



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ: การตรวจวัดคุณภาพภายในสัปดาห์โดยใช้เทคนิคการตอบสนองต่อคลื่น
เสียงการวิเคราะห์ภาพ และคุณสมบัติเชิงแสง

โดย ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์

มีนาคม 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ: การตรวจวัดคุณภาพภายในสัปดาห์โดยใช้เทคนิคการตอบสนองต่อคลื่น
เสียงการวิเคราะห์ภาพ และคุณสมบัติเชิงแสง

โดย ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์
รุ่นใหม่ ทบวงมหาวิทยาลัยและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

รหัสโครงการ MRG4680025

ชื่อโครงการ: การตรวจวัดคุณภาพภายในสับปะรดโดยใช้เทคนิคการตอบสนองต่อคลื่นเสียง

การวิเคราะห์ภาพ และคุณสมบัติเชิงแสง

ชื่อนักวิจัย นาย ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail Address : fengslp@ku.ac.th , fengslp@gmail.com

ระยะเวลาโครงการ กรกฎาคม 2546 – มิถุนายน 2547

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ประกอบด้วย ศึกษาความเป็นไปได้ในการคัดเกรดสับปะรดที่มีระดับความสุกแก่ต่าง ๆ และ เนื้อแกนด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy ศึกษาการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อภายในผลสับปะรดและ ด้วยเทคนิควิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติ วิธีทดลอง นำสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย แบ่งเป็นลักษณะเนื้อต่างกัน 3 ลักษณะ คือ เนื้อนุ่มมาก นุ่มปานกลาง และเนื้อแกน ทำการสแกนผลสับปะรดทั้งผล โดยไม่เปลือกเปลือก ด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer model Purespect ช่วงความยาวคลื่น 643.26-973.5 นาโนเมตร แล้วนำตัวอย่างไปตรวจวัดค่าความแน่นเนื้อวัดด้วยเครื่อง Instron รุ่น 5569 และนำน้ำหนักของแต่ละตัวอย่างไปหาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรด โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากการสแกน มาทำการจัดกลุ่ม ด้วยวิธีทางสถิติ Principle Component Analysis (PCA) ส่วนการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อ ใช้วิธี Partial Least Square Regression (PLSR) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าทางเคมีกับสเปกตรัมที่ได้ ใช้ข้อมูลสเปกตรัมทั้งแบบทุกช่วงความยาวคลื่น และเลือกช่วงความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับค่าทางเคมี โดยอาศัยวิธีการ Moving Window Partial Least Square (MWPLSR) การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติเพื่อการคัดแยกลักษณะความสุกแก่เนื้อของสับปะรด และ ลักษณะเนื้อที่ผิดปกติ ด้วยวิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยวิเคราะห์ Discriminant Analysis โดยแบ่งค่าตัวบ่งชี้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1.การทดลองแบบทำลายโดยการนำค่าปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และค่าความแน่นเนื้อเป็นค่าบ่งชี้ในการวิเคราะห์เนื้อของสับปะรด 4 แบบ คือ เนื้อ 1 (เนื้อสุกนุ่ม), เนื้อ 2 (สุก), เนื้อแกน (เนื้อแข็งและมีจุดสีดำ-น้ำตาล) และเนื้อดิบ (ผลยังไม่สุก) นั้นได้ผลไม่ค่อยแม่นยำได้ คือมีค่าในการจำแนกกลุ่มเท่ากับ 65 % 2. การทดลองแบบไม่ทำลายโดยการนำค่าความถี่ธรรมชาติ 4 ความถี่ที่ผ่านการ Fast Fourier transform Response แล้วแปลงค่าให้อยู่ในรูปของ Stiffness Coefficient และค่าความหนาแน่นเป็นค่าบ่งชี้ได้ผลมีความแม่นยำสูงคือมีค่าในการจำแนกกลุ่มเท่ากับ 88.3 %

คำหลัก สับปะรด คุณภาพภายใน ความถี่ธรรมชาติ ความสุกแก่ อาการแกน

Abstract

Project Code : MRG4680025

Project Title: Internal Pineapple Fruit Quality Evaluation Using Acoustic Response,
Image Processing and Optical Property Technique

Investigator: Siwalak Pathaveerat

E-mail Address : fengslp@ku.ac.th , fengslp@gmail.com

Project Period : July 2003 – Jun 2005

This research was investigated for pineapple classification into different maturity levels and marbling defect. A sample of “Pattavia” cultivar pineapples was classified into three sets of maturity levels and a set of marbling samples. Destructive parameters including soluble solids content, acidity and firmness were measured. The Near Infrared Spectrophotometer model Purespect was used to acquire the NIR spectra. The spectra were analyzed by Principle Component Analysis (PCA), Partial Least Square Regression (PLSR), and Moving Window Partial Least Square (MWPLSR) for classified the group of pineapple maturity and marbling defect. The Acoustic impulse response was carried out on each sample for nondestructive measurement as well as specific gravity determination by means of water replacement. Discriminant analysis using canonical discriminant function with leave-one-out cross validation indicated that the most accurate classification was achieved using specific gravity and three stiffness coefficients, $f^2 m^{2/3}$ (where f is the frequency at peak spectrum and m is weight) calculated from the three most distinct peaks. With specific gravity and the first two principal components extracted from three stiffness coefficients submitted to the classification, the maturity classification was more uniform in each grade and 90.0% accuracy was obtained. The stiffness coefficient, $f_3^2 m^{2/3}$ where f_3 was the third peak, was found to be the most sensitive parameter for detection of maturity and marbling defect in pineapple.

คำหลัก สับปะรด คุณภาพภายใน ความถี่ธรรมชาติ ความสุกแก่ อาการแฉก

Keywords: Pineapple, Internal quality, Natural frequency, Maturity, Marbling defect

1. บทนำ

สับปะรด เป็นผลไม้ในวงศ์ *Bromeliaceae* แหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญของไทยอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่อยู่ใกล้ทะเลได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ชลบุรี ระยอง ฉะเชิงเทรา จันทบุรี ตราด และจังหวัดต่าง ๆ ในภาคใต้ เช่น ภูเก็ต พังงา ชุมพร ในปี 2545 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกสับปะรดสดจำนวน 4,561 เมตริกตัน มูลค่า 45.27 ล้านบาท ส่งออกในรูปผลไม้แช่แข็ง ปริมาณ 2,042 เมตริกตัน มูลค่า 90 ล้านบาท และในรูปสับปะรดอัดลมกระป๋อง ปริมาณ 358,664 เมตริกตัน มูลค่า 8,707.7 ล้านบาท (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546) พันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อการแปรรูป และบริโภคสด หรือส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ คือ พันธุ์ปัตตาเวีย(นิรนาม, 2530) ซึ่งเป็นสับปะรดในกลุ่ม Cayenne รู้จักแพร่หลายในชื่อ ศรีราชา และชื่ออื่นๆ เช่น ปรานบุรี สามร้อยยอด(จักรพงษ์,) สับปะรดพันธุ์นี้ มีคุณสมบัติที่ดีในการบรรจุกระป๋อง เนื่องจาก เนื้อในสีเหลือง เนื้อนุ่ม รสหวาน โดยปกติแล้วในการเก็บเกี่ยวผลสับปะรดนั้นถ้าเป็นการเก็บเกี่ยวเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปแล้วก็จะใช้วิธีการนับอายุของผลสับปะรดเป็นสำคัญจึงทำให้สับปะรดที่เก็บเกี่ยวได้นั้นมีทั้งสับปะรดที่อยู่ในขั้นความสุกที่แตกต่างกันหลายขั้น ซึ่งส่วนมากแล้วก็อยู่ในขั้นที่โรงงานอุตสาหกรรมยอมรับได้ แต่ถ้าหากเป็นการเก็บเกี่ยวเพื่อการบริโภคผลสดนั้นลักษณะของผลสับปะรดที่เก็บเกี่ยวจะขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ซื้อเป็นหลักเป็นหลัก ส่วนมากจะพิจารณาจากลักษณะภายนอกโดยดูได้จากสีผิวและอาจใช้ไม้หรือใช้นิ้วกดที่ผลสับปะรดเพื่อฟังเสียงสะท้อนของผลสับปะรดเป็นรายละเอียด โดยผู้ที่มีความชำนาญสามารถที่จะเลือกสับปะรดที่มีลักษณะที่ดีได้ค่อนข้างที่จะถูกต้อง แต่จะได้ปริมาณที่ค่อนข้างน้อย และยังมีการตรวจหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ เป็นองค์ประกอบไปด้วย ดังนั้นถ้าสามารถตรวจวัดค่าต่างๆเหล่านี้ โดยวิธีการที่ไม่ต้องทำลายผล และทำได้อย่างรวดเร็ว ก็จะเป็นสิ่งที่ดี ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) สามารถวัดความหวานและปริมาณกรดของผลไม้ได้ โดยวิธีการที่ไม่ทำลาย ก็เป็นหนึ่งวิธีที่น่าสนใจ และวิธีการวิเคราะห์ค่าความถี่ที่ได้จากการเคาะ เป็นวิธีการหนึ่งที่จะสามารถนำมาใช้กับการคัดเลือกผลสับปะรดที่ดีได้ เพราะสามารถหาความสัมพันธ์กันระหว่างความถี่ธรรมชาติกับคุณภาพภายในของผลสับปะรดแล้ว ก็จะช่วยในการคัดเลือกผลสับปะรดได้ถูกต้องและช่วยในการบ่งบอกคุณภาพของสับปะรด ได้มีการใช้เทคนิค NIR นี้ในการวัดคุณภาพในผลไม้หลากหลายชนิด เช่น วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ภายในผลพืช ซึ่งพบว่าสามารถใช้เทคนิคนี้วัดได้ผลที่ดี (Kawano, 1992) แต่ก็มีปัจจัยหลายอย่างที่จะมีผลต่อการทำนายด้วยวิธีทาง NIR (Kawano, 2004) และการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความแน่นเนื้อ และน้ำหนักแห้ง ในผลกีวี ก็ให้ผลที่ดี (McGlone, 1998) รวมถึงใช้เทคนิคนี้ในการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อในแอปเปิ้ล (Sohn, 2000) 1997 และได้มีการใช้เทคนิค

Acoustic Impulse Response เพื่อวัดความแน่นเนื้อของผลไม้ และศึกษาถึงลักษณะของช่วงความถี่ของแอปเปิ้ล (Duprat,1997) และยังได้ใช้เทคนิคนี้เพื่อ การประเมิน และสร้างแบบจำลอง (model) ความแน่นเนื้อของผลไม้เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่าง stiffness ที่ใช้ในการวัดผลไม้ (Schotte,1999) และยังได้มีการศึกษาเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค Acoustic Impulse Response ในการวัดความแน่นเนื้อ ของผลไม้ที่ไม่เป็นทรงกลม (ลูกแพร์) (De Belie,2000)

ในปัจจุบันนี้ วิธีการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Testing) ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย แต่ส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมหนักประเภทเครื่องจักรกล แต่ในความเป็นจริงนั้น การตรวจสอบโดยไม่ทำลายมิได้ใช้ในอุตสาหกรรมหนักเท่านั้น ยังสามารถใช้ในการตรวจสอบด้านอื่นอีกด้วย ซึ่งในที่นี้จะใช้ในการตรวจสอบเกี่ยวกับผลไม้คือสับปะรด ที่มีการเปลี่ยนแปลงความสุกคืบตามธรรมชาติ ปัจจุบันในอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง การคัดเลือกสับปะรดจะต้องใช้คนที่มีความเชี่ยวชาญในการคัดเลือก ดังนั้นจึงทำให้ผลที่ได้ไม่แน่นอน อีกทั้งผลของสับปะรดจะเริ่มเสื่อมคุณภาพไปเรื่อยๆ ตามระยะเวลาภายหลังการเก็บเกี่ยว ในกรณีที่สับปะรดมีปริมาณมากต้องเสียเวลาในการคัดแยก ซึ่งการเสื่อมสภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงจากเนื้อที่สดและมีสีเหลือง จะเปลี่ยนไปเป็นเนื้อที่นิ่มภายในระยะเวลา 5 วัน จึงต้องใช้กำลังคนเข้ามาช่วยในการคัดเลือกสับปะรดเป็นจำนวนมาก

วิธีการวิเคราะห์ค่าความถี่โดยเสียงที่ได้จากการเคาะ เป็นวิธีการหนึ่งที่จะสามารถนำมาใช้กับการคัดเลือกผลสับปะรดที่ดีได้ เมื่อสามารถที่จะหาความสัมพันธ์กันระหว่างความถี่ธรรมชาติกับคุณภาพภายในของผลสับปะรดแล้ว ก็จะช่วยในการคัดเลือกผลสับปะรดได้ถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น และการใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy จะสามารถทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อภายในผลสับปะรดได้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการคัดเกรดสับปะรดที่มีเนื้อแกนออกจากสับปะรดเนื้อน้ำ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

2.2 ศึกษาการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อภายในผลสับปะรดได้ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

2.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการคัดเกรดสับปะรดที่มีเนื้อแกนออกจากสับปะรดเนื้อน้ำ ด้วยเทคนิควิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติ

3. การศึกษาการคัดแยกสับปะรด และการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดและความแน่นเนื้อ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

3.1 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer model Purespect

3.1.1.2 เครื่องคั้นน้ำผลไม้

3.1.1.3 ปีกเกอร์

3.1.1.4 Digital Refractometer

3.1.1.5 ปีเปด

3.1.1.6 บิวเรตต์

3.1.1.7 ขวดรูปชมพู่

3.1.1.8 เครื่อง Instron รุ่น 5569

3.1.1.9 หัวกดแบบทรงกระบอก ปลายแบน ขนาด 10 มิลลิเมตร

3.1.1.10 อุปกรณ์วัดความถี่เสียง

3.1.1.11 โปรแกรม Visual Turbo C++

3.1.2 วิธีการทดลองด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

3.1.2.1 การสแกนผลสับปะรด

สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย จำนวน 50 ผล แบ่งเป็นลักษณะเนื้อต่างกัน 3 ลักษณะ คือ เนื้อฉ่ำมาก เนื้อปานกลาง และเนื้อแกน (ภาพที่ 1) เนื้อฉ่ำมาก และเนื้อปานกลาง อย่างละ 15 ผล และเนื้อแกน 20 ผล ทำการสแกนผลสับปะรดทั้งผล โดยไม่ปอกเปลือก ด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer model Purespect (ภาพที่ 2) ช่วงความยาวคลื่น 643.26-973.5 นาโนเมตร ระยะห่างอยู่ที่ 1.29 นาโนเมตร ใน 1 ผลสแกน 3 ครั้ง และให้แต่ละสเปกตรัมที่ได้เป็น 1 ตัวอย่าง

3.1.2.2 การวัดความแน่นเนื้อ

ตัดชิ้นสับปะรด ส่วนกลางผลซึ่งอยู่ตรงข้ามกัน จำนวน 2 ชิ้น ขนาดความหนา 1 เซนติเมตร (ภาพที่ 3) วัดด้วยเครื่อง Instron รุ่น 5569 หัวกดแบบทรงกระบอก ปลายแบน ขนาด 9.6 มิลลิเมตร ความเร็วในการกด 50 มิลลิเมตร ต่อ นาที และให้ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดเป็นค่าความแน่นเนื้อ

3.1.2.3 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรด

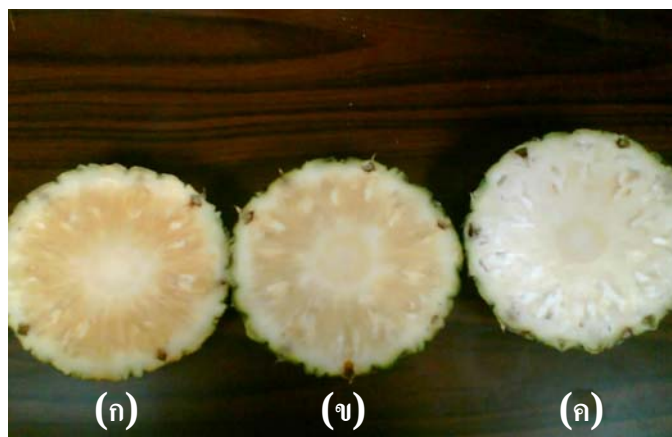
ตัดส่วนหัวและท้ายผลออก เอาเฉพาะส่วนกลางผล (ภาพที่ 4) เพื่อกั้นน้ำสับปะรด ทำการหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้(TSS) ด้วย Digital Refractometer แล้วทำการไทเทรตหาปริมาณกรดทั้งหมดตามวิธีการ A.O.A.C. (1990) ใช้น้ำสับปะรด 2 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วย NaOH

0.1 N. โดยมีฟีนอล์ฟทาลิน ความเข้มข้น 1 % ซึ่งมีพิสัย pH ที่เปลี่ยนสีอยู่ในช่วง 8.2 เป็นอินดิเคเตอร์ จำนวน 1-2 หยด ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติ คำนวณกรดที่ไทเทรตได้เป็นกรดซิตริก โดยใช้สูตร

$$\% \text{ Titratable acidity} = \frac{(\text{ml NaOH}) (\text{N. NaOH}) (\text{meq.wt.acid:0.064}) \times 100}{\text{ml. Sample}}$$

3.1.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อคัดเกรดสับปะรด โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากการสแกนมาทำการจัดกลุ่ม ด้วยวิธีทางสถิติ Principle Component Analysis (PCA) ส่วนการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อ ใช้วิธี Partial Least Square Regression (PLSR) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าทางเคมีกับสเปกตรัมที่ได้ โดยข้อมูลทั้ง 150 ตัวอย่าง จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Calibration ใช้ในการสร้างสมการ Calibration เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมที่ได้กับค่าทางเคมี จำนวน 100 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ 2 คือกลุ่ม Validation เพื่อใช้ในการทดสอบสมการ Calibration ที่สร้างขึ้น จำนวน 50 ตัวอย่าง ในการสร้างสมการ ใช้ข้อมูลสเปกตรัมทั้งแบบทุกช่วงความยาวคลื่น และเลือกช่วงความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับค่าทางเคมี โดยอาศัยวิธีการ Moving Window Partial Least Square (MWPLSR)



ภาพที่ 1 สับปะรดที่ใช้ในการทดลองที่เนื้อมี 3 ลักษณะ เนื้อแน่นมาก (ก) เนื้อน้ำปานกลาง (ข) เนื้อแฉก (ค)



ภาพที่ 2 สแกนผลสัปปะรดด้วยเครื่อง Near Infrared Spectroscopy



ภาพที่ 3 การวัดค่าความแน่นเนื้อชิ้นสัปปะรดด้วยเครื่อง Instron



ภาพที่ 4 สับปะรดที่ตัดหัวและท้าย เพื่อคั่นน้ำในการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรด

3.1.3 วิธีการทดลองด้วยเทคนิควิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติ

3.1.3.1 การวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติผลสับปะรด

นำผลสับปะรดที่มีลักษณะเนื้อ 4 แบบ คือ เนื้อ 1, เนื้อ 2, เนื้อ 3 และ เนื้อ 4 (เนื้อแกน)(ภาพที่6) อย่างละ 30 ผล มาทำการชั่งน้ำหนัก วัดการแทนที่น้ำ วัดความถี่ธรรมชาติรอบผล 4 จุด จุดละ 2 ชั่วโมงโดยชุดอุปกรณ์วัดความถี่เสียง(ภาพที่ 5) และวิเคราะห์สัญญาณเสียงและแปลงสัญญาณในรูป Algorithm Fourier transform Response (FFT) ด้วยโปรแกรม Visual Turbo C++ ทำการ เลือกค่าความถี่ที่มีขนาด Amplitude ที่สูงเรียงลงมา 3 ค่าทำการหา Stiffness coefficient จากค่า ความถี่ กับ ค่าน้ำหนัก

$$\text{Stiffness coefficient} = f^2 m^{2/3}$$

f = ความถี่

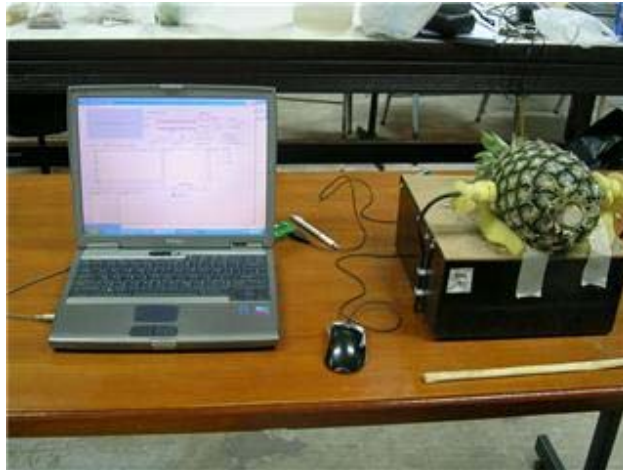
m = น้ำหนัก

3.1.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม โดยวิธี Discriminant analysis ด้วยโปรแกรม SPSS โดยการแบ่งวิเคราะห์ 2 กลุ่มคือ

- แบบทำลาย (ตัวแปรอิสระ = ค่ากรด, ค่าของแข็งที่ละลายได้ และความแน่นเนื้อ)
- แบบไม่ทำลาย (ตัวแปรอิสระ = ความถี่ธรรมชาติที่ 1, 2, 3 และ ความหนาแน่น)

จากนั้นสร้างสมการจำแนกกลุ่มโดยการนำหลักการของการวิเคราะห์ความถดถอย และการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)โดยการสร้างสมการเชิงเส้นที่เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ ของตัวแปรแบ่งกลุ่ม



ภาพที่ 5 ชุดอุปกรณ์วัดระดับเสียง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 6 ตัวอย่างสับประรด (ก) เนื้อ 1 (ข) เนื้อ 2 (ค) เนื้อ 3 และ (ง) เนื้อแกน

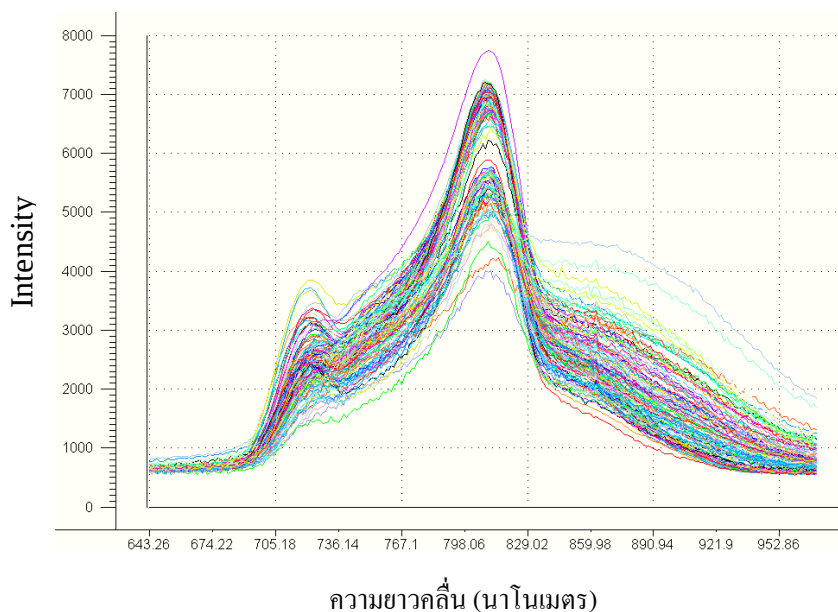
ลักษณะของเนื้อสับประรด เนื้อ 1 ลักษณะเนื้อจะสุกและน้ำสุก เนื้อ 2 ลักษณะเนื้อจะสุกเกือบน้ำ

เนื้อ 3 ลักษณะเนื้อจะยังไม่สุก เนื้อ 4 (เนื้อแกน) ลักษณะเนื้อจะแข็งและมีจุดสีดำ-น้ำตาล

3.2 ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง

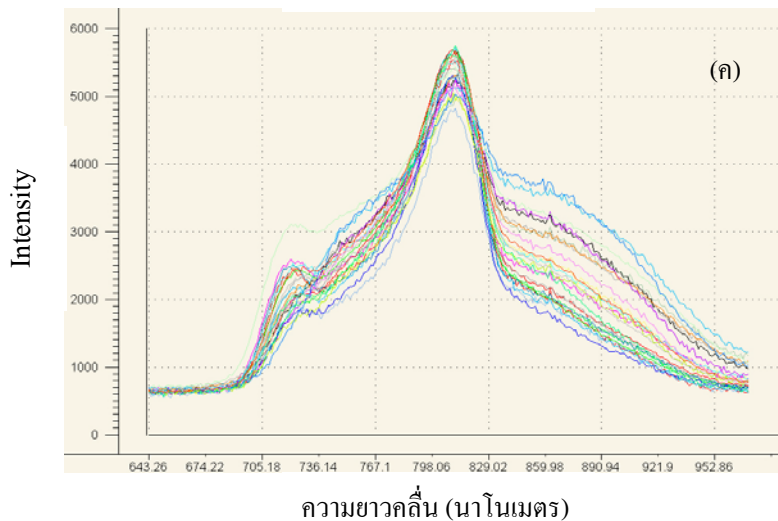
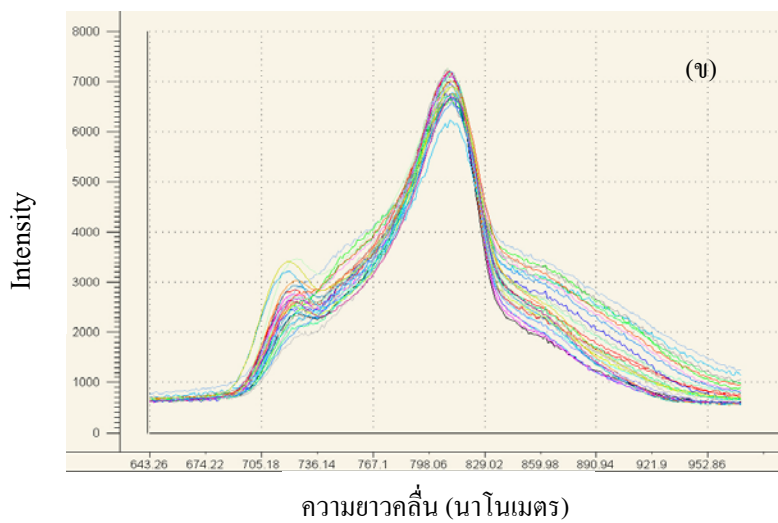
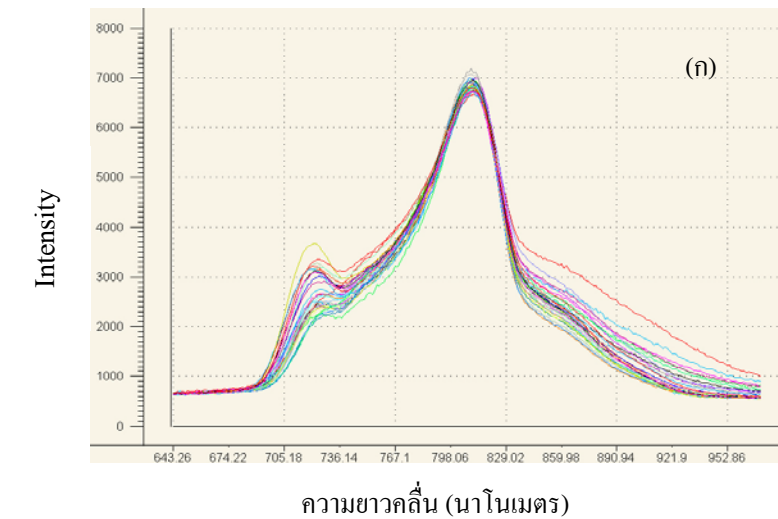
3.2.1 การคัดเกรดสับปะรดด้วยเทคนิค NIR

3.2.1.2 ลักษณะสเปกตรัม



ภาพที่ 7 Transmittance spectraของสับปะรดทั้ง 3 กลุ่ม

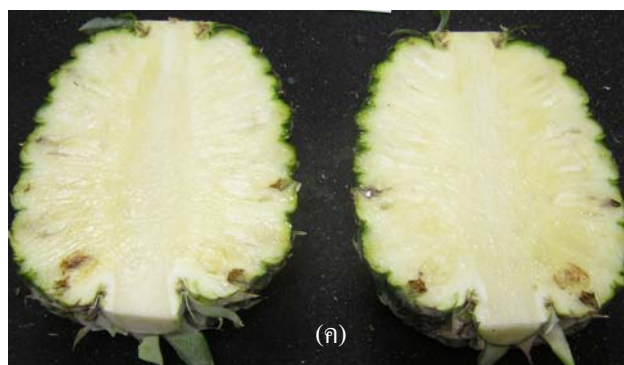
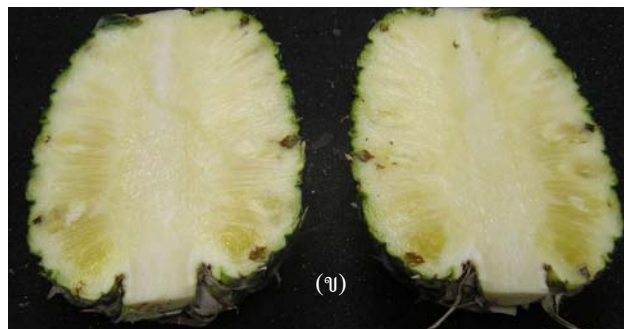
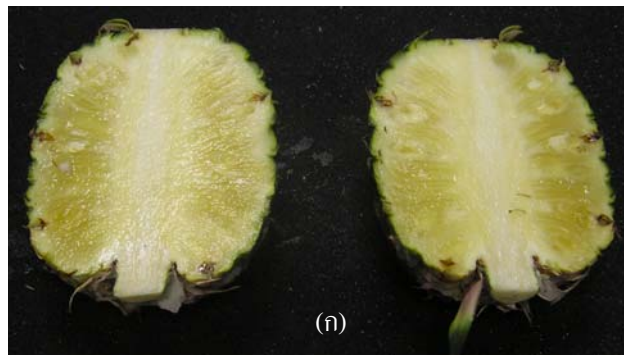
จากภาพที่ 7 ซึ่งเป็นสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ของสับปะรดทั้งหมด 150 ตัวอย่าง จากภาพสเปกตรัม พบว่ามีความแตกต่างกันในสเปกตรัมแต่ละตัวอย่าง เช่น ในบางตัวอย่างมีการส่องผ่านของแสงน้อย ดูจากค่า intensity ที่ต่ำ บางตัวอย่างสเปกตรัมมีสัญญาณรบกวน (noise) มาก ซึ่งลักษณะของสเปกตรัมที่แตกต่างกันนี้ อาจช่วยให้สามารถแบ่งสับปะรดที่มีลักษณะต่างกันออกจากกันได้ และเมื่อทำการแบ่งสเปกตรัมสับปะรดออกเป็นกลุ่มต่างๆ ตามลักษณะเนื้อของสับปะรด ดังภาพที่ 8 พบว่าในสับปะรดที่มีเนื้อที่ต่างกันทั้ง สามกลุ่ม มีลักษณะสเปกตรัมที่แตกต่างกัน โดยสเปกตรัมของสับปะรดที่มีลักษณะเนื้อนุ่มมาก มีลักษณะของสเปกตรัมที่ไม่มีสัญญาณรบกวนมาก และมี intensity ที่สูง ในขณะที่สเปกตรัมของสับปะรดในกลุ่มที่มีเนื้อแกน สเปกตรัมมีสัญญาณรบกวนมาก และมี intensity ที่น้อย และสเปกตรัมในกลุ่มที่มีเนื้อนุ่มปานกลาง มีลักษณะสเปกตรัมที่มีลักษณะอยู่ในระหว่างกลุ่มที่มีเนื้อนุ่ม และเนื้อแกน คือมีสัญญาณรบกวนปานกลาง



ภาพที่ 8 Transmittance spectra ของสับปะรดในกลุ่มเนื้อฉ่ำมาก (ก) เนื้อน้ำปานกลาง (ข) และเนื้อแกน (ค)

ซึ่งเหตุผลที่สเปกตรัมที่ลักษณะต่างกันเนื่องจาก ในการสแกนผลสับปะรดครั้งนี้ ใช้ระบบแสงส่องผ่าน หรือ Transmittance แสงในช่วง Near Infrared จะส่องผ่านผลสับปะรดทั้งผล การที่

สับปะรดมีเนื้อจํามาก (ภาพที่ 9ก) แสงก็ส่องผ่านมาได้ง่าย ตัวรับสัญญาณที่อยู่ด้านใต้ผล ก็รับสัญญาณของแสงได้เต็มที่ ในขณะที่สับปะรดที่มีเนื้อแกน (ภาพที่ 9ค) แสงส่องผ่านได้ยาก เพราะเนื้อสับปะรดทึบแสง จึงทำให้ตัวรับสัญญาณรับสัญญาณของแสงที่ส่องผ่านตัวอย่างได้น้อย ในกรณีของสับปะรดที่มีเนื้อจํ่าปานกลาง มีลักษณะสเปกตรัมที่คล้ายทั้งสับปะรดในกลุ่มเนื้อจํ่า และเนื้อแกน เนื่องจากสับปะรดในกลุ่มนี้ มีเนื้อที่มีทั้งลักษณะเนื้อจํ่า และเนื้อแกนบ้างเล็กน้อยภายในผล (ภาพที่ 9ข) และในการสแกน ซึ่งทำการสแกนโดยรอบผล จึงมีโอกาที่บางครั้งแสงจะผ่านสับปะรด ในส่วนเนื้อแกน หรือผ่านในส่วนเนื้อจํ่า หรือผ่านเนื้อทั้งสองลักษณะ จึงทำให้ได้สเปกตรัมทั้งสองลักษณะ

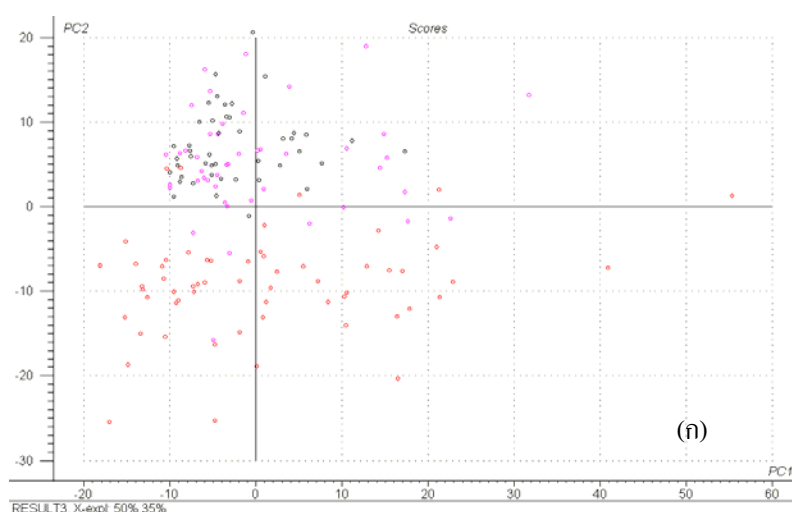


ภาพที่ 9 สับปะรดที่มีลักษณะเนื้อต่างกัน เนื้อจํ่มาก (ก) เนื้อจํ่าปานกลาง (ข) และเนื้อแกน (ค)

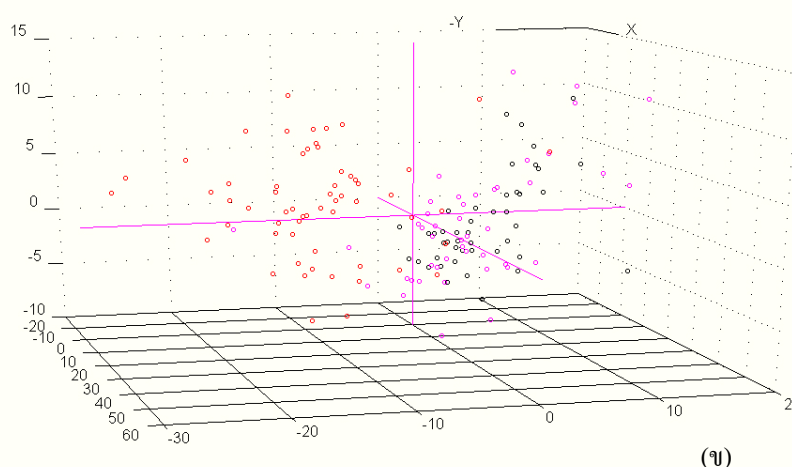
3.2.1.2 การคัดเกรดสับปรดด้วยวิธี Principle Component Analysis

(PCA)

การคัดเกรดสับปรดด้วย PCA โดยอาศัยความแตกต่างของสเปกตรัมที่ได้ จากข้อ 3.2.2 ผลจากการคัดเกรดได้ดังภาพที่ 10 สับปรดที่มีเนื้อต่างกันสามลักษณะ พบว่าไม่มีแบ่งแยกเป็นกลุ่มได้อย่างชัดเจนนัก ในสับปรดที่มีเนื้อทั้งสามลักษณะ แต่มีแนวโน้มในการแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือสับปรดเนื้อนุ่มมาก กับน้ำปานกลางไม่สามารถแยกกลุ่มจากกันได้ แต่ทั้งสองกลุ่ม แบ่งแยกออกจากสับปรดเนื้อแแกนได้ อาจจะมีการซ้อนทับบ้างในสับปรดกลุ่มเนื้อแแกน กับเนื้อน้ำปานกลาง เหตุผลเนื่องจาก สับปรดเนื้อน้ำปานกลาง มีลักษณะอยู่ระหว่างสับปรดเนื้อนุ่มมาก และเนื้อแแกน จึงมีลักษณะของเนื้อสับปรดทั้งสองกลุ่มอยู่ในผล ทำให้เกิดการซ้อนทับทั้งภายในกลุ่มตัวอย่างเนื้อนุ่มมาก และเนื้อแแกน

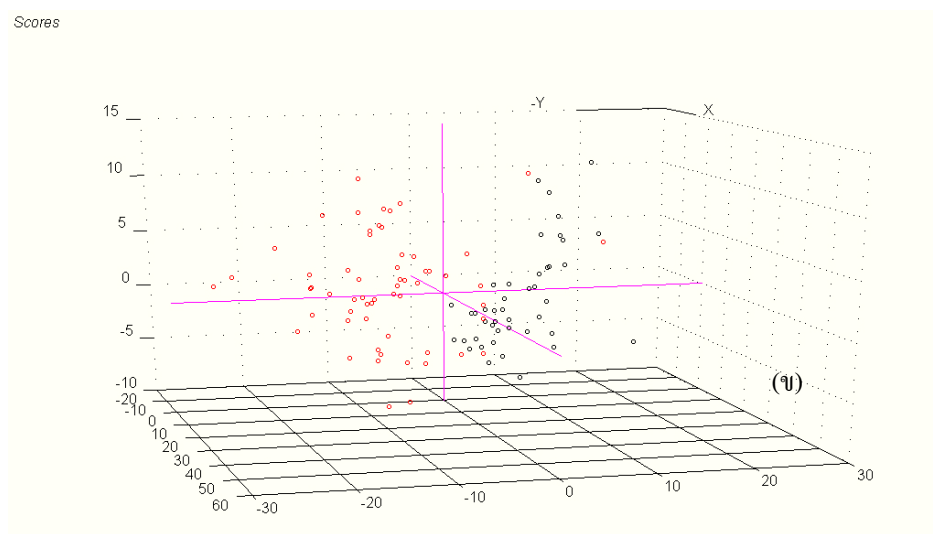
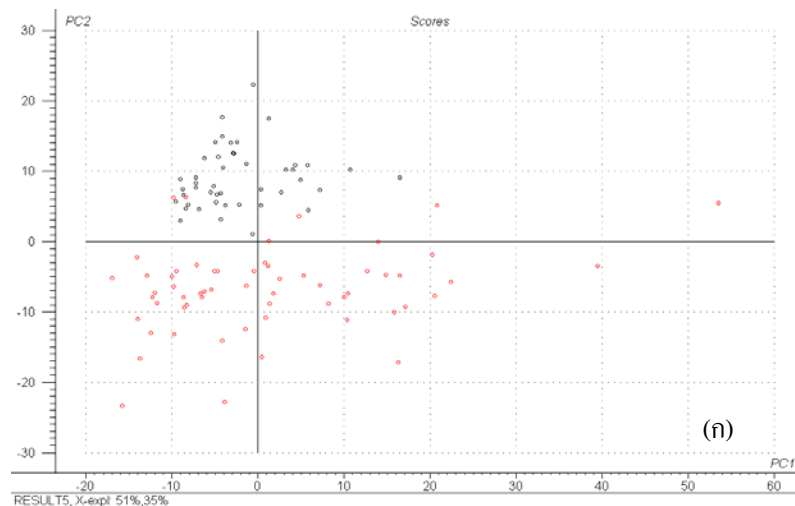


Scores



ภาพที่ 10 การแยกกลุ่มสับปรดที่มีเนื้อสามลักษณะ เนื้อนุ่มมาก (สีดำ) เนื้อน้ำปานกลาง (สีชมพู) และเนื้อแแกน (สีแดง) ในแผนภูมิแบบ 2 มิติ (ก) และ 3 มิติ (ข)

เมื่อทำการทดลองแยกกลุ่มโดยวิธี PCA เพื่อแยกสับประรดเฉพาะในกลุ่มเนื้อน้ำมาก และเนื้อแกน ออกจากกันดังภาพที่ 11 พบว่ามีความเด่นชัดมากกว่าการที่มีสับประรดในกลุ่มเนื้อน้ำปานกลางอยู่ด้วย มีการแยกกลุ่มกันอย่างชัดเจนของสับประรดที่มีเนื้อน้ำมาก และเนื้อแกน เมื่อพิจารณาจากเนื้อสับประรดและสเปกตรัมทั้งสองลักษณะ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เป็นเหตุผลให้สับประรดทั้งสองลักษณะสามารถแยกกลุ่มออกจากกันได้



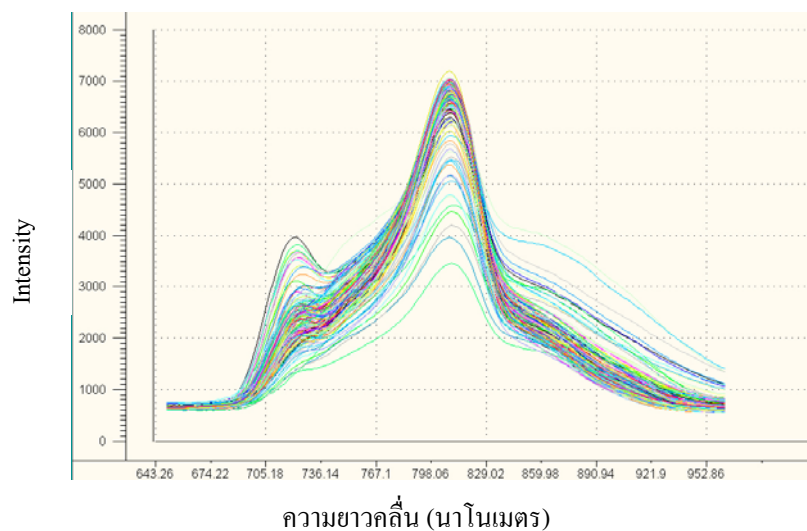
ภาพที่ 11 การแยกกลุ่มสับประรดที่มีเนื้อสองลักษณะ เนื้อน้ำมาก (สีดำ) และเนื้อแกน (สีแดง) ในแผนภูมิแบบ 2 มิติ (ก) และ 3 มิติ (ข)

3.2.2 การทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อ

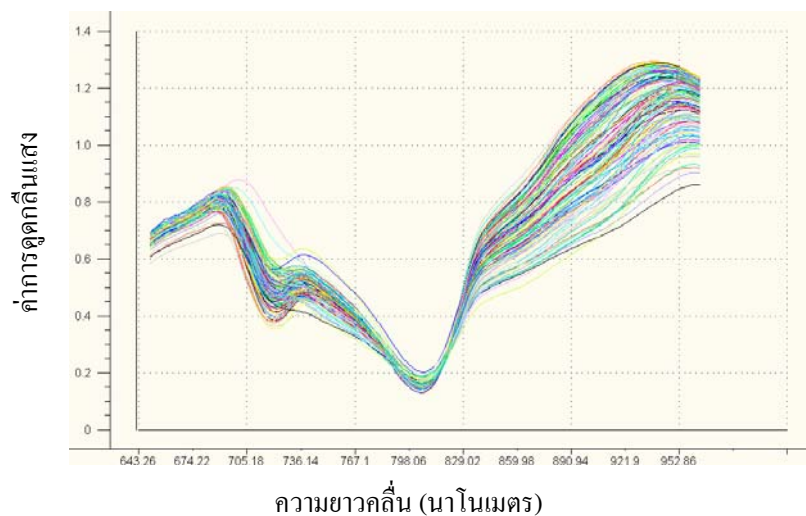
ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

3.2.2.1 ลักษณะสเปกตรัมสับประรดและค่าทางเคมี

สเปกตรัมผลสับประรดที่วัดได้จากเครื่องแสดงดังภาพที่ 12 และทำการคำนวณค่า เพื่อให้เป็น ค่าการดูดกลืนแสง จึงได้สเปกตรัม ดังภาพที่ 13 ตารางที่ 1 แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดและความแน่นเนื้อ ของสับประรดที่มีเนื้อต่างกัน 3 ลักษณะ และตารางที่ 2 แสดงค่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดและความแน่นเนื้อ ในแต่ละกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Validation



ภาพที่ 12 สเปกตรัมสับประรด จากเครื่อง Purespect



ภาพที่ 13 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสับประรด

ตารางที่ 1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดและค่าความแน่นเนื้อ ของสับประรดที่มีลักษณะเนื้อ 3 แบบ

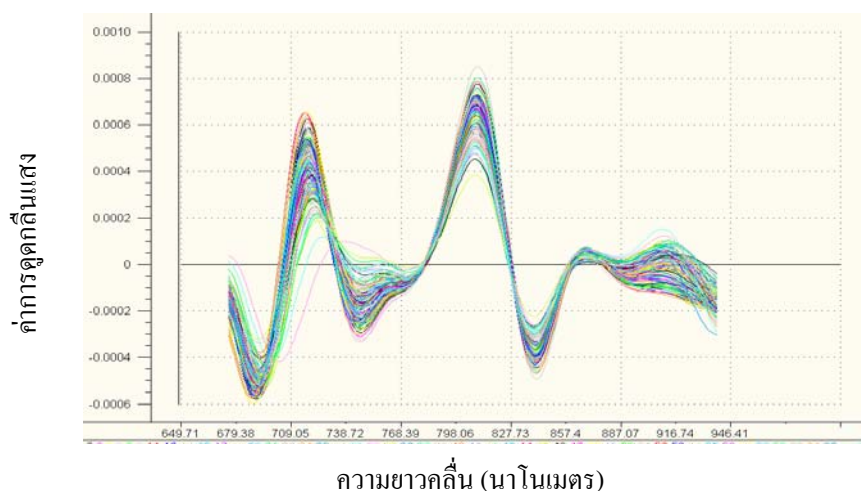
ค่าทางเคมี		เนื้อล้ามาก	เนื้อล้าปานกลาง	เนื้อแกน
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (%)	ค่าต่ำสุด	11.8	11.3	9.9
	ค่าสูงสุด	14.7	13.6	13.3
	ค่าเฉลี่ย	13.19	12.49	11.71
	SD	0.87	0.73	0.96
ปริมาณกรด (%)	ค่าต่ำสุด	1.6	1.5	1.6
	ค่าสูงสุด	2.3	2.1	2.4
	ค่าเฉลี่ย	1.83	1.85	1.91
	SD	0.19	0.17	0.28
ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)	ค่าต่ำสุด	2.45	2.38	2.23
	ค่าสูงสุด	5.69	5.74	6.14
	ค่าเฉลี่ย	3.13	3.32	4.18
	SD	0.75	0.79	1.09

ตารางที่ 2 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความแน่นเนื้อ ของตัวอย่างกลุ่ม Calibration และ Validation

ค่าทางเคมี		Calibration	Validation
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (%)	ค่าต่ำสุด	9.9	9.9
	ค่าสูงสุด	14.7	14.7
	ค่าเฉลี่ย	12.42	12.56
	SD	0.97	1.22
ปริมาณกรด (%)	ค่าต่ำสุด	1.6	1.5
	ค่าสูงสุด	2.4	2.4
	ค่าเฉลี่ย	1.84	1.91
	SD	0.22	0.21
ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)	ค่าต่ำสุด	1.6	1.5
	ค่าสูงสุด	3.57	2.91
	ค่าเฉลี่ย	1.87	1.88
	SD	0.28	0.26

3.2.2.2 การสร้างสมการและการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากสเปกตรัมทุกช่วงความยาวคลื่น และเลือกช่วงความยาวคลื่น

เนื่องจากสเปกตรัมมีการซ้อนทับกัน และมีสัญญาณรบกวน เพื่อให้เห็นพิกัดเด่นชัดขึ้น จึงมีการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ (อนุพันธ์, 2545) โดยวิธีที่ใช้ คือ second derivative ซึ่งมี segment 15 ช่อง และวิธี smoothing (Savitzky-Golay) segment ขนาด 5 ช่อง (ภาพที่ 14) ในการสร้างสมการ Calibration และทดสอบสมการ จากสเปกตรัมสับประรดที่มีการปรับแต่งสเปกตรัมแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยใช้ทุกช่วงความยาวคลื่น คือที่ 643.26-973.5 นาโนเมตร และการเลือกช่วงความยาวคลื่น โดยอาศัยโปรแกรม Moving Window Partial Least Square Regression (MWPLSR) ซึ่งโปรแกรมนี้ช่วยในการเลือกความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับค่าที่เราสนใจ จึงเลือกช่วง 680.67-950.28 นาโนเมตร (ภาพที่ 15) ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ McGlone (2003) ที่ตรวจหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ภายในส้มแมนดารินด้วยเทคนิค Vis/NIR Spectroscopy ค่าที่ได้จากการสร้างสมการทั้งสองวิธี แสดงดังตารางที่ 3 จากค่าที่แสดงพบว่า สมการที่สร้างจากทั้งสองวิธี มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่การเลือกช่วงความยาวคลื่นช่วยให้ได้สมการที่ทำนายค่าได้ดียิ่งขึ้น ภาพที่ 16 แสดงความสัมพันธ์กับค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 14 สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี second derivative และ smoothing

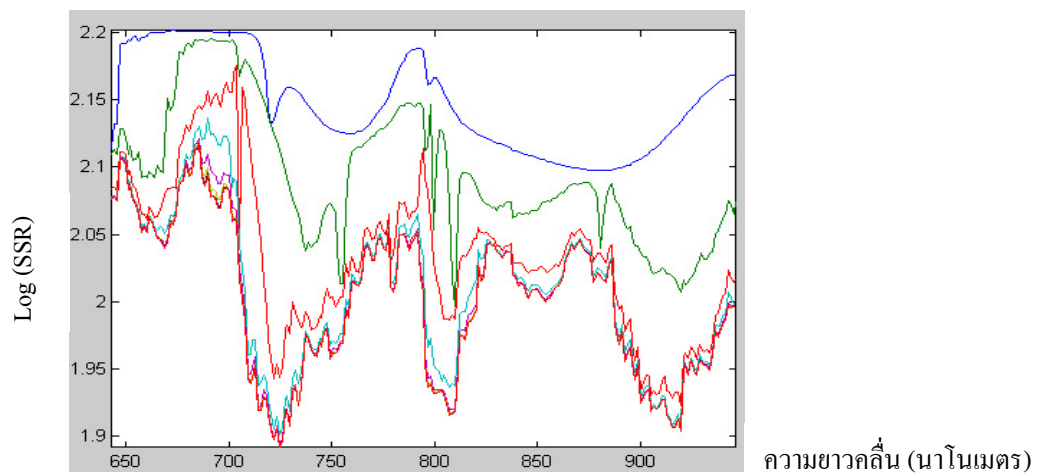
ตารางที่ 3 ผลของสมการ PLS Calibration และ Validation ของสับปะรด ที่สเปกตรัมทุกความยาวคลื่น และเลือกช่วงความยาวคลื่น ที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการแตกต่างกัน ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ความยาวคลื่น	F*	Calibration		Validation		
		SEC**	R	SEP***	R	Bias
643.26-973.5	9	0.672	0.723	0.735	0.805	-0.046
680.67-950.28	3	0.670	0.723	0.715	0.869	0.012

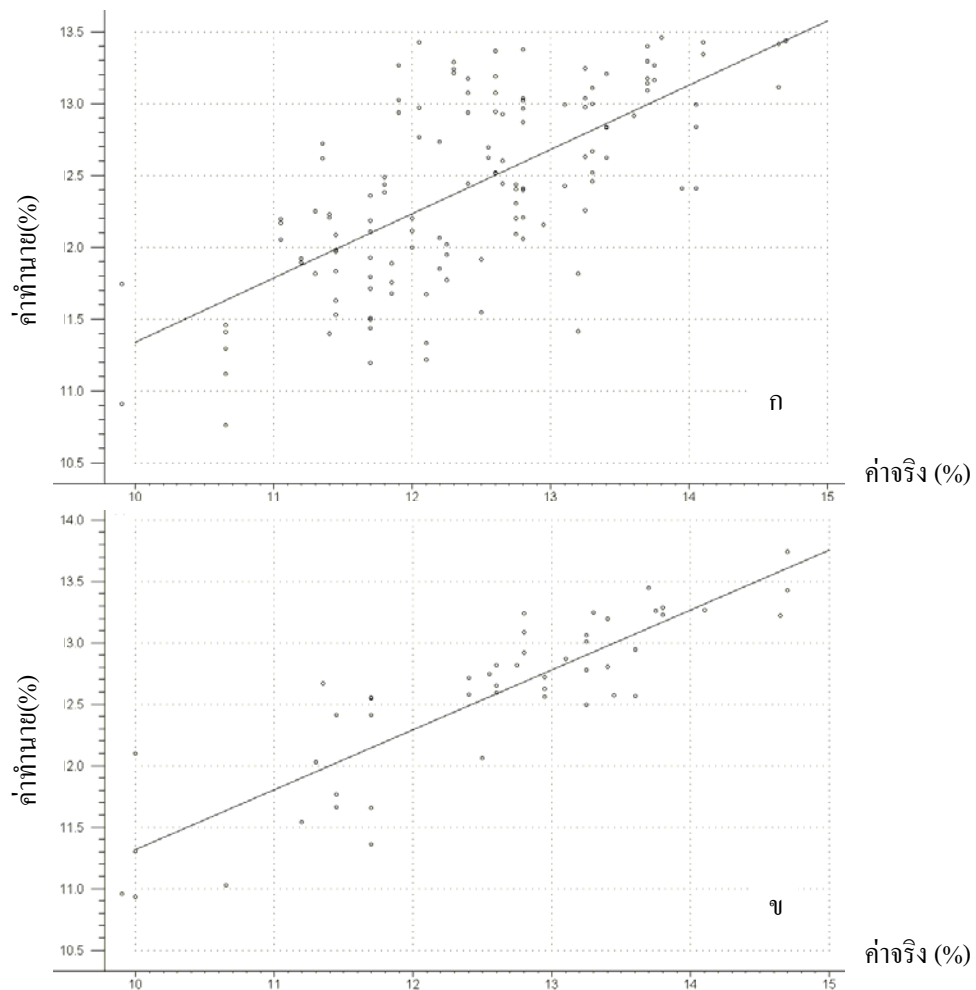
*F: จำนวน factor ที่ใช้ในการสร้างสมการ

**SEC: standard error of calibration

***SEP: standard error of prediction



ภาพที่ 15 กราฟจากโปรแกรม MWPLSR เพื่อช่วยในการเลือกช่วงความยาวคลื่นเพื่อสร้างสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้



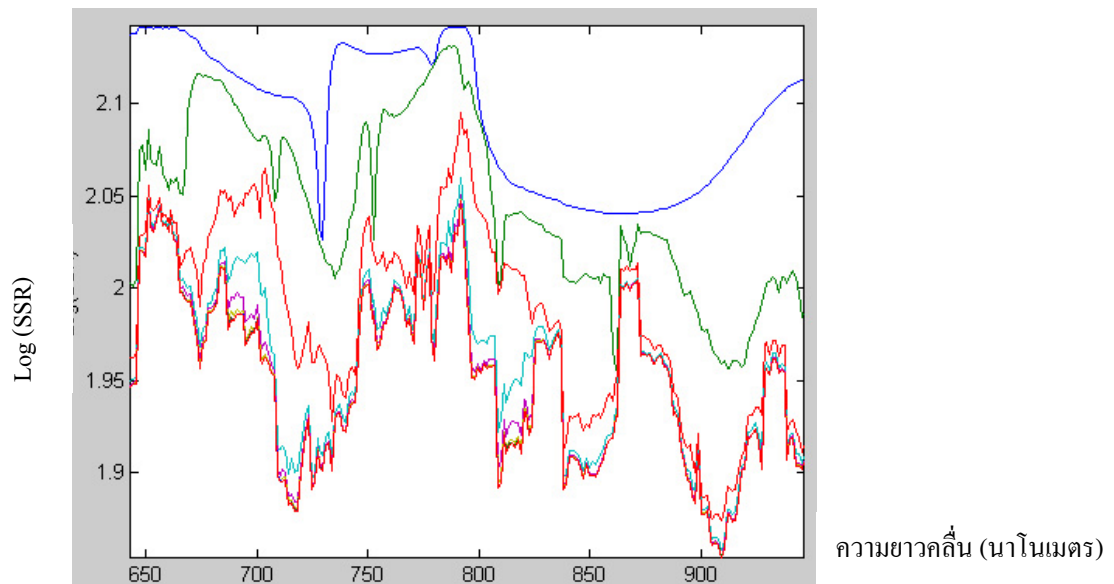
ภาพที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าจริง กับค่าที่ได้จากการทำนายค่าปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ ในกลุ่ม Calibration(ก) และทดสอบสมการด้วยกลุ่ม Validation (ข)

3.2.2.3 การสร้างสมการและการทำนายค่าความแน่นเนื้อจากสเปกตรัมทุกช่วงความยาวคลื่น และเลือกช่วงความยาวคลื่น

ในกรณีของความแน่นเนื้อ สมการที่สร้างใช้การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี second derivative และ smoothing เช่นเดียวกับการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ การสร้างสมการ Calibration ใช้ทุกช่วงความยาวคลื่น คือที่ 643.26-973.5 นาโนเมตร และในการเลือกช่วงความยาวคลื่นเพื่อสร้างสมการ โดยอาศัยโปรแกรม MWPLSR (ภาพที่ 17) จึงเลือกช่วงความยาวคลื่น 680.67-950.28 นาโนเมตร ในการสร้างสมการ Calibration ค่าจากการสร้างสมการทั้งสองวิธีแสดงดังตารางที่ 4 จากตาราง พบว่าค่าที่ได้จากการสร้างสมการเพื่อหาความสัมพันธ์ โดยการใช้วิธี PLS สมการที่สร้างขึ้น ทำนายค่า ความแน่นเนื้อ ได้ไม่ค่อยดีนัก ทั้งการใช้ทุกช่วงความยาวคลื่น และการเลือกช่วงความยาวคลื่นในการสร้างสมการ แต่ผลการสร้างสมการด้วยการใช้ทุกช่วงความยาวคลื่น น่าจะเป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการทำนายค่าความแน่นเนื้อ ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า

จริงที่ได้จากการวัดกับค่าที่ทำนายได้ด้วยสมการที่สร้างขึ้นจากทุกช่วงความยาวคลื่น แสดงดังภาพที่

18



ภาพที่ 17 กราฟจากโปรแกรม MWPLSR เพื่อช่วยในการเลือกช่วงความยาวคลื่นเพื่อสร้างสมการทำนายค่าความแน่นเนื้อ

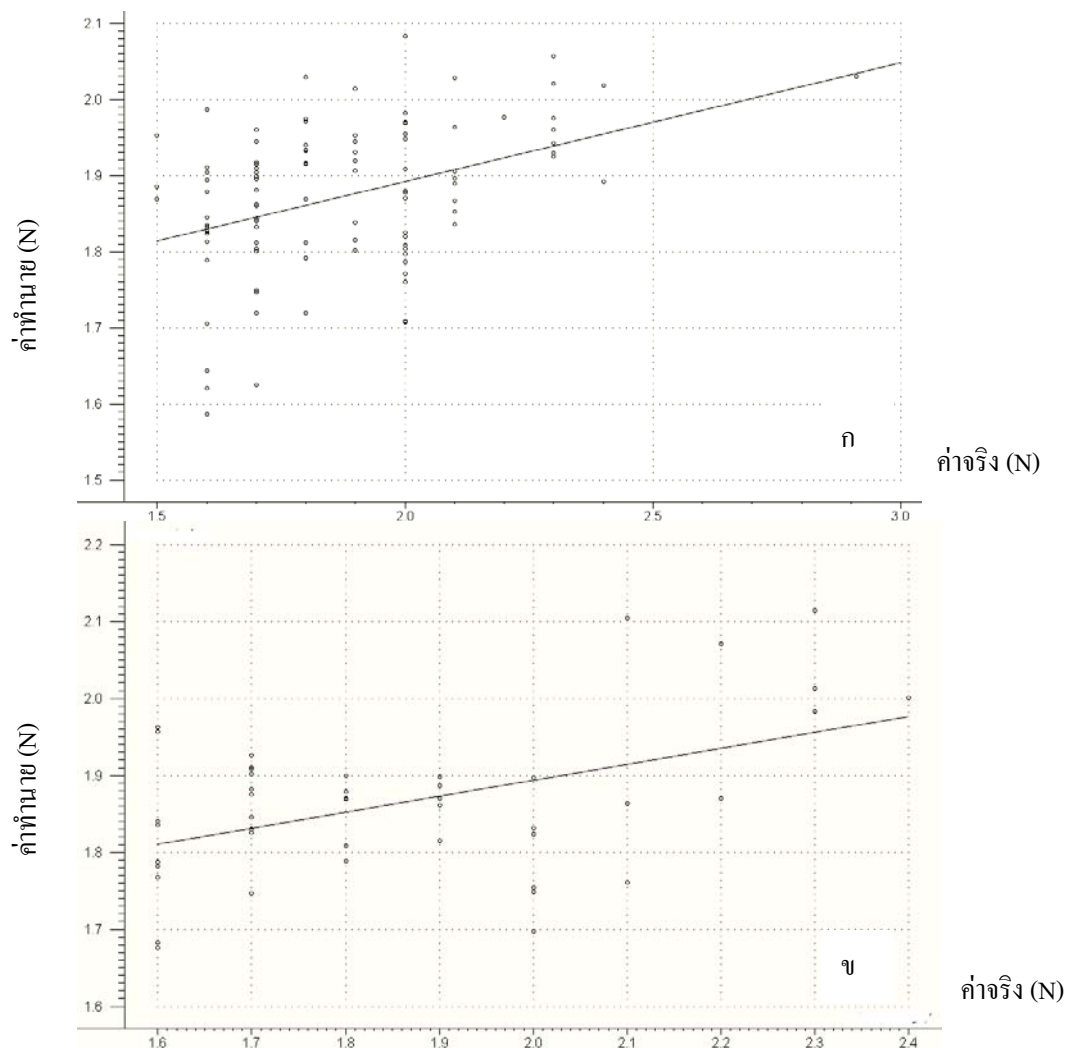
ตารางที่ 4 ผลของสมการ PLS Calibration และ Validation ของสับปะรด ที่สเปกตรัมผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการแตกต่างกัน ในช่วงทุกช่วงความยาวคลื่น และที่ความยาวคลื่น 790.32-970.26 นาโนเมตร เพื่อทำนายค่าความแน่นเนื้อ

ความยาวคลื่น	F [*]	Calibration		Validation		
		SEC ^{**}	R	SEP ^{***}	R	Bias
643.26-973.5	6	0.223	0.395	0.201	0.475	0.005
680.67-950.28	3	0.270	0.230	0.255	0.274	0.002

* F: จำนวน factor ที่ใช้ในการสร้างสมการ

** SEC: standard error of calibration

*** SEP: standard error of prediction



ภาพที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าจริง กับค่าที่ได้จากการทำนายค่าความแน่นเนื้อ ในกลุ่ม Calibration(ก) และทดสอบสมการด้วยกลุ่ม Validation (ข)

3.2.2.4 การสร้างสมการและการทำนายค่าปริมาณกรดจากสเปกตรัมทุกช่วงความยาวคลื่น และเลือกช่วงความยาวคลื่น

สเปกตรัมที่ใช้การสร้างสมการทำนายค่าปริมาณกรด ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี smoothing และ second derivative สร้างสมการด้วยวิธี PLS โดยใช้ทุกช่วงความยาวคลื่น แต่จากการเลือกช่วงความยาวคลื่นด้วยวิธี MWPLSR (ภาพที่ 19) พบว่าไม่มีช่วงความยาวคลื่นใดที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณกรด จึงทำการสร้างสมการจากทุกช่วงความยาวคลื่นเพียงวิธีเดียว ผลจากการสร้างสมการ Calibration และทดสอบสมการ แสดงค่าดังตารางที่ 5 ซึ่งพบว่า สมการที่สร้างขึ้นทำนายค่าปริมาณกรดได้ไม่แม่นยำ ความสัมพันธ์ของสเปกตรัม กับปริมาณกรดมีน้อยมาก ดังเช่นผลการวิจัยของ

McGlone (2003) ที่ว่าไม่มีวิธีการใดทำให้ได้สมการที่ทำนายค่าปริมาณกรดได้แม่นยำด้วยวิธี NIR ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ กับค่าที่วัดได้จริง แสดงดังภาพที่ 20

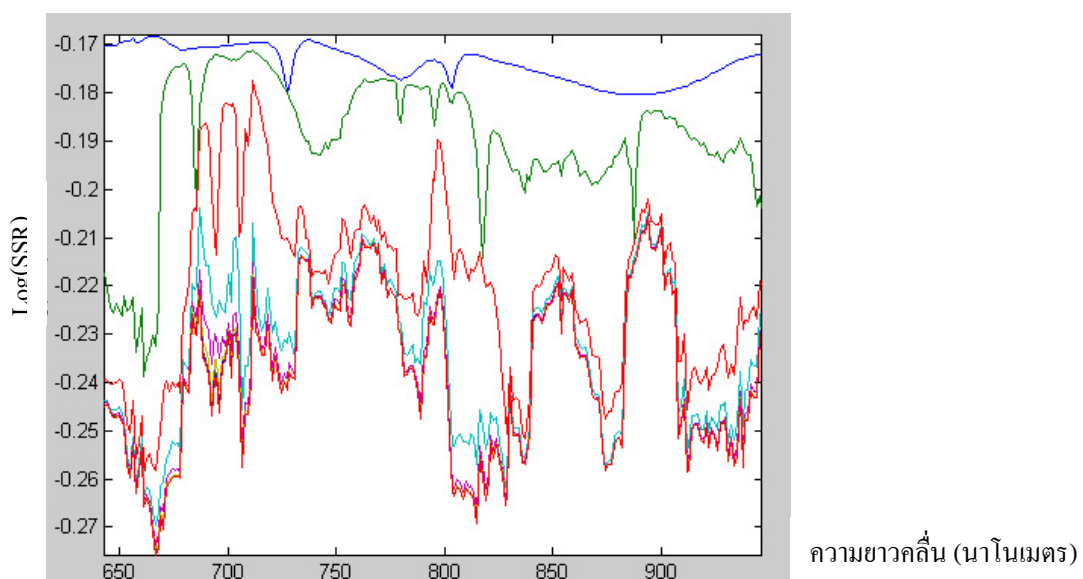
ตารางที่ 5 ผลของสมการ PLS Calibration และ Validation ของสับปะรด ที่สเปกตรัมผ่านการปรับแก้ด้วยวิธีการแตกต่างกัน ในช่วงทุกช่วงความยาวคลื่น เพื่อทำนายค่าปริมาณกรด

ความยาวคลื่น	F [*]	Calibration		Validation		
		SEC ^{**}	R	SEP ^{***}	R	Bias
643.26-973.5	6	0.198	0.433	0.192	0.426	-0.06

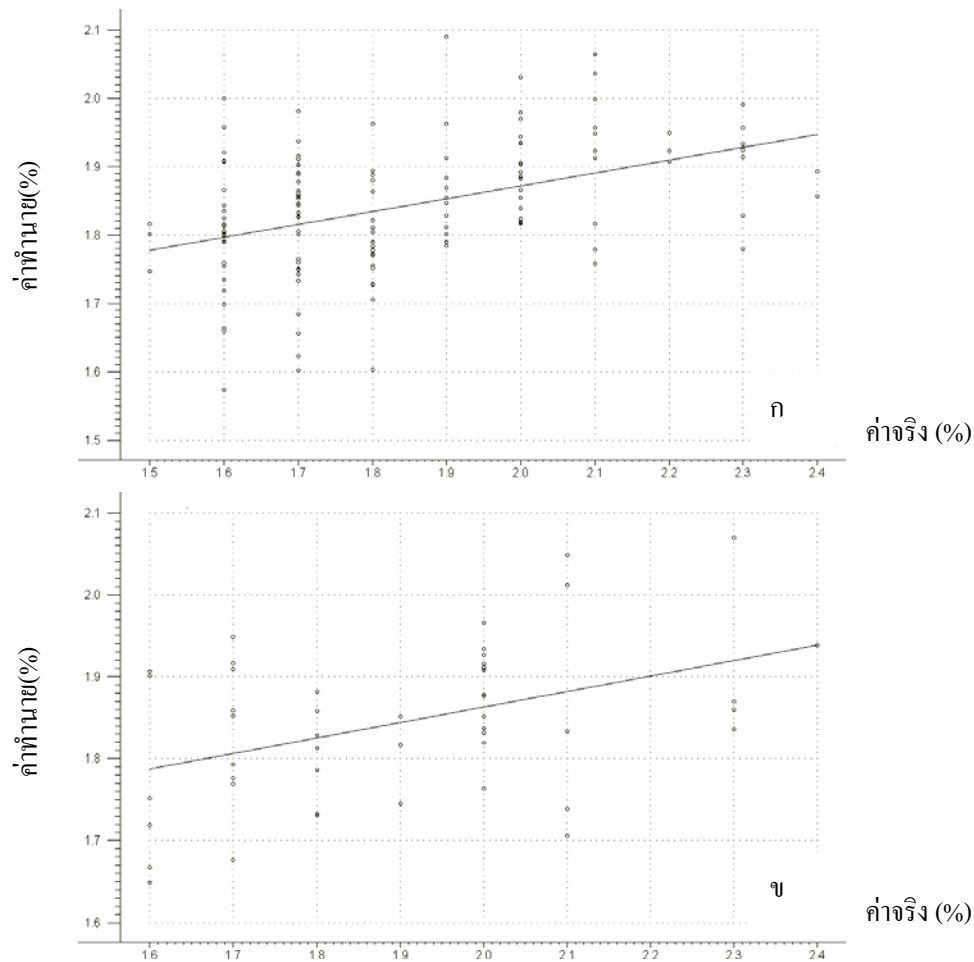
* F: จำนวน factor ที่ใช้ในการสร้างสมการ

** SEC: standard error of calibration

*** SEP: standard error of prediction



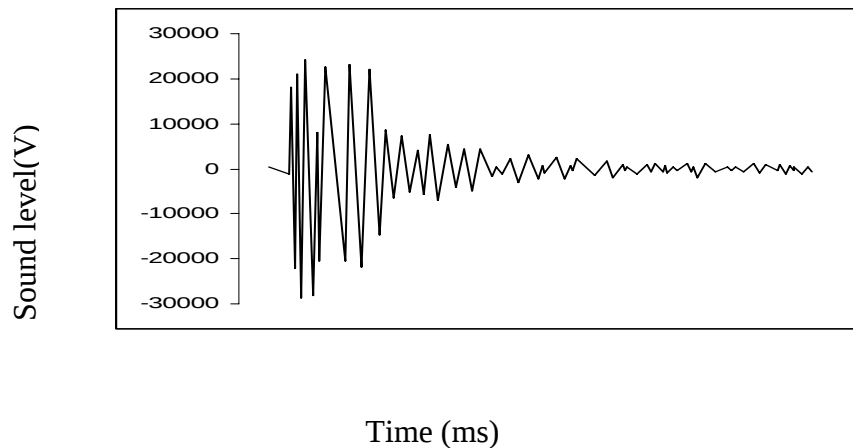
ภาพที่ 19 กราฟจากโปรแกรม MWPLSR เพื่อช่วยในการเลือกช่วงความยาวคลื่นเพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณกรด



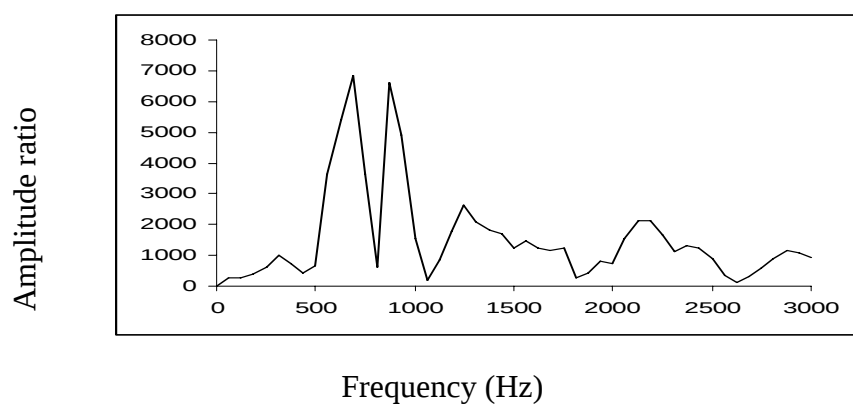
ภาพที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าจริง กับค่าที่ได้จากการทำนายค่าปริมาณกรด ในกลุ่ม Calibration(ก) และทดสอบสมการด้วยกลุ่ม Validation (ข)

3.2.3 การคัดเกรดสับปะรดด้วยเทคนิควิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติ

จากการเคาะผลสับปะรดเมื่อความถี่อยู่ในช่วงที่กำหนดโปรแกรมจะทำการเริ่มเก็บข้อมูล และจากนั้นจะทำการเปลี่ยนสัญญาณที่สัมพันธ์กับเวลาให้เป็นสัญญาณที่สัมพันธ์กับความถี่(ภาพที่ 21)ด้วยวิธี Fast Fourier transform Response ซึ่งจะแสดงดังรูป จากนั้นโปรแกรมจะทำการเลือกความถี่สูงสุด 3 ค่า(ภาพที่ 22)เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยจะมีการแปลงความถี่ให้อยู่ในรูปของ Stiffness Coefficient คือ $f^2 m^{-2/3}$



ภาพที่ 21 สัญญาณความถี่เสียงสัมพันธ์กับเวลาของสับประรดพันธุ์ปัตตาเวียเนื้อ 1



ภาพที่ 22 สัญญาณเสียงสัมพันธ์กับความถี่ของสับประรดพันธุ์ปัตตาเวียเนื้อ 1

ค่าทางเคมีและค่าทางกายภาพของสับประรดที่ทำการศึกษานั้นคือ Brix, Acidity, Firmness, Density และ weight ตารางที่ 6 จากนั้นค่าความถี่ที่ได้คือจุดยอดที่สูงสุด 3 จุดจากการแปลง FFT และนำมาวิเคราะห์ และค่าที่ได้การแปลงความถี่ให้อยู่ในรูปของ Stiffness Coefficient ซึ่งแสดงดัง ตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 6 ค่าทางเคมีของสับประรดทั้ง 4 เนื้อ

	Brix	Acidity	Firmness	Density	weight
Max	15.45	2.80	58.76	1.04	2544.00
Min	13.15	2.80	11.52	0.96	1371.00
Average	13.09	1.73	15.92	0.99	1664.942
S.D.	0.962	0.365	9.314	0.020	231.7545

ตารางที่ 7 ค่าจุดยอดที่สูงสุด 3 จุด จากการแปลงสัญญาณเสียงเป็นความถี่ในรูป Algorithm Fourier transform Response (FFT) ของสับปะรดทั้ง 4 เนื่อ

	paek1	paek2	paek3	$\bar{X}$ (paek)
Max	991	1509	1902	1425
Min	750	1152	1527	1143
Average	739	1085	1416	1080
S.D.	113.9784	177.1049	223.1245	165.9452

ตารางที่ 8 ค่าจุดยอดที่สูงสุด 3 จุด ที่แปลงความถี่ให้อยู่ในรูปของ Stiffness Coefficient คือ $f^2 m^{2/3}$ ของสับปะรดทั้ง 4 เนื่อ

	$f1^2(m^{2/3})$	$f2^2(m^{2/3})$	$f3^2(m^{2/3})$	$f \bar{X}^2 x(m^{2/3})$
Max	1422307.11	3714800.68	6107315.36	3389225.40
Min	694193.96	1662567.12	2970979.48	1611512.27
Average	777338.609	1693945.07	2894278.35	1655806.46
S.D.	225434.492	530818.857	861071.266	477271.777

- $\bar{X}$ (paek) = ค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 จุดยอด
- $f1^2(m^{2/3})$ = ค่า Stiffness Coefficient ของจุดยอดที่ 1
- $f2^2(m^{2/3})$ = ค่า Stiffness Coefficient ของจุดยอดที่ 2
- $f3^2(m^{2/3})$ = ค่า Stiffness Coefficient ของจุดยอดที่ 3
- $f \bar{X}^2 x(m^{2/3})$ = ค่า Stiffness Coefficient ของค่าเฉลี่ยทั้ง 3 จุดยอด

3.2.3.1 การทดสอบแบบทำลาย

โดยใช้ค่าทางเคมีเป็นตัววิเคราะห์คือ Brix, Acidity และ Firmness

ตารางที่ 9 Tests of Equality of Group Means ของกลุ่มทดสอบแบบทำลาย

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
BRIX	.753	12.714	3	116	.000
ACID	.585	27.476	3	116	.000
FIRMNESS	.534	33.732	3	116	.000

จากตาราง Tests of Equality of Group Means เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการทดสอบค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระแต่ละตัวว่าแตกต่างกันระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติทดสอบ F และ Wilks' Lambda เมื่อพิจารณาค่า Significant = 0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปร BRIX, ACID และ FIRMNESS มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มและสามารถนำมาใช้ในการสร้างสมการแบ่งกลุ่มได้

ตารางที่ 10 Classification Function Coefficients ของกลุ่มทดสอบแบบทำลาย

	CODE			
	1.00	2.00	3.00	4.00
BRIX	21.153	20.682	19.937	19.988
ACID	33.731	39.528	37.637	41.969
FIRMNESS	1.248	1.371	1.617	1.390
(Constant)	-179.524	-184.387	-176.469	-180.343

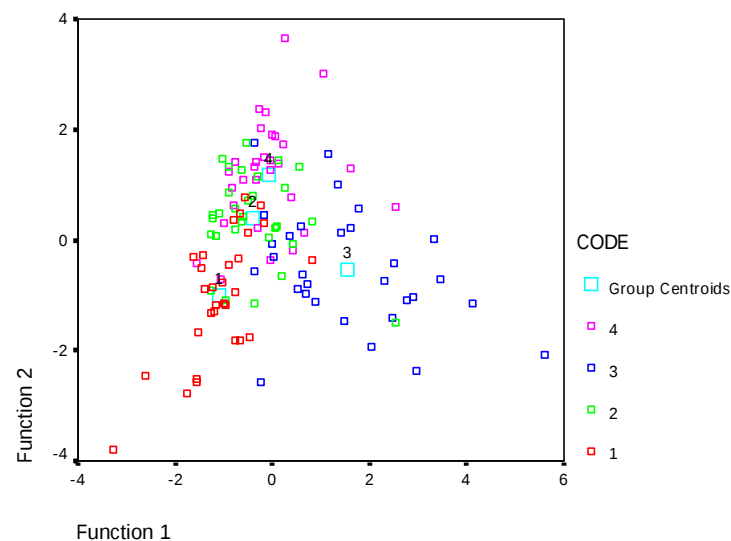
จากตาราง Classification Function Coefficients จะได้สมการในการจำแนกกลุ่มคือ

Function 1 = $-179.524 + 21.153\text{BRIX} + 33.731\text{ ACID} + 1.248\text{FIRMNESS}$

Function 2 = $-184.387 + 20.682\text{BRIX} + 39.528\text{ ACID} + 1.371\text{FIRMNESS}$

Function 3 = $-176.469 + 19.937\text{BRIX} + 37.637\text{ ACID} + 1.617\text{FIRMNESS}$

Function 4 = $-180.343 + 1.390\text{BRIX} + 41.969\text{ACID} + 19.988\text{FIRMNESS}$



ภาพที่ 23 กราฟแสดงการวิเคราะห์แบบ Discriminant ของกลุ่ม แบบทำลาย (ค่ากรด ค่าของแข็งที่ละลายได้ และความหนืด)

ตารางที่ 11 Classification Result ของกลุ่มทดสอบแบบทำลาย

			Predicted Group Membership				Total
			1.00	2.00	3.00	4.00	
Original	Count	1.00	23	5	1	1	30
		2.00	3	16	2	9	30
		3.00	2	5	20	3	30
		4.00	2	7	2	19	30
	%	1.00	76.7	16.7	3.3	3.3	100.0
		2.00	10.0	53.3	6.7	30.0	100.0
		3.00	6.7	16.7	66.7	10.0	100.0
		4.00	6.7	23.3	6.7	63.3	100.0
Cross-validated ^a	Count	1.00	23	5	1	1	30
		2.00	4	14	2	10	30
		3.00	2	5	20	3	30
		4.00	2	7	2	19	30
	%	1.00	76.7	16.7	3.3	3.3	100.0
		2.00	13.3	46.7	6.7	33.3	100.0
		3.00	6.7	16.7	66.7	10.0	100.0
		4.00	6.7	23.3	6.7	63.3	100.0

a. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b. 65.0% of original grouped cases correctly classified.

c. 63.3% of cross-validated grouped cases correctly classified.

จากตาราง Classification results^{b,c} สรุปได้ว่าการจำแนกแบบ Original ทำนายถูก 65% พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุด 76.7% ผิด 23.3% กลุ่มที่ 2 มีความถูกต้องในการทำนายต่ำที่สุด 53.3% ผิด 46.7%

Cross-Validated ทำนายถูก 63.3% พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุด 76.7% ผิด 23.3% กลุ่มที่ 2 มีความถูกต้องในการทำนายต่ำที่สุด 46.7% ผิด 53.3%

3.2.3.2 การทดลองแบบไม่ทำลาย

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ $f_1^2(m^2/3)$, $f_2^2(m^2/3)$, $f_1^3(m^2/3)$, $f_{\bar{X}}^x(m^2/3)$ และ Density ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 4 แบบ คือ

3.2.3.2.1 วิเคราะห์เนื้อ 1, เนื้อ 2 , เนื้อ 3 และ เนื้อ 4 โดยใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์คือ

$f_1^2(m^2/3)$, $f_2^2(m^2/3)$ และ $f_1^3(m^2/3)$

ตารางที่ 12 Tests of Equality of Group Means ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 2

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
F2M1	.563	30.002	3	116	.000
F2M2	.645	21.248	3	116	.000
F2M3	.630	22.734	3	116	.000

จากตาราง Tests of Equality of Group Means เมื่อพิจารณาค่า Significant = 0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปร F2M1, F2M2 และ F2M3 มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มและสามารถนำมาใช้ในการสร้างสมการแบ่งกลุ่มได้

ตารางที่ 13 Classification Function Coefficients ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 2

	CODE			
	1.00	2.00	3.00	4.00
F2M1	2.116E-05	2.181E-05	3.340E-05	2.218E-05
F2M2	-6.60E-06	-4.08E-06	-1.02E-05	-1.21E-05
F2M3	4.737E-06	4.381E-06	7.738E-06	9.289E-06
(Constant)	-8.888	-12.253	-21.509	-13.310

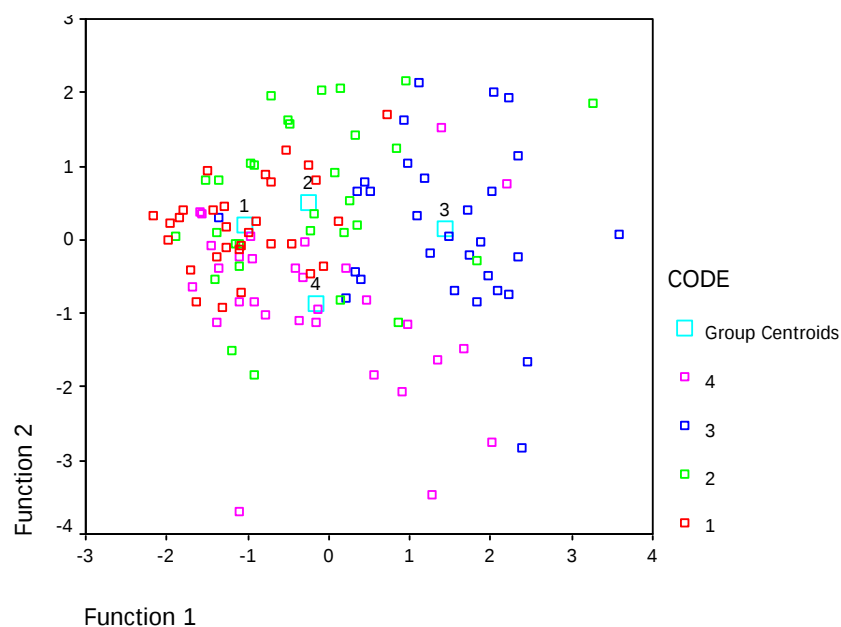
จากตาราง Classification Function Coefficients จะได้สมการในการจำแนกกลุ่มคือ

$$\text{Function 1} = -8.888 + 2.116\text{E-}05\text{F2M1} - 6.60\text{E-}06\text{F2M2} + 4.737\text{E-}06\text{F2M3}$$

$$\text{Function 2} = -12.253 + 2.181\text{E-}05\text{F2M1} - 4.08\text{E-}06\text{F2M2} + 4.381\text{E-}06\text{F2M3}$$

$$\text{Function 3} = -21.509 + 3.340\text{E-}05\text{F2M1} - 1.02\text{E-}05\text{F2M2} + 7.738\text{E-}06\text{F2M3}$$

$$\text{Function 4} = -13.310 + 2.218\text{E-}05\text{F2M1} - 1.21\text{E-}05\text{F2M2} + 9.289\text{E-}06\text{F2M3}$$



ภาพที่ 24 กราฟแสดงการวิเคราะห์แบบ Discriminant ของกลุ่ม แบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 2 (ตัวแปร F2M1, F2M2 และ F2M3)

ตารางที่ 14 Classification Result ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 2

			Predicted Group Membership				Total
			1.00	2.00	3.00	4.00	
Original	Count	1.00	22	6	0	2	30
		2.00	8	15	3	4	30
		3.00	1	4	22	3	30
		4.00	9	1	3	17	30
	%	1.00	73.3	20.0	.0	6.7	100.0
		2.00	26.7	50.0	10.0	13.3	100.0
		3.00	3.3	13.3	73.3	10.0	100.0
		4.00	30.0	3.3	10.0	56.7	100.0
Cross-validated ^a	Count	1.00	22	5	1	2	30
		2.00	9	13	4	4	30
		3.00	1	5	20	4	30
		4.00	9	1	4	16	30
	%	1.00	73.3	16.7	3.3	6.7	100.0
		2.00	30.0	43.3	13.3	13.3	100.0
		3.00	3.3	16.7	66.7	13.3	100.0
		4.00	30.0	3.3	13.3	53.3	100.0

a. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b. 63.3% of original grouped cases correctly classified.

c. 59.2% of cross-validated grouped cases correctly classified.

จากตาราง Classification results^{b,c} สรุปได้ว่าการจำแนกแบบ Original ทำนายถูก 63.3% พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุด 73.3% ผิด 26.7% กลุ่มที่ 2 มีความถูกต้องในการทำนายต่ำที่สุด 50% ผิด 50%

Cross-Validated ทำนายถูก 59.2% พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุด 73.3% ผิด 26.7% กลุ่มที่ 2 มีความถูกต้องในการทำนายต่ำที่สุด 43.3% ผิด 56.7%

3.2.3.2.2 วิเคราะห์เนื้อ 1, เนื้อ 2 , เนื้อ 3 และ เนื้อ 4 โดยใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์คือ

$f1^2(m^2/3)$, $f2^2(m^2/3)$, $f1^3(m^2/3)$ และ Density

ตารางที่ 15 Tests of Equality of Group Means ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 5

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
F2M1	.563	30.002	3	116	.000
F2M2	.645	21.248	3	116	.000
F2M3	.630	22.734	3	116	.000
DENSITY	.250	116.301	3	116	.000

จากตาราง Tests of Equality of Group Means เมื่อพิจารณาค่า Significant = 0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปร F2M1, F2M2, F2M3 และ Density มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มและสามารถนำมาใช้ในการสร้างสมการแบ่งกลุ่มได้

ตารางที่ 16 Classification Function Coefficients ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 5

	CODE			
	1.00	2.00	3.00	4.00
F2M1	1.698E-04	1.713E-04	1.777E-04	1.670E-04
DENSITY	10446.56	10218.36	10047.27	10057.84
(Constant)	-5392.033	-5162.616	-4999.420	-5000.625

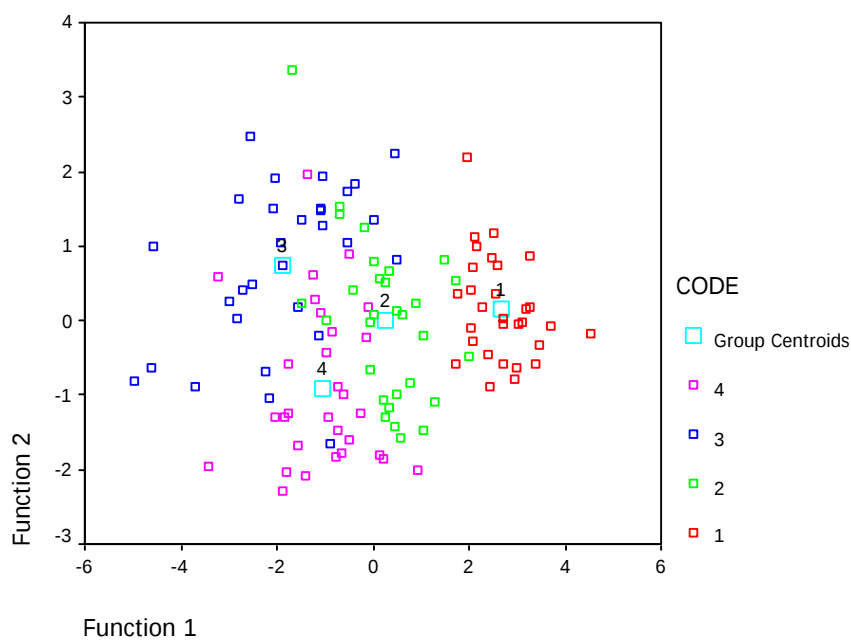
จากตาราง Classification Function Coefficients จะได้สมการในการจำแนกกลุ่มคือ

$$\text{Function 1} = -5392.033 + 1.698\text{E-}04\text{F2M1} + 10446.56\text{Density}$$

$$\text{Function 2} = -5162.161 + 1.713\text{E-}04\text{F2M1} + 10218.36\text{Density}$$

$$\text{Function 3} = -4999.42 + 1.777\text{E-}04\text{F2M1} + 10047.27\text{Density}$$

$$\text{Function 4} = -5000.625 + 1.67\text{E-}04\text{F2M1} + 10057.84\text{Density}$$



ภาพที่ 25 กราฟแสดงการวิเคราะห์แบบ Discriminant ของกลุ่ม แบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 5

($f1^2(m^{2/3})$, $f2^2(m^{2/3})$, $f1^3(m^{2/3})$ และ Density)

ตารางที่ 17 Classification Result ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 5

			Predicted Group Membership				Total
			1.00	2.00	3.00	4.00	
Original	Count	1.00	30	0	0	0	30
		2.00	3	22	4	1	30
		3.00	0	4	22	4	30
		4.00	0	4	4	22	30
	%	1.00	100.0	.0	.0	.0	100.0
		2.00	10.0	73.3	13.3	3.3	100.0
		3.00	.0	13.3	73.3	13.3	100.0
		4.00	.0	13.3	13.3	73.3	100.0
Cross-validated ^a	Count	1.00	30	0	0	0	30
		2.00	3	21	4	2	30
		3.00	0	5	21	4	30
		4.00	0	4	5	21	30
	%	1.00	100.0	.0	.0	.0	100.0
		2.00	10.0	70.0	13.3	6.7	100.0
		3.00	.0	16.7	70.0	13.3	100.0
		4.00	.0	13.3	16.7	70.0	100.0

- a. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.
- b. 80.0% of original grouped cases correctly classified.
- c. 77.5% of cross-validated grouped cases correctly classified.

จากตาราง Classification results^{b,c} สรุปได้ว่าการจำแนกแบบ Original ทำนายถูก 80% พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุด 100% ผิด 0% กลุ่มที่ 2, 3, 4 มีความถูกต้องในการทำนายต่ำที่สุด 70% ผิด 30%

Cross-Validated ทำนายถูก 77.5% พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุด 100% ผิด 0% กลุ่มที่ 2, 3, 4 มีความถูกต้องในการทำนายต่ำที่สุด 70% ผิด 30%

3.2.3.2.3 วิเคราะห์เนื้อ 1, เนื้อ 2 , เนื้อ 3 และ เนื้อ 4 โดยใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์คือ

$$f \bar{X}^2 / (m^2/3)$$

ตารางที่ 18 Tests of Equality of Group Means ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 8

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
F2MX	.590	26.879	3	116	.000

จากตาราง Tests of Equality of Group Means เมื่อพิจารณาว่า Significant = 0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปร F2MX มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มและสามารถนำมาใช้ในการสร้างสมการแบ่งกลุ่มได้

ตารางที่ 19 Classification Function Coefficients ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 8

	CODE			
	1.00	2.00	3.00	4.00
F2MX	9.287E-06	1.178E-05	1.154E-05	1.545E-05
(Constant)	-7.331	-10.946	-10.559	-17.830

จากตาราง Classification Function Coefficients จะได้สมการในการจำแนกกลุ่มคือ

$$\text{Function 1} = -7.331 + 9.287\text{E-}06\text{F2MX}$$

$$\text{Function 2} = -10.946 + 1.178\text{E-}05\text{F2MX}$$

$$\text{Function 3} = -10.559 + 1.154\text{E-}05\text{F2MX}$$

$$\text{Function 3} = -17.83 + 1.545\text{E-}05\text{F2MX}$$

ตารางที่ 20 Classification Result ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 8

			Predicted Group Membership				Total
			1.00	2.00	3.00	4.00	
Original	Count	1.00	23	4	3	0	30
		2.00	10	9	5	6	30
		3.00	13	3	4	10	30
		4.00	1	5	2	22	30
	%	1.00	76.7	13.3	10.0	.0	100.0
		2.00	33.3	30.0	16.7	20.0	100.0
		3.00	43.3	10.0	13.3	33.3	100.0
		4.00	3.3	16.7	6.7	73.3	100.0
Cross-validated ^a	Count	1.00	23	4	3	0	30
		2.00	10	9	5	6	30
		3.00	13	3	4	10	30
		4.00	1	5	2	22	30
	%	1.00	76.7	13.3	10.0	.0	100.0
		2.00	33.3	30.0	16.7	20.0	100.0
		3.00	43.3	10.0	13.3	33.3	100.0
		4.00	3.3	16.7	6.7	73.3	100.0

a. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b. 48.3% of original grouped cases correctly classified.

c. 48.3% of cross-validated grouped cases correctly classified.

จากตาราง Classification results^{b,c} สรุปได้ว่าการจำแนกแบบ Original ทำนายถูก 48.3% พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุด 76.7% ผิด 23.3% กลุ่มที่ 3 มีความถูกต้องในการทำนายต่ำที่สุด 13.3% ผิด 86.7%

Cross-Validated ทำนายถูก 48.3% พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุด 76.7% ผิด 23.3% กลุ่มที่ 3 มีความถูกต้องในการทำนายต่ำที่สุด 13.3% ผิด 86.7%

3.2.3.2.4 วิเคราะห์เนื้อ 1, เนื้อ 2 , เนื้อ 3 และ เนื้อ 4 โดยใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์คือ $f \bar{X}^{(m^2/3)}$ และ Density

ตารางที่ 21 Tests of Equality of Group Means ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 11

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
F2MX	.590	26.879	3	116	.000
DENSITY	.250	116.301	3	116	.000

จากตาราง Tests of Equality of Group Means เมื่อพิจารณาว่า Significant = 0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปร F2MX และ Density มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มและสามารถนำมาใช้ในการสร้างสมการแบ่งกลุ่มได้

ตารางที่ 22 Classification Function Coefficients ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำลายวิเคราะห์แบบที่ 11

	CODE			
	1.00	2.00	3.00	4.00
F2MX	1.182E-05	1.425E-05	1.396E-05	1.788E-05
DENSITY	9772.730	9539.676	9342.972	9397.209
(Constant)	-5002.331	-4770.552	-4575.906	-4636.336

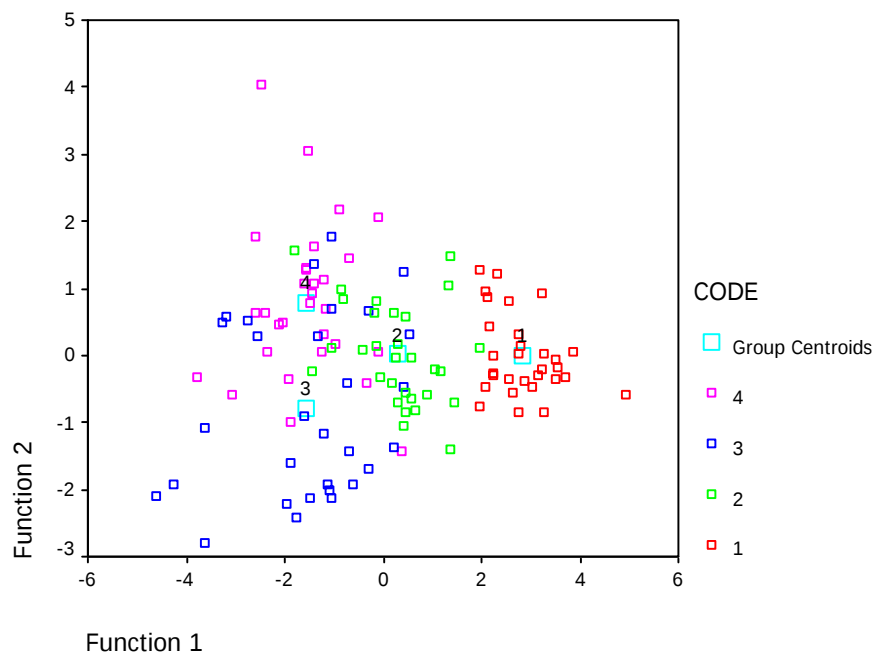
จากตาราง Classification Function Coefficients จะได้สมการในการจำแนกกลุ่มคือ

Function 1 = -5002.331 + 1.182E-05F2MX + 9772.73DENSITY

Function 2 = -4770.552 + 1.425E-05F2MX + 9539.676DENSITY

Function 3 = -4575.906 + 1.396E-05F2MX + 9342.972DENSITY

Function 4 = -4636.336 + 1.788E-05F2MX + 9397.209DENSITY



ภาพที่ 26 กราฟแสดงการวิเคราะห์แบบ Discriminant ของกลุ่ม แบบไม่ทำหลายวิเคราะห์แบบที่ 11
($f \bar{X}^x(m^{2/3})$ และ Density)

ตารางที่ 23 Classification Result ของกลุ่มทดสอบแบบไม่ทำหลายวิเคราะห์แบบที่ 11

			Predicted Group Membership				Total
			1.00	2.00	3.00	4.00	
Original	Count	1.00	30	0	0	0	30
		2.00	1	24	1	4	30
		3.00	0	5	17	8	30
		4.00	0	3	4	23	30
	%	1.00	100.0	.0	.0	.0	100.0
		2.00	3.3	80.0	3.3	13.3	100.0
		3.00	.0	16.7	56.7	26.7	100.0
		4.00	.0	10.0	13.3	76.7	100.0
Cross-validated ^a	Count	1.00	30	0	0	0	30
		2.00	1	24	1	4	30
		3.00	0	5	17	8	30
		4.00	0	3	4	23	30
	%	1.00	100.0	.0	.0	.0	100.0
		2.00	3.3	80.0	3.3	13.3	100.0
		3.00	.0	16.7	56.7	26.7	100.0
		4.00	.0	10.0	13.3	76.7	100.0

a. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

b. 78.3% of original grouped cases correctly classified.

c. 78.3% of cross-validated grouped cases correctly classified.

จากตาราง Classification results^{b,c} สรุปได้ว่าการจำแนกแบบ Original ทำนายถูก 78.3% พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุด 100% ผิด 0% กลุ่มที่ 3 มีความถูกต้องในการทำนายต่ำที่สุด 56.7% ผิด 43.3%

Cross-Validated ทำนายถูก 78.3% พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุด 100% ผิด 0% กลุ่มที่ 2 มีความถูกต้องในการทำนายต่ำที่สุด 56.7% ผิด 43.3%

3.3 สรุปผลการทดลอง

ในการแบ่งกลุ่มสับปะรดตามลักษณะของเนื้อ 3 ลักษณะ พบว่า ด้วยวิธี PCA สามารถคัดเกรดสับปะรดที่มีลักษณะเนื้อนุ่มมาก ออกจากสับปะรดที่มีเนื้อแกนได้ดี แต่ไม่สามารถแยกกลุ่มสับปะรดที่มีเนื้อนุ่มมาก และน้ำปานกลางออกจากกันได้ และจากการทดลองวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดและความแน่นเนื้อ โดยใช้เครื่อง Near Infrared Spectroscopy พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้วิธีนี้ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และการสร้างสมการโดยการเลือกความยาวคลื่นช่วง 680.67-950.28 นาโนเมตร ช่วยให้ได้สมการที่มีความแม่นยำในการทำนายมากยิ่งขึ้น ส่วนกรณีของปริมาณกรด และความแน่นเนื้อ วิธีนี้ไม่มีความแม่นยำพอในการสร้างสมการเพื่อทำนายค่า ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อ

การทดลองแบบทำลายโดยการนำค่าปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และค่าความแน่นเนื้อเป็นค่าบ่งชี้ในการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มเนื้อของสับปะรด 4 แบบ คือ เนื้อ 1 , เนื้อ 2 , เนื้อแกน และเนื้อแข็ง นั้นได้ผลไม่ค่อยแม่นยำได้ คือมีค่าในการจำแนกกลุ่มเท่ากับ 65 %

การทดลองแบบไม่ทำลายโดยการนำค่าความถี่ธรรมชาติ 3 ความถี่ที่ผ่านการ Fast Fourier transform Response แล้วแปลงค่าให้อยู่ในรูปของ Stiffness Coefficient ค่าในการวิเคราะห์ที่ได้ค่อนข้างต่ำ รวมทั้งการนำค่า Stiffness Coefficient ทั้ง 3 มาเฉลี่ยกันแล้วทำการวิเคราะห์แล้วผลที่ได้ต่ำ และเมื่อรวมค่าความหนาแน่น (Density) เข้าไปในการวิเคราะห์ทำให้ค่าในการทำนายสูงขึ้นมาก โดยการจำแนกกลุ่มเนื้อของสับปะรด 4 แบบมีค่าสูงที่สุดคือ 78.8%จากผลการทดลองที่ได้มีความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติ และความหนาแน่นของสับปะรดในการจำแนกกลุ่มเนื้อของสับปะรด 4 แบบได้

3.4 เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2546. การปลูกสับปะรด. พันธุ์ที่ปลูกมากในประเทศไทย. แหล่งที่มา:

<http://web.ku.ac.th/agri/pineapple/>, 23 กรกฎาคม 2547.

นิรนาม. 2530. สับปะรด. โครงการศึกษาการใช้วิทยาการที่เหมาะสมสำหรับผักสดและผลไม้สดเพื่อการส่งออก เสนอกรมพาณิชย์สัมพันธ์ กระทรวงพาณิชย์. บริษัทการจัดการการเกษตรและอุตสาหกรรม จำกัด, กรุงเทพฯ. 325น.

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2546. ปริมาณและมูลค่าสินค้าขาออกของไทย. สถิติการเกษตร
ของไทย. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/import-export.php>, 23 กรกฎาคม 2547.
- De Belie, N., S. Schotte, J. Lammertyn, B. Nicolai and J. De Baerdemaeker. 2000.
J. agric. Engng Res. 77(2):183-191.
- Dupart, F., M. Grotte, E. Pietri and D. Loonis. 1997. The Acoustic Impulse Response
Method for Measuring the Overall Firmness of Fruit. **J. agris. Engng Res.**
66:251-259.
- Kawano, S., H. Watanabe and M. Iwamoto. 1992. Determination of Sugar Content in
Intact Peaches by Near Infrared Spectroscopy with Fiber Optics in Interactance
Mode. **J. Japan. Soc. Hort. Sci.** 61(2): 445-451.
- McGlone, V.A., D.G. Fraser, R.B. Jordan and R. Kunnemeyer. 2003. Internal quality assessment
of mandarin fruit by vis/NIR spectroscopy. **J. Near Infrared Spectroscopy.** 11: 323-332.
- Saranwong, S., Jinda Sornsrivichai and Sumio Kawano. 2001. Improvement of PLS
calibration for Brix value and dry matter of mango using information from MLR calibration.
J. Near Infrared Spectroscopy. 9, 287-295.
- Schotte, S., N. De Belie and J. De Baerdemaeker. 1999. **Postharvest Biology and
Technology.** 17:105-115.
- Sohn, M.R., W.C. Park and R.K. Cho. 2000. Near Infrared Spectroscopy for Non-
Invasive Measuring of Internal Quality of Apple Fruit. **Near Infrared Analysis.** 1(1): 27-
30.