคลื่น 1,100-2,500 นาโนเมตร โดยการวัดแบบสะท้อนกลับ (reflectance) จะแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Calibration set และ Validation set ใช้สัดส่วนการเลือกตัวอย่างแบบเว้นช่วงตัวอย่างตามที่กำหนด คือ กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นและจำนวนตัวอย่างที่ต้องการเว้นช่วงเพื่อแบ่งกลุ่ม

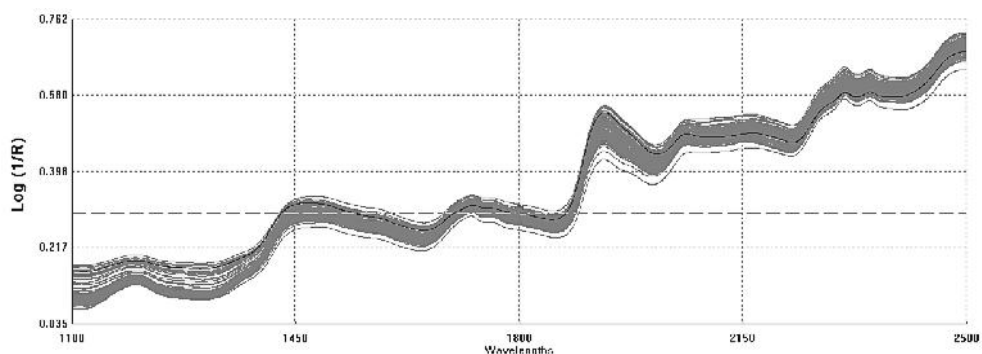
สำหรับสร้างสมการเทียบมาตรฐานค่าองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปรดป่น DM CP EE Ash NDF ADF และ ADL ใช้สัดส่วนการเลือกตัวอย่างแบบเว้นช่วงแบบ 1: 5 ส่วนสมการเทียบมาตรฐานค่าองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปรดแผ่น DM CP EE NDF ADF และ ADL ใช้สัดส่วนการเลือกตัวอย่างแบบเว้นช่วงแบบ 1: 5 และสัดส่วนการเลือกตัวอย่างแบบเว้นช่วง 2: 4 สำหรับการสร้างสมการทำนายค่า Ash เมื่อนำกลุ่ม Calibration set มาสร้างสมการเทียบมาตรฐานโดยใช้หลักการ Principal Component Analysis (PCA) และใช้หลักการคำนวณค่ามหาลาโนบิส (Mahalanobis distance) เพื่อตัดตัวอย่างที่มีค่าอยู่นอกกลุ่มออก ซึ่งค่าที่ผิดปกตินี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การสแกนที่ผิดพลาดหรือความผิดปกติของสเปกโตรมิเตอร์ เช่น สีของตัวอย่าง มีความชื้นสูง หรืออุณหภูมิสูง (ปานมนัส, 2564) ดังนั้น ทำให้เหลือจำนวนตัวอย่างค่าองค์ประกอบทางเคมี ต่ำสุด-ค่าสูงสุดของกลุ่ม Calibration set และ Validation set แสดงใน Table 3

Table 3 Number of sample and nutritive value of calibration set and validation set of Pineapple peel's residue.

Parameter	Calibration set					Validation set				
	N	Min.	Max.	Mean	SD	N	Min.	Max.	Mean	SD
เปลือกสับประดป่น										
DM, %	91	89.84	92.32	90.86	0.44	20	89.70	91.37	90.75	0.41
CP, %	93	6.48	7.43	6.86	0.21	21	6.36	7.30	6.84	0.23
EE, %	93	0.50	0.97	0.68	0.11	19	0.55	0.88	0.69	0.10
Ash, %	95	5.61	7.56	6.19	0.44	20	5.59	7.36	6.117	0.45
NDF, %	94	67.21	74.84	70.69	1.46	20	68.25	72.57	70.40	1.16
ADF, %	93	42.28	46.96	44.28	0.92	21	42.91	46.2	44.29	0.82
ADL, %	96	8.04	13.76	10.05	1.09	21	8.20	12.20	9.86	1.02
เปลือกสับประดแผ่น										
DM, %	90	84.85	90.50	87.70	1.43	20	85.69	90.07	87.87	1.34
CP, %	89	6.33	8.52	7.17	0.46	20	6.41	7.97	7.21	0.45
EE, %	92	0.48	1.05	0.72	0.12	20	0.46	0.92	0.70	0.13
Ash, %	79	6.71	8.11	7.42	0.34	20	6.86	8.21	7.41	0.36
NDF, %	87	49.31	61.62	51.02	2.51	20	52.54	61.06	57.21	2.42
ADF, %	88	36.76	43.68	39.87	1.66	21	36.48	42.74	39.68	1.64
ADL, %	91	6.54	11.17	8.05	0.92	20	6.78	9.94	7.99	0.86

N, Number of sample; Min, Minimum; Max, Maximum; SD, Standard deviation; DM, Dry matter; CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, Neutral detergent fiber; ADF, Acid detergent fiber; ADL, Acid detergent lignin.

จากนั้นนำตัวอย่างกลุ่ม Calibration set มาสร้างสมการเทียบมาตรฐานโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป WINISI IV ร่วมกับการใช้หลักสถิติ PLS regression แบบ Full Cross validation และ MPLS แบบปรับแต่งและไม่ปรับแต่งสเปกตรัม เพื่อให้ได้สมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุดในการทำนายองค์ประกอบทางเคมีแต่ละค่า โดยจะพิจารณาจากสมการที่มีค่า SEC และ SECV ต่ำ ค่า r^2 และ 1-VR มีค่าเข้าใกล้ 1 (Guo *et al*, 2021) พบว่า สเปกตรัมของตัวอย่างเปลือกสับประดป่นและเปลือกสับประดแผ่นที่ไม่มีการปรับแต่ง มีลักษณะสเปกตรัมเป็นพีกกว้าง (Broad peak) และมีการเลื่อนตัวของสเปกตรัม แสดงดัง Figure 1A และ 2A เมื่อปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ สามารถช่วยลดสัญญาณรบกวน ลดการกระเจิงของแสงและลดความโค้งของแต่ละสเปกตรัมได้ ดังแสดง Figure 1B 1C 2B และ 2C ตามลำดับ โดยการใช้วิธี SNV และ Detrend ร่วมกับการใช้ 1st derivative และ 2nd derivative ที่อยู่ในรูปของ derivative, gap, smoothing, second smoothing



(A) Original spectrum

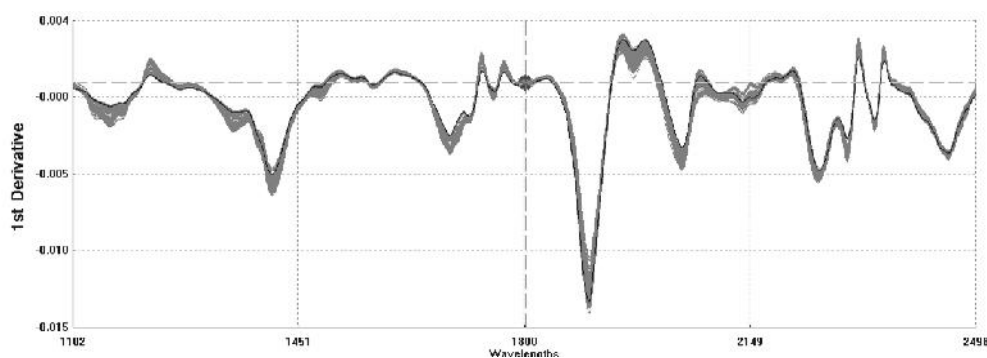
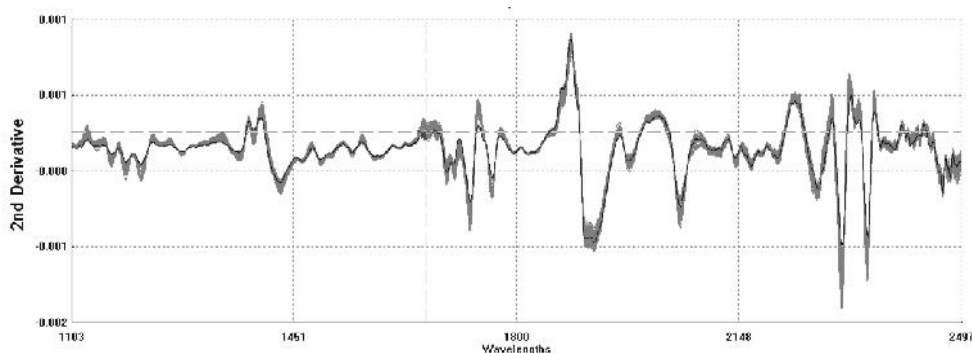
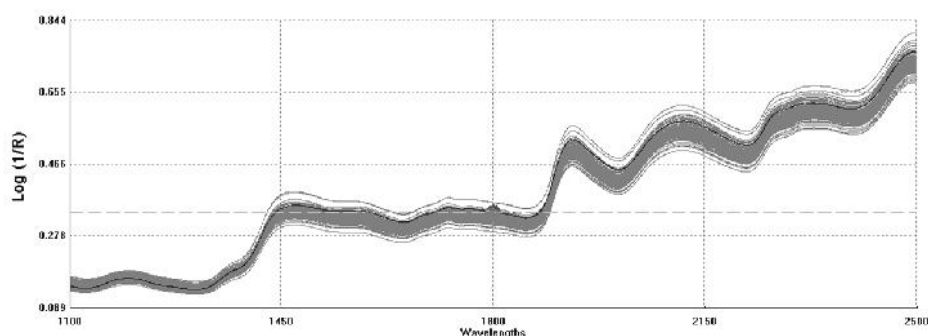
(B) 1st derivative spectrum(C) 2nd derivative spectrum

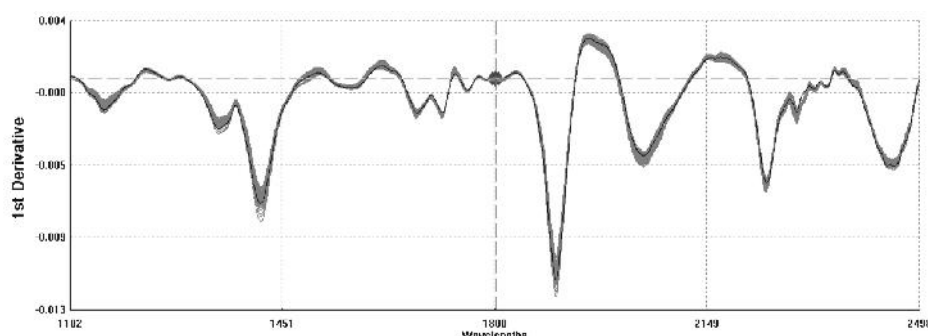
Figure 1 The spectra of Pineapple peel's fine residue. from Near Infrared spectrometer at wavelength region of 1,100-2,500 nm (A) Original spectrum (B) 1st derivative spectrum and (C) 2nd derivative spectrum.

การใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ SNV-Detrend ร่วมกับ math treatment สามารถช่วยลดอิทธิพลของการกระเจิงแสงและผลกระทบแบบคูณได้ โดยใช้ derivative ที่อยู่ในรูปของ derivative, gap, smoothing, second smoothing ซึ่ง 1st derivative ของสเปกตรัมจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น (การเลื่อนตัวของสเปกตรัมตามแนวแกน Y) ผลกระทบแบบคูณ (multiplicative effect) อันเกิดจากขนาดอนุภาคของตัวอย่างที่แตกต่างกัน อนุภาคขนาดใหญ่จะเปลี่ยนทิศทางการเดินทางของแสงลงไปในตัวอย่งได้น้อยกว่าอนุภาคขนาดเล็กซึ่งแสงเดินทางเข้าไปในตัวอย่งได้ระยะทางมากกว่าก่อนที่จะสะท้อนกลับ

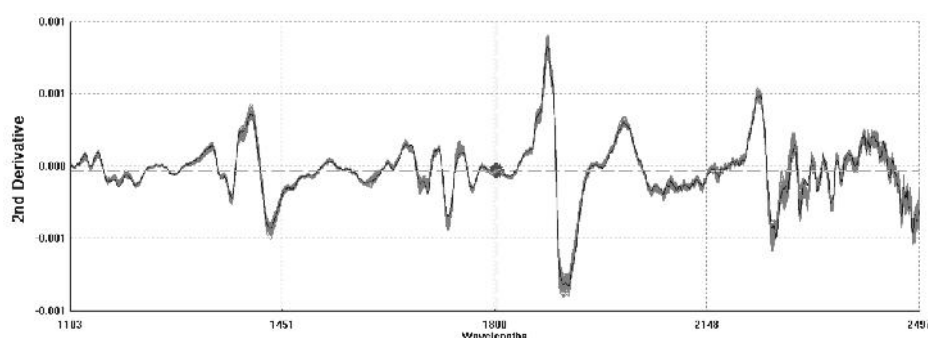
ออกมาทำให้ถูกดูดกลืนมากกว่า ขณะที่ 2nd derivative ของสเปกตรัม จะทำให้เกิดการแยกของจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันอยู่ได้ชัดเจนขึ้น ส่วน gap และ smoothing จะช่วยปรับสเปกตรัมที่มีลักษณะเป็นยอดแหลมเล็กกระจายให้เรียบขึ้น (อนุพันธ์, 2548)



(A) Original spectrum



(B) 1st derivative spectrum



(C) 2nd derivative spectrum

Figure 2 The spectra of Pineapple peel's sheet residue. from Near Infrared spectrometer at wavelength region of 1,100-2,500 nm (A) Original spectrum (B) 1st derivative spectrum and (C) 2nd derivative spectrum.

การสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับเปลือกสับประดป่นจะใช้ MPLS จำนวน 3 รายการ ได้แก่ EE Ash และ ADL และใช้ PLS จำนวน 4 รายการ ได้แก่ DM CP NDF และ ADF ข้อมูลของสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับประดป่น แสดงใน Table 4 ซึ่งพบว่า สมการที่ถูกคัดเลือกตามเกณฑ์การคัดเลือกสมการเทียบมาตรฐาน

จะเลือก r^2 ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 ที่สุด มีค่า SECV ต่ำสุด และมีค่า SEC SECV และ SELใกล้เคียงกัน พบว่าสมการเทียบมาตรฐานที่ถูกคัดเลือก มีค่า r^2 อยู่ในช่วง 0.40 - 0.99 และเมื่อทดสอบความถูกต้องของสมการเทียบมาตรฐานตามเกณฑ์ $SEP < 2SEL$, $Bias < 0.55SEC$, $SEP(C) < 1.29SEC$ และ $Slope \sim 1$ พบว่า มีค่า r^2 อยู่ในช่วง 0.37-0.99 ส่วนการสร้างสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับประดแผ่นมีการใช้ MPLS จำนวน 6 รายการ ได้แก่ DM CP EE Ash NDF และ ADL และใช้ PLS จำนวน 1 รายการ คือ ADF จากข้อมูลของสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับประดแผ่น ใน Table 4 ใช้เกณฑ์พิจารณาการคัดเลือกสมการเทียบมาตรฐานและการทดสอบความถูกต้องของการเทียบมาตรฐานในทำนองเดียวกันกับเปลือกสับประดป่นพบว่าสมการเทียบมาตรฐานที่ถูกคัดเลือกมีค่า r^2 อยู่ในช่วง 0.74 - 0.93 และ 0.71 - 0.96 ตามลำดับ

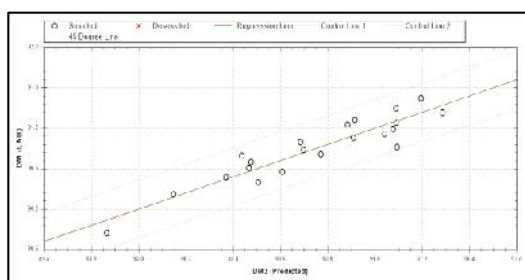
Table 4 Statistical analysis of Calibration set and Validation set

Parameter		Treatment			PLS factors	Calibration set				Validation set				
						N	r ²	SEC	SECV	N	r ²	SEP	Bias	RPD
เปลือกสับประดป่น														
DM, %	PLS	SNV-detrend	1,5,5,1	9	91	0.93	0.11	0.17	20	0.92	0.11	-0.01	3.67	
CP, %	PLS	SNV-detrend	2,10,10,1	8	93	0.98	0.03	0.08	21	0.91	0.07	0.00	3.48	
EE, %	MPLS	None	1,8,4,1	9	93	0.87	0.04	0.06	19	0.83	0.04	-0.01	2.39	
Ash, %	MPLS	None	1,10,10,1	9	95	0.99	0.05	0.08	20	0.99	0.05	0.00	9.89	
NDF, %	PLS	None	2,5,5,1	7	94	0.93	0.35	0.82	20	0.82	0.48	0.00	2.40	
ADF, %	PLS	SNV-detrend	2,8,4,1	2	93	0.40	0.64	0.74	21	0.37	0.64	0.00	1.29	
ADL, %	MPLS	SNV-detrend	1,4,4,1	4	96	0.40	0.79	0.86	21	0.38	0.80	0.01	1.30	
เปลือกสับประดแผ่น														
DM, %	MPLS	SNV-detrend	2,8,8,1	4	90	0.93	0.38	0.45	20	0.82	0.55	-0.01	2.43	
CP, %	MPLS	SNV-detrend	2,8,4,1	6	89	0.93	0.12	0.21	20	0.78	0.21	-0.01	2.20	
EE, %	MPLS	NONE	2,10,10,1	7	92	0.84	0.05	0.08	20	0.96	0.03	-0.01	5.12	
Ash, %	MPLS	SNV-detrend	2,5,5,1	4	79	0.77	0.17	0.25	20	0.82	0.15	0.01	2.42	
NDF, %	MPLS	SNV-detrend	2,8,4,1	3	87	0.91	0.71	0.81	20	0.91	0.79	-0.33	3.06	
ADF, %	PLS	NONE	1,8,8,1	5	88	0.87	0.58	0.64	21	0.85	0.63	0.03	2.62	
ADL, %	MPLS	SNV-detrend	2,4,4,1	3	91	0.74	0.45	0.52	20	0.71	0.45	0.02	1.89	

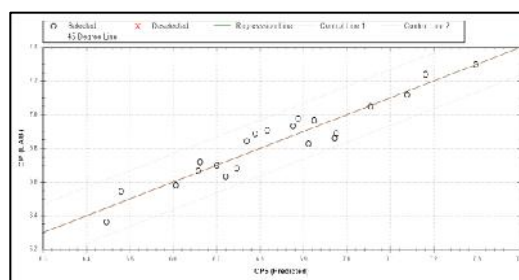
N, Number of sample; r^2 , coefficient of determination; SEC, standard error of calibration; SECV, standard error of cross validation; SEP, Standard Error Prediction; RPD, ratio of performance to deviation ; DM, Dry matter; CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, Neutral detergent fiber, ADF; Acid detergent fiber, ADL; Acid detergent lignin.

เมื่อพิจารณาระดับคุณภาพของสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับประดป่นจากค่า RPD ใน Table 4 ตามเกณฑ์การพิจารณาของ Williams et al. (2019) พบว่า สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า Ash มีค่า RPD เท่ากับ 9.89 ($RPD > 4.1$) เป็นจัดเป็นสมการที่ยอดเยี่ยมสามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพ ควบคุมกระบวนการ

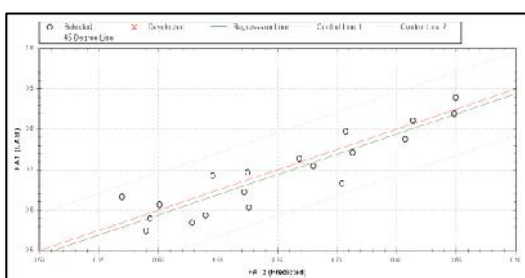
ได้ในทุกงาน สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า DM และ CP มีค่า RPD เท่ากับ 3.67 และ 3.48 ตามลำดับ ($3.5 < \text{RPD} < 4.0$) เป็นสมการระดับปานกลาง สามารถใช้ทำนายในการคัดเลือกหรือแบ่งระดับปริมาณ สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า EE และ NDF มีค่า RPD เท่ากับ 2.39 และ 2.40 ตามลำดับ ($2.0 < \text{RPD} < 2.4$) สมการอยู่ในระดับไม่สามารถนำไปใช้ทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีได้เบื้องต้นเท่านั้น ขณะที่สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า ADF และ ADL มีค่า RPD เท่ากับ 1.29 และ 1.30 ตามลำดับ ($0.0 < \text{RPD} < 1.9$) ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับแย่มาก ไม่แนะนำให้ใช้งานสอดคล้องกับ Figure 3 พบว่า ข้อมูลส่วนใหญ่กระจายอยู่รอบเส้นทแยงมุม ซึ่งเป็นเส้นที่บ่งบอกว่าค่าที่ได้จากสมการเทียบมาตรฐานกับค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงมาตรฐานมีค่าเท่ากัน ดังนั้น ค่าที่ทำนายได้จากสมการเทียบมาตรฐานของ DM CP EE Ash และ NDF มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง ในขณะที่ ADF และ ADL ค่าทำนายที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงมาตรฐานมากกว่าองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เนื่องจากมีค่ากระจายค่อนข้างห่างจากเส้นทแยงมุมหลายค่า ดังแสดงใน Figure 3F และ 3G



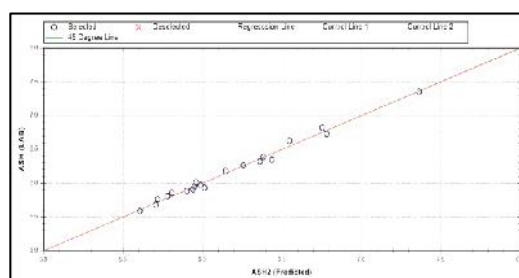
(A) DM



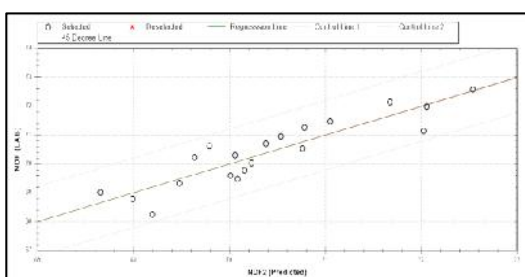
(B) CP



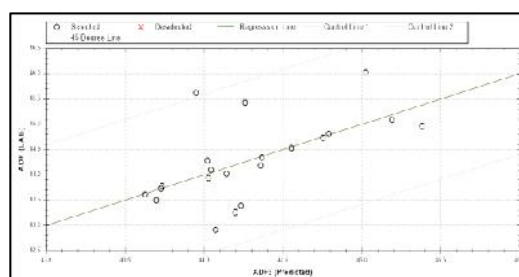
(C) EE



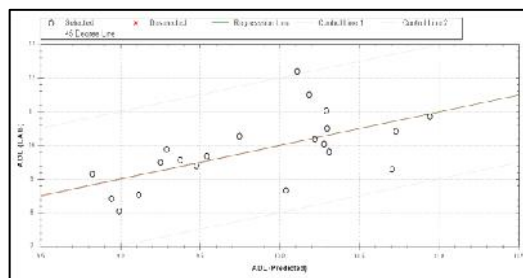
(D) Ash



(E) NDF



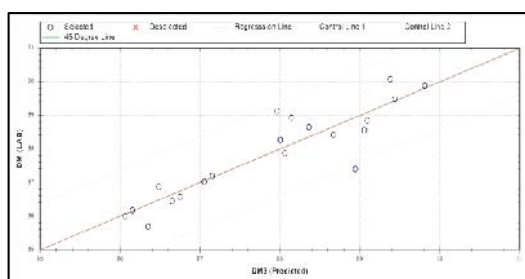
(F) ADF



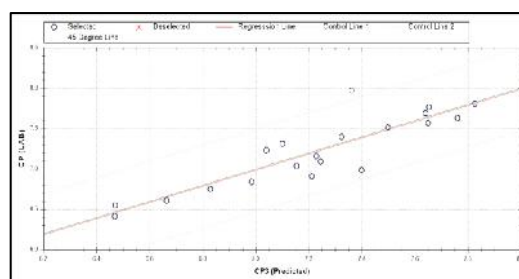
(G) ADL

Figure 3 Relationship between actual and predicted of chemical composition of Pineapple peel's fine residue.

ส่วนการพิจารณาระดับคุณภาพของสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับประดแผ่นจากค่า RPD ใน Table 4 ตามเกณฑ์การพิจารณาของ Williams et al. (2019) พบว่าสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า EE มีค่า RPD เท่ากับ 5.12 ($RPD > 4.1$) จัดเป็นสมการที่ยอดเยี่ยมสามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพ ควบคุมกระบวนการได้ในทุกงาน สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า NDF มีค่า RPD เท่ากับ 3.06 ($3.0 < RPD < 3.4$) เป็นสมการที่อยู่ในระดับดี สามารถใช้ในการควบคุมคุณภาพได้ สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า ADF มีค่า RPD เท่ากับ 2.62 ($2.5 < RPD < 2.9$) เป็นสมการที่อยู่ในระดับปานกลาง สามารถใช้ทำนายในการคัดเลือกหรือแบ่งระดับปริมาณสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า DM CP และ Ash มีค่า RPD เท่ากับ 2.43 2.20 และ 2.42 ตามลำดับ ($2.0 < RPD < 2.4$) เป็นสมการที่อยู่ในระดับไม่ดี สามารถนำไปใช้ทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีได้เบื้องต้นเท่านั้น ส่วนสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า ADL มีค่า RPD เท่ากับ 1.89 ($0.0 < RPD < 1.9$) เป็นสมการที่อยู่ในระดับแย่มาก ไม่แนะนำให้ใช้งาน สอดคล้องกับ Figure 4 การกระจายตัวของข้อมูลรอบเส้นทแยงมุมมีลักษณะในทำนองเดียวกันกับเปลือกสับประดป่น พบว่า ค่าที่ทำนายได้จากสมการเทียบมาตรฐานของ DM CP EE Ash NDF และ ADF มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง ในขณะที่ ADL ค่าทำนายที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงมาตรฐานมากกว่าองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ จะเห็นได้จากการกระจายค่อนข้างห่างจากเส้นทแยงมุมหลายจุด ดังแสดงใน Figure 4G



(A) DM



(B) CP

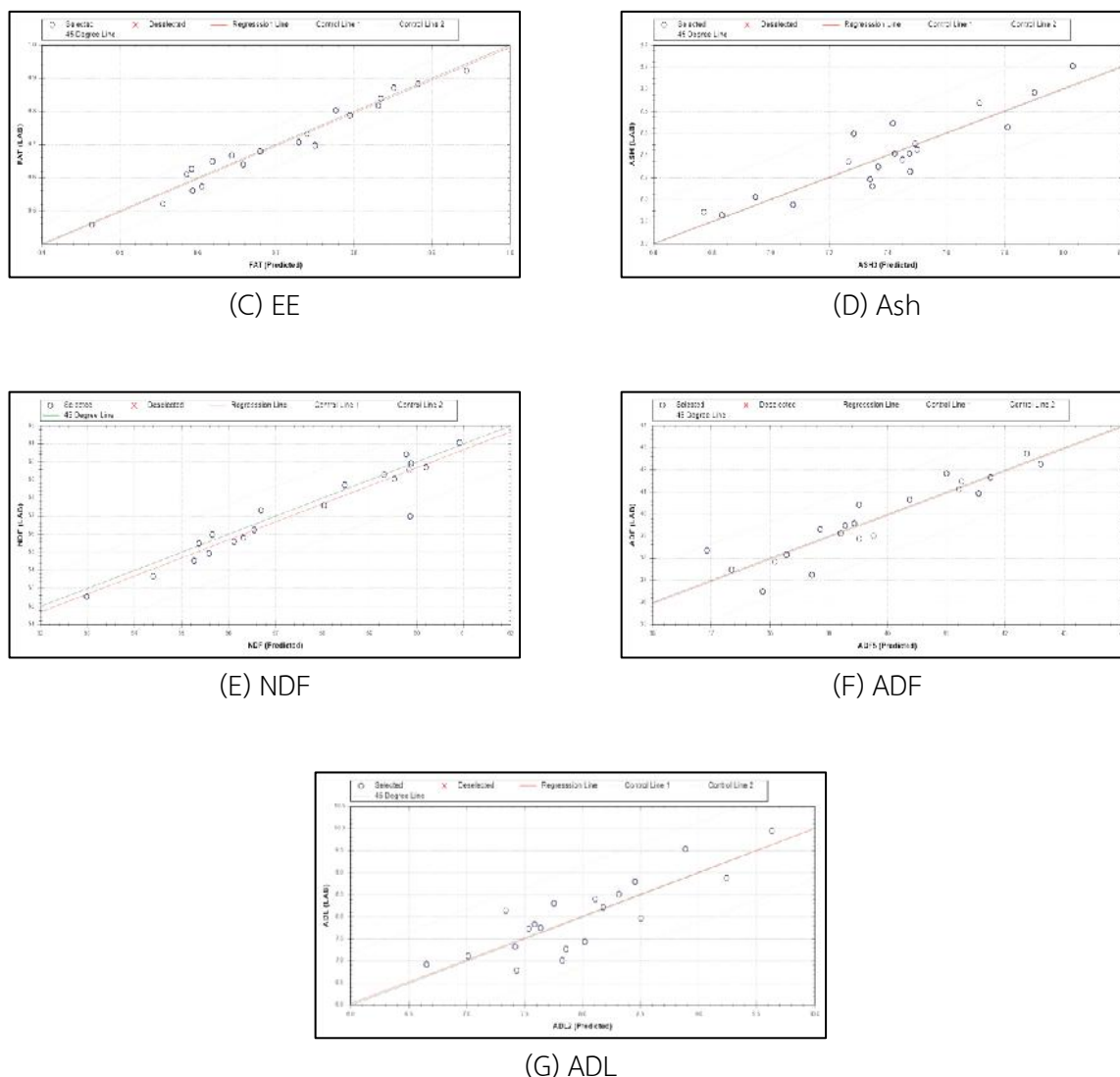


Figure 4 Relationship between actual and predicted of chemical composition of Pineapple peel's sheet residue.

ประเมินศักยภาพของสมการเทียบมาตรฐานด้วยมาตรฐาน ISO 12099:2017

ประเมินศักยภาพของสมการเทียบมาตรฐานที่ได้และผ่านการทดสอบความถูกต้องของสมการ ด้วยมาตรฐาน ISO 12099 : 2017 โดยจะทำการประเมินค่าทางสถิติ 3 ค่า คือ ค่า Bias SEP และ Slope แสดงใน Table 5 พบว่าทุกองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับประดป่นและเปลือกสับประดแผ่น มีค่า Bias น้อยกว่าค่า T_b ซึ่งแสดงว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการทำนายไม่นับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($P>0.05$) หมายถึง ค่าจากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIRS ไม่แตกต่างกัน

Table 5 Statistics performance measurement of developed calibration equation for chemical composition according to ISO 12099:2017

Parameter	Bias			SEP			Slope			
	Calculated value	Criterion (T_b)	Result	Calculated value	Criterion (T_{UE})	Result	Observed value (t_{obs})	Calculated value	Criterion ($t_{(1-\alpha/2)}$)	Result
เปลือกสับปรดป่น										
DM, %	-0.01	0.05	Pass	0.11	0.15	Pass	-0.06	0.99	2.09	Pass
CP, %	0.00	0.03	Pass	0.07	<u>0.10</u>	Pass	0.02	1.00	2.08	Pass
EE, %	-0.01	0.02	Pass	0.04	0.05	Pass	0.01	1.01	2.10	Pass
Ash, %	0.00	0.02	Pass	0.05	0.07	Pass	0.01	1.00	2.09	Pass
NDF, %	0.00	0.23	Pass	0.48	1.07	Pass	-0.06	0.99	2.09	Pass
ADF, %	0.00	0.29	Pass	0.64	0.83	Pass	0.00	1.00	2.09	Pass
ADL, %	0.01	0.36	Pass	0.80	1.02	Pass	-0.12	0.96	2.09	Pass
เปลือกสับปรดแผ่น										
DM, %	-0.01	0.26	Pass	0.55	<u>0.59</u>	Pass	-0.02	1.00	2.09	Pass
CP, %	-0.01	0.03	Pass	0.21	<u>0.27</u>	Pass	0.00	1.00	2.09	Pass
EE, %	-0.01	0.01	Pass	0.03	0.06	Pass	-0.03	0.99	2.09	Pass
Ash, %	0.01	0.07	Pass	0.15	0.22	Pass	0.02	1.00	2.09	Pass
NDF, %	-0.33	0.37	Pass	0.79	0.93	Pass	-0.02	1.00	2.09	Pass
ADF, %	0.03	0.28	Pass	0.63	0.76	Pass	0.00	1.00	2.09	Pass
ADL, %	0.02	0.21	Pass	0.45	0.58	Pass	0.06	0.99	2.09	Pass

ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ คำนวณโดยค่า SECV

T_b , The calculation of the bias confidence limits; SEP, standard error of prediction; T_{UE} , The unexplained error confidence limits; t_{obs} , The observed t value; $t_{(1-\alpha/2)}$, : The t-value obtained from table t-distribution for a probability of $\alpha = 0.05$; DM, Dry matter; CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, Neutral detergent fiber, ADF; Acid detergent fiber, ADL; Acid detergent lignin.

เมื่อประเมินค่า SEP ตามเกณฑ์การพิจารณาถ้า SEP น้อยกว่า T_{UE} แสดงว่า ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการมีค่าน้อยเพียงพอ หรือสมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง พบว่าค่า SEP ของเปลือกสับปรดป่น ทุกองค์ประกอบทางเคมี ใช้ค่า SEC ในการคำนวณ ยกเว้น CP ที่ต้องคำนวณด้วยค่า SECV ซึ่ง รณฤทธิ์ (2560) กล่าวว่าสามารถใช้ค่า SECV คำนวณแทน SEC ได้ ซึ่งเป็นค่าทางสถิติดีกว่า SEC เนื่องจากมีบ่อยครั้งที่ค่า SEC มีค่าดีเกินไป หรือ $S_{SECV} > S_{SEC}$ และประเมินค่า SEP ของเปลือกสับปรดแผ่น ทุกองค์ประกอบทางเคมี ใช้ค่า SEC ในการคำนวณ ยกเว้น DM และ CP ต้องคำนวณด้วยค่า SECV ในทำนองเดียวกันกับเปลือกสับปรดป่น และประเมินค่า slope หรือค่าความสัมพันธ์ของค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนาย

ของเปลือกสับประรดปั่นและเปลือกสับประรดแผ่น ซึ่งจะใช้ค่า t_{obs} ในการประเมิน slope พบว่า สมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับประรดทั้ง 2 ชนิดมีค่า t_{obs} น้อยกว่า $t_{(1-\alpha/2)}$ แสดงว่าความชันของกราฟการกระจายตัวระหว่างค่าทางเคมีและค่าทำนายจากสมการเทียบมาตรฐาน ไม่แตกต่างจาก 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการที่ค่า RPD ของ ADF และ ADL มีค่าต่ำ ไม่เหมาะในการนำไปใช้งาน เมื่อพิจารณากระบวนการที่ได้มาของเปลือกสับประรดปั่น คือการนำเปลือกสับประรดแผ่นจากการผลิตสับประรดกระป๋องมาเข้าเครื่องบด และผลวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมี มีพิสัยต่างกันจึงได้นำข้อมูลผลวิเคราะห์และสเปกตรัมของเปลือกสับประรดปั่นและเปลือกสับประรดแผ่นมารวมกัน เพื่อเพิ่มพิสัยของข้อมูลให้กว้างขึ้น แล้วสร้างสมการใหม่ ทำให้มีจำนวนตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็น 218 ตัวอย่าง มีค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่า SD และค่า SEL ของแต่ละรายการดังแสดงใน Table 6

Table 6. Total sample, nutritive value and standard error of Pineapple peel's mixed residue.

Parameter	N	Minimum	Maximum	Average	±SD	SEL
DM, %	218	84.64	92.32	89.40	1.90	1.38
CP, %	218	6.33	7.93	6.99	0.37	0.26
EE, %	208	0.49	0.97	0.69	0.11	0.08
Ash, %	212	5.59	8.05	6.68	0.69	0.32
NDF, %	225	49.31	73.93	64.00	7.10	1.54
ADF, %	215	36.76	46.73	42.03	2.56	0.45
ADL, %	212	6.54	12.06	8.95	1.30	0.24

N, Number of samples; SD, Standard deviation; SEL, Standard error of laboratory; DM, Dry matter; CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, Neutral detergent fiber; ADF, Acid detergent fiber; ADL, Acid detergent lignin.

ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับประรดรวม พบว่า CP Ash ADF และ NDF สอดคล้องกับรายงานของ Suchart et al., (2011) ซึ่งรายงานค่าเฉลี่ย CP Ash ADF และ NDF ของเปลือกสับประรดที่ได้จากโรงงานผลิตสับประรดกระป๋อง เท่ากับ 6.04 7.00 61.10 และ 40.40 ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าเฉลี่ย Ash สอดคล้องกับรายงานของพีระวัฒน์ และคณะ (2544) ด้วย และค่าเฉลี่ย EE ที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานของวลัยกานต์ และคณะ (2559) คือ 0.9 และเมื่อพิจารณาค่า SEL การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับประรดรวม พบว่าอยู่ในช่วง 0.08 - 1.54 ถือว่ามีค่าต่ำ แสดงว่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีความคลาดเคลื่อนน้อย

การสร้างสมการและการทดสอบความถูกต้องของสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับประรดรวม

ใช้สเปกตรัมของเปลือกสับประรดปั่นและเปลือกสับประรดแผ่นในช่วงความยาวคลื่น 1,100-2,500 นาโนเมตร โดยใช้วิธีการวัดแบบสะท้อนกลับ (Reflectance) มารวมกันในการสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำให้มีจำนวนตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น จากนั้นแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Calibration set และ Validation set

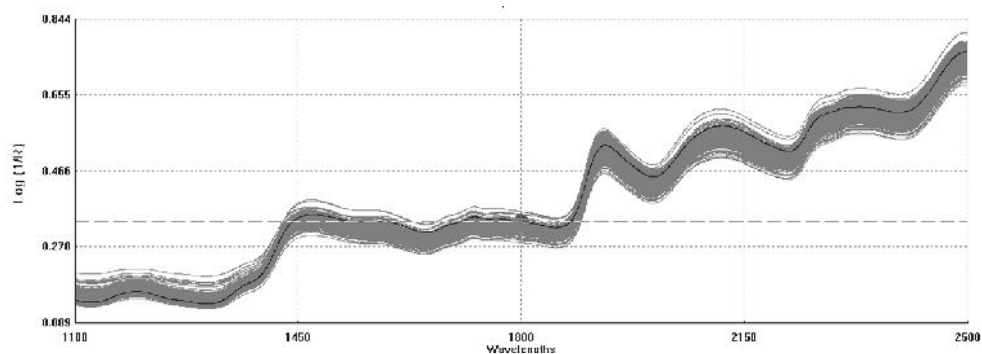
ใช้สัดส่วนการเลือกตัวอย่างแบบเว้นช่วงตัวอย่างตามที่กำหนดคือกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นและจำนวนตัวอย่างที่ต้องการเว้นช่วงเพื่อแบ่งกลุ่ม ซึ่งใช้แบบเว้นช่วง 2:4 สำหรับสร้างสมการเทียบมาตรฐานค่าองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับประดรวม DM CP Ash NDF ADF และ ADL และใช้การเว้นช่วงแบบ 1:5 สำหรับ EE เมื่อนำกลุ่ม Calibration set มาสร้างสมการเทียบมาตรฐานโดยใช้หลักการ Principal Component Analysis (PCA) และใช้หลักการคำนวณค่ามหาโนบิส (Mahalanobis distance) เพื่อตัดตัวอย่างที่มีค่าอยู่นอกกลุ่มออก ดังนั้น ทำให้เหลือตัวอย่างสำหรับกลุ่ม Calibration set ค่าองค์ประกอบทางเคมีต่ำสุด-สูงสุดของกลุ่ม Calibration set และ Validation set ดังแสดงใน Table 7 จะเห็นว่าข้อมูลขององค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับประดรวมแต่ละค่าในตัวอย่างกลุ่ม Calibration set ครอบคลุมค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของตัวอย่างกลุ่ม Validation set

Table 7 Number of sample and nutritive value of calibration set and validation set of Pineapple peel's mixed residue.

Parameter	Calibration set					Validation set				
	N	Min.	Max.	Mean	SD	N	Min.	Max.	Mean	SD
DM, %	160	84.64	92.26	89.37	1.91	45	85.92	91.37	89.61	1.78
CP, %	158	6.36	7.90	6.99	0.36	47	6.49	7.81	6.95	0.34
EE, %	154	0.49	0.97	0.69	0.11	42	0.53	0.97	0.69	0.11
Ash, %	159	5.59	8.05	6.67	0.69	40	5.63	8.01	6.61	0.69
NDF, %	164	49.31	74.84	63.95	7.14	48	52.44	72.64	64.10	7.29
ADF, %	159	36.80	46.73	42.00	2.55	46	37.23	46.02	42.15	2.54
ADL, %	156	6.54	11.59	8.97	1.26	43	6.83	11.57	8.94	1.30

N, Number of sample; Min, Minimum; Max, Maximum; SD, Standard deviation; DM, Dry matter; CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, Neutral detergent fiber; ADF, Acid detergent fiber; ADL, Acid detergent lignin.

จากนั้นนำตัวอย่างกลุ่ม Calibration set มาสร้างสมการเทียบมาตรฐานโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป WINISI IV ร่วมกับการใช้หลักการทางสถิติ PLS regression แบบ Full Cross validation และ MPLS แบบปรับแต่งและไม่ปรับแต่งสเปกตรัม เพื่อให้ได้สมการที่ดีที่สุดในการทำนายองค์ประกอบทางเคมีแต่ละค่า โดยใช้หลักการพิจารณาเช่นเดียวกับการสร้างสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับประดป่นและเปลือกสับประดแผ่นพบว่า สเปกตรัมของตัวอย่างเปลือกสับประดรวมที่ไม่มีการปรับแต่ง มีลักษณะสเปกตรัมเป็นพีกกว้าง (Broad peak) และเมื่อทำการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ โดยการใช้วิธี SNV และ Detrend ร่วมกับการใช้ 1st derivative และ 2nd derivative ที่อยู่ในรูปของ derivative, gap, smoothing, second smoothing ทำให้สามารถลดสัญญาณรบกวน ลดการกระเจิงของแสงและลดความโค้งของแต่ละสเปกตรัมได้ ในลักษณะเดียวกันกับสเปกตรัมของเปลือกสับประดป่นและเปลือกสับประดแผ่น ดังแสดงใน Figure 5



(A) Original spectrum

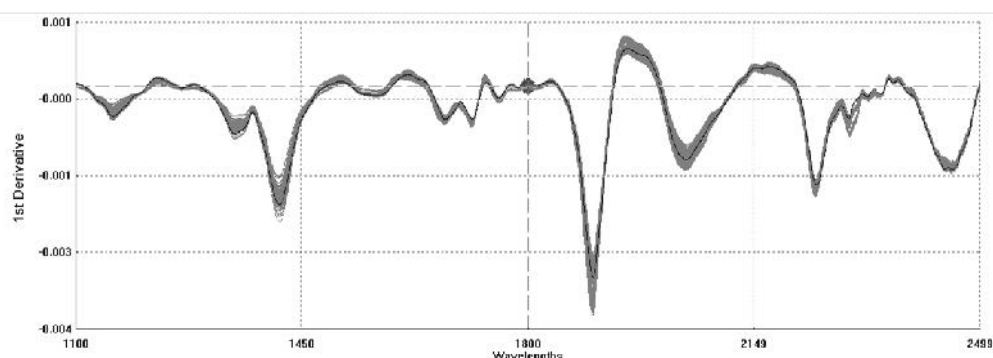
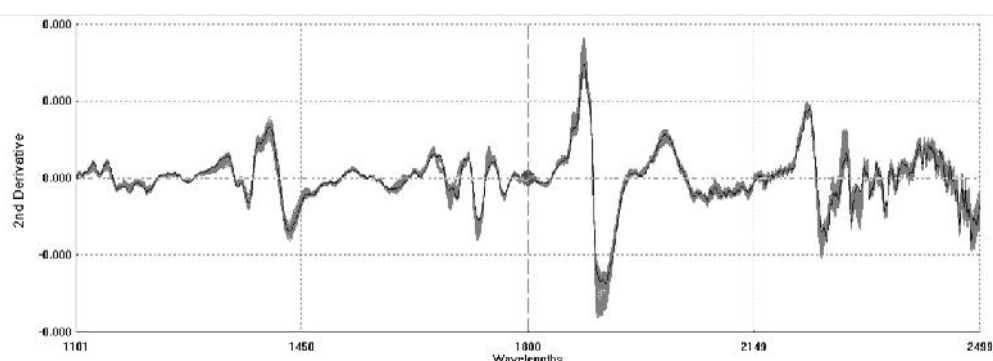
(B) 1st derivative spectrum(C) 2nd derivative spectrum

Figure 5 The spectra of Pineapple peel's mixed residue from Near Infrared spectrometer at wavelength region of 1,100-2,500 nm (A) Original spectrum (B) 1st derivative spectrum and (C) 2nd derivative spectrum.

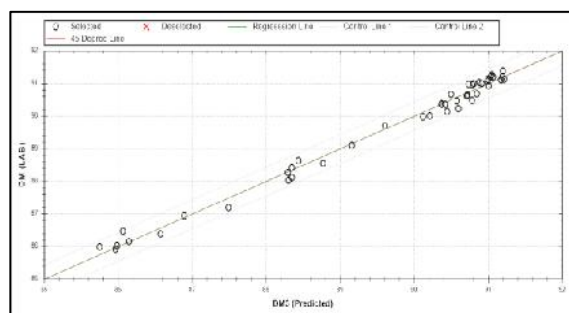
การสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับเปลือกสับปรดรวมจะใช้ MPLS จำนวน 6 รายการ ได้แก่ CP EE Ash NDF ADF และ ADL และใช้ PLS จำนวน 1 รายการ ได้แก่ DM ข้อมูลของสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับปรดรวม แสดงใน Table 8 ซึ่งเกณฑ์การคัดเลือกสมการเทียบมาตรฐานใช้หลักการเดียวกันกับสมการเทียบมาตรฐานเปลือกสับปรดป่นและเปลือกสับปรดแผ่น พบว่าสมการเทียบมาตรฐานที่ถูกคัดเลือก มีค่า r^2 อยู่ในช่วง 0.80 - 0.99 และเมื่อทดสอบความถูกต้องของสมการเทียบมาตรฐาน-พบว่า มีค่า r^2 อยู่ในช่วง 0.79- 0.99

Table 8 Statistical analysis of Calibration set and Validation set of Pineapple peel's mixed

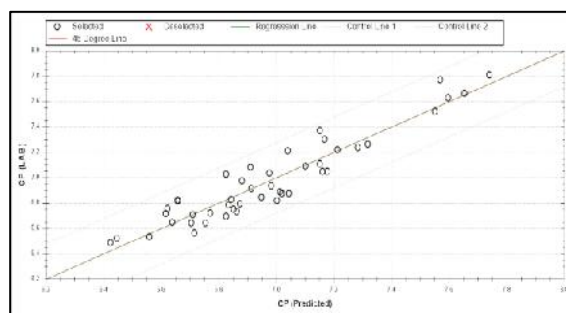
Parameter	Treatment			PLS factors	Calibration set				Validation set				
					N	r ²	SEC	SECV	N	r ²	SEP	Bias	RPD
DM, %	PLS	SNV-detrend	1,10,10,1	7	160	0.99	0.23	0.25	45	0.99	0.18	-0.01	10.04
CP, %	MPLS	SNV-detrend	1,8,4,1	6	156	0.92	0.10	0.13	45	0.89	0.11	0.00	3.01
EE, %	MPLS	SNV-detrend	2,4,4,1	6	154	0.80	0.05	0.07	42	0.79	0.05	0.00	2.20
Ash, %	MPLS	NONE	2,10,10,1	9	159	0.98	0.10	0.15	40	0.99	0.08	-0.01	8.51
NDF, %	MPLS	SNV-detrend	1,8,4,1	8	164	0.99	0.77	0.86	48	0.99	0.65	0.03	11.30
ADF, %	MPLS	SNV-detrend	2,4,4,1	5	159	0.96	0.50	0.62	46	0.96	0.48	0.01	5.28
ADL, %	MPLS	NONE	1,8,4,1	9	156	0.84	0.50	0.57	43	0.87	0.47	-0.02	2.75

N, Number of sample; r², coefficient of determination; SEC, standard error of calibration; SECV, standard error of cross validation; SEP, Standard Error Prediction; RPD, ratio of performance to deviation ; DM, Dry matter; CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, Neutral detergent fiber, ADF; Acid detergent fiber, ADL; Acid detergent lignin.

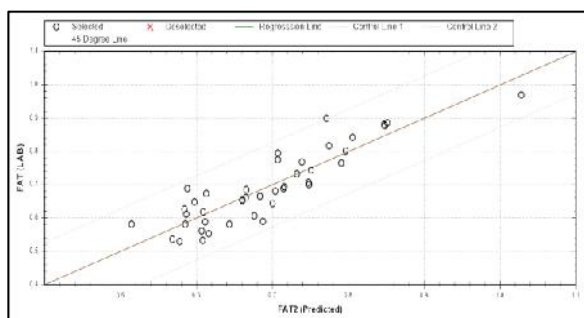
เมื่อพิจารณาระดับคุณภาพของสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับประดรวมจากค่า RPD ใน Table 8 ตามเกณฑ์การพิจารณาของ Williams et al. (2019) พบว่า สมการเทียบมาตรฐานทำนายองค์ประกอบทางเคมีทุกค่าดีขึ้นเมื่อเทียบกับสมการเทียบมาตรฐานรายชนิด โดยเฉพาะสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า ADF มีค่า RPD เท่ากับ 5.28 (RPD > 4.1) จัดเป็นสมการที่ยอดเยี่ยมสามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพ ควบคุมกระบวนการได้ในทุกงาน และสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า ADL มีค่า RPD เท่ากับ 2.75 (2.5 < RPD < 2.9) เป็นสมการที่อยู่ในระดับปานกลางสามารถใช้ในการคัดเลือกหรือแบ่งระดับปริมาณ สอดคล้องกับการกระจายตัวของข้อมูลรอบเส้นทแยงมุมใน Figure 6 ทั้งนี้อาจเนื่องจากจำนวนของข้อมูลที่เพิ่มขึ้นทำให้ช่วงของพิสัยกว้างขึ้นด้วย ส่งผลให้การกระจายตัวของข้อมูลจึงมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Agustiyani et al. (2021) ได้เปรียบเทียบสมการเทียบมาตรฐานทำนายองค์ประกอบทางเคมีของ อาหารกลุ่มเยื่อใย (Dietary fiber feed ; DFF) ระหว่างรายชนิดกับชนิดผสมโดยเทคนิค NIRS พบว่าสมการเทียบมาตรฐานรายชนิดสามารถทำนายได้เพียงค่า CP CF และ NDF เท่านั้น (RPD>2) แต่สมการเทียบมาตรฐานชนิดผสมสามารถทำนายองค์ประกอบทางเคมีได้ทุกค่า เนื่องจากจำนวนตัวอย่างและช่วงของข้อมูลที่กว้างขึ้นจึงทำให้สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น



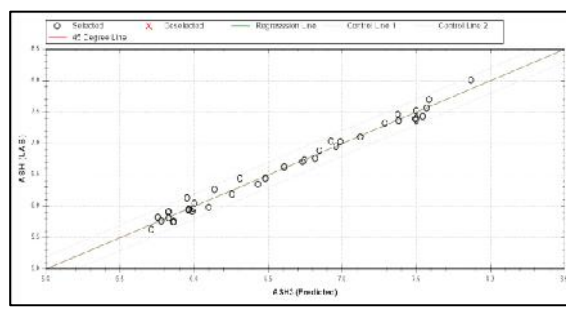
(A) DM



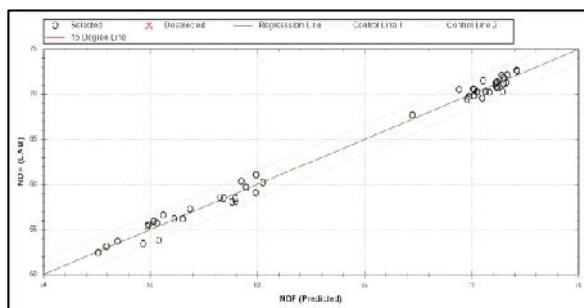
(B) CP



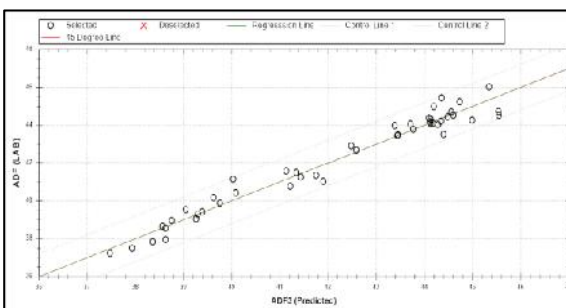
(C) EE



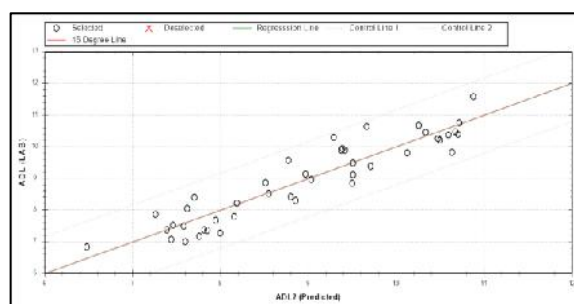
(D) Ash



(E) NDF



(F) ADF



(G) ADL

Figure 6 Relationship between actual and predicted of chemical composition of Pineapple peel's mixed residue.

ประเมินศักยภาพของสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับปรดรวมด้วยมาตรฐาน ISO 12099:2017

ประเมินศักยภาพของสมการเทียบมาตรฐานที่ได้และผ่านการทดสอบความถูกต้องของสมการ ด้วยมาตรฐาน ISO 12099 : 2017 โดยจะทำการประเมินค่าทางสถิติ 3 ค่า คือ ค่า Bias SEP และ Slope แสดงใน Table 9 พบว่าทุกองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปรดรวม มีค่า Bias น้อยกว่าค่า T_b ซึ่งแสดงว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการทำนายไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($P>0.05$) หมายถึง ค่าจากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIRS ไม่แตกต่างกัน

Table 9 Statistics performance measurement of developed calibration equation for Pineapple peel's mixed chemical composition according to ISO 12099:2017

Parameter	Bias			SEP			Slope			
	Calculated value	Criterion (T_b)	Result	Calculated value	Criterion (T_{UE})	Result	Observed value (t_{obs})	Calculated value	Criterion ($t_{(1-\alpha/2)}$)	Result
DM, %	-0.01	0.05	Pass	0.18	0.28	Pass	-0.07	1.00	2.02	Pass
CP, %	0.00	0.03	Pass	0.11	0.12	Pass	0.01	1.00	2.01	Pass
EE, %	0.00	0.02	Pass	0.05	0.05	Pass	-0.03	0.99	2.02	Pass
Ash, %	-0.01	0.03	Pass	0.05	0.07	Pass	0.11	1.00	2.02	Pass
NDF, %	0.03	0.19	Pass	0.08	0.12	Pass	-0.02	1.00	2.01	Pass
ADF, %	0.01	0.14	Pass	0.48	0.60	Pass	0.05	1.00	2.01	Pass
ADL, %	-0.02	0.15	Pass	0.47	0.61	Pass	0.02	1.00	2.01	Pass

T_b , The calculation of the bias confidence limits; SEP, standard error of prediction; T_{UE} , The unexplained error confidence limits;

t_{obs} , The observed t value; $t_{(1-\alpha/2)}$, : The t-value obtained from table t-distribution for a probability of $\alpha = 0.05$; DM, Dry matter;

CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, Neutral detergent fiber, ADF; Acid detergent fiber, ADL; Acid detergent lignin.

เมื่อประเมินค่า SEP ของสมการเทียบมาตรฐาน พบว่าค่า SEP ของสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับปรดรวมทุกองค์ประกอบทางเคมีน้อยกว่า T_{UE} แสดงว่า ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการมีค่าน้อย หรือสมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง และประเมินค่า slope หรือค่าความสัมพันธ์ของค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายของเปลือกสับปรดรวม ซึ่งจะใช้ค่า t_{obs} ในการประเมิน slope พบว่า สมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับปรดรวม มีค่า t_{obs} น้อยกว่า $t_{(1-\alpha/2)}$ แสดงว่าความชันของกราฟการกระจายตัวระหว่างค่าทางเคมีและค่าทำนายจากสมการเทียบมาตรฐาน ไม่แตกต่างจาก 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สรุปผลการทดลอง

เทคนิค Near Infrared Spectroscopy สามารถหาค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยการสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรดป่น และเปลือกสับปะรดแผ่นได้ โดยใช้ข้อมูลของสเปกตรัม ช่วงความยาวคลื่น 1,100-2,500 นาโนเมตร ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน ซึ่งสมการเทียบมาตรฐานมีระดับคุณภาพ ดังนี้

-สมการเทียบมาตรฐานเปลือกสับปะรดป่น

1. สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า Ash อยู่ในระดับยอดเยี่ยม (Excellent) สามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพ ควบคุมกระบวนการได้ในทุกงาน
2. สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า DM และ CP อยู่ในระดับปานกลาง (Fair) สามารถใช้ทำนายในการคัดเลือกหรือแบ่งระดับปริมาณ
3. สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า EE และ NDF อยู่ในระดับไม่ดี (Poor) สามารถนำไปใช้ทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีได้เบื้องต้นเท่านั้น
4. สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า ADF และ ADL อยู่ในระดับแย่ (Very poor) ไม่แนะนำให้ใช้งาน

-สมการเทียบมาตรฐานเปลือกสับปะรดแผ่น

1. สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า EE อยู่ในระดับ ยอดเยี่ยม (Excellent) สามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพ ควบคุมกระบวนการได้ในทุกงาน
2. สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า NDF อยู่ในระดับดี (Good) สามารถใช้ในการควบคุมคุณภาพได้
3. สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า ADF อยู่ในระดับปานกลาง (Fair) สามารถใช้ทำนายในการคัดเลือกหรือแบ่งระดับปริมาณ
4. สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า DM CP และ Ash อยู่ในระดับไม่ดี (Poor) สามารถนำไปใช้ทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีได้เบื้องต้นเท่านั้น
5. สมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า ADL อยู่ในระดับแย่ (Very poor) ไม่แนะนำให้ใช้งาน

เนื่องจากสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีค่า ADF และ ADL ไม่เหมาะกับการนำไปใช้งาน จึงได้รวมสเปกตรัมของเปลือกสับปะรดทั้ง 2 ชนิดเพื่อเพิ่มปริมาณของตัวอย่างและทำให้พิสัยของข้อมูลให้กว้างขึ้นแล้วนำมาสร้างสมการเทียบมาตรฐานของเปลือกสับปะรดรวม พบว่าสมการเทียบมาตรฐานสามารถใช้ทำนายองค์ประกอบทางเคมีได้ทุกค่าโดยระดับคุณภาพของสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า ADF อยู่ในระดับยอดเยี่ยม (Excellent) สามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพ ควบคุมกระบวนการได้ในทุกงาน และสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่า ADL อยู่ในระดับปานกลาง (Fair) สามารถใช้ทำนายในการคัดเลือกหรือแบ่งระดับปริมาณ

เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2563. ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศ ปี 2563. แหล่งที่มา: <http://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-ict/report/340-report-thailand-livestock/reportservey2563/1504-2563-country,3> พฤษภาคม 2564.
- คณะกรรมการความต้องการโภชนาโคณมในประเทศไทย. 2563. ความต้องการโภชนาของโคณมในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. แหล่งที่มา <https://nirsresearch.com/sites/6731/files/u/พื้นฐานเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.pdf>, 30 ตุลาคม 2565.
- จันทกานต์ อรณนันทน์ เฉลา พัทธ์สินสุข และสุรนนท์ น้อยอุทัย. 2553. การทำนายส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าแพงโกล่าด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี. รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี พ.ศ.2553 กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 309-327.
- ปานมนัส ศิริสมบุรณ์, 2564. พื้นฐานเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. ภาควิชาวิศวกรรม การเกษตร.
- พีระวัฒน์ ณ มณี เสาวนิต คูประเสริฐ และวันวิศาข์ งามผ่องใส. การใช้เศษเหลือของสับปะรดเป็นอาหารหยาบของแพะ. 2554. แก่นเกษตร 39 : 399-412.
- รณฤทธิ์ ฤทธิธิน. 2560. การสร้างระบบสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ตามมาตรฐานสากล. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- วลัยกานต์ เจียมเจตจรรุญ สุวรรณิ เกศกมลასน์ และสดุดี พงษ์เพียจันทร์. การรวบรวมและจัดทำข้อมูลด้านคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์. 2559
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2562. สับปะรดโรงงาน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่แยกตามอายุรายจังหวัด ปี 2562 แหล่งที่มา <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/old%20pinepple%20062.pdf>, 15 พฤศจิกายน 2565.
- อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล. 2548. การปรับแต่ง NIR Spectrum ก่อนการวิเคราะห์. เอกสารประกอบการฝึกอบรม “การตรวจคุณภาพอาหารสัตว์ด้วยเทคนิค NIR Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก” ระหว่างวันที่ 19-23 ธันวาคม 2548 จัดโดย หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยไม่ทำลาย, สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 62 – 81.
- Agustiyani, I., Despal, L A Sari, R Chandra, R Zahera, and I G Permana. 2021. Comparison between single and mixed-species NIRS databases accuracy of daily fiber feed value detection. Earth Environ. Sci. 667.
- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International 20th ed. Maryland.

- Guo, T., L. Dai, B. Yan, G. Lan, F. Li, F. Pan, and F. Wang. 2021. Measurements of Chemical Compositions in Corn Stover and Wheat Straw by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. *Animals*. 3328.
- Infrasoft International, LLC. 2005. WinISI III Manual. FOSSTecator AB. Sweden. 192 p.
- ISO. 2002. International Standard (ISO 5984:2002 (E)). 2nd Edit. Animal feeding stuffs – Determination of crude ash.
- ISO. 2015. International Standard (ISO 11085:2015). 2nd Edit. Cereals, cereals-based products and animal feeding stuffs - Determination of crude fat and total fat content by the Randall extraction method.
- ISO. 2017. International Standard (ISO 12099:2017(E)) 2nd Edit. Animal feeding stuffs, Cereals and milled cereal products-Guidelines for the application of near infrared spectrometry. International Organization for Standardization. All rights reserved. Geneva.
- Sithiporn Associates Company. 2017. WINISI 4, Training Manual. 80 p.
- Suchart Suksathit, Chalong Wachirapakorn, and Yanin Opatpatanakit., 2011. Effects of levels of ensiled pineapple waste and pangola hay fed as roughage sources on feed intake, nutrient digestibility and ruminal fermentation of Southern Thai native cattle. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 33 (3), 281-289.
- Williams, P., J. Antoniszyn, and M. Manley. 2019. Near Infrared Technology: Getting the best out of light. 1st edition. African Sun Media under the Sun Press imprint, Las Vegas. 301p.