



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร)

ปริญญา

วิศวกรรมกรรมการอาหาร

วิศวกรรมกรรมการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองการใช้ข้อมูลสเปกตรัมเปลือกปรับปรุงการวัดคุณภาพภายในของส้ม
และมะม่วงด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Empirical Study of Using the Peel Spectra Information for Improving the Internal
Quality Evaluation of Orange and Mango Using Near Infrared Spectroscopy

นามผู้วิจัย นายประสาน เหล่าทรัพย์เจริญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศุมาพร เกษมสำราญ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ประภาศรี สิงห์รัตน์, M.Appl.Sc)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเชิงทดลองการใช้ข้อมูลสเปกตรัมเปลือกปรับปรุงการวัดคุณภาพภายในของส้มและ
มะม่วงด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Empirical Study of Using the Peel Spectra Information for Improving the Internal
Quality Evaluation of Orange and Mango Using Near Infrared Spectroscopy

โดย

นายประสาน เหล่าทรัพย์เจริญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร)

พ.ศ. 2552

ประธาน เหล่าทรัพย์สินเจริญ 2552: การศึกษาเชิงทดลองการใช้ข้อมูลสเปกตรัมเปลือก
ปรับปรุงการวัดคุณภาพภายในของส้มและมะม่วงด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรด
ย่านใกล้ ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร) สาขาวิศวกรรม
การอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D. 168 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาความแม่นยำในการทำนายคุณภาพภายในของส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วง
น้ำดอกไม้ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ที่ช่วงคลื่นสั้น (609 ถึง 1066 nm) และ
ช่วงคลื่นยาว (1100 ถึง 2500 nm) โดยใช้สเปกตรัมส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้จำนวนชนิด
ละ 51 ผล ทำการวัดสเปกตรัมแบบ Diffuse reflectance และ Interactance ที่ช่วงคลื่นยาว และสั้น
ตามลำดับ หลังจากนั้นคำนวณหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณกรดทั้งหมด ทำ
การปรับแต่งสเปกตรัมโดยเทคนิค Multiplicative Scatter Correction (MSC) หรือ Second
Derivative (2D) แล้ววิเคราะห์ผลด้วยวิธี Principle Components Regression (PCR) และ Partial
Least Squares Regression (PLSR)

จากการศึกษาพบว่าการทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งที่ช่วงคลื่นยาวมีความ
แม่นยำน้อยที่สุด เมื่อใช้เทคนิค Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) ทำให้
ทราบช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของเปลือกส้ม และจากการทดลองนำข้อมูล
ดังกล่าวมาทำ Normalization กับสเปกตรัมของส้มทั้งผล พบว่าการหารหรือลบสเปกตรัมด้วยค่า
สเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1128 nm สามารถทำให้ความแม่นยำเพิ่มขึ้นจากค่า SEP เท่ากับ 0.153
ก่อนปรับปรุงมาเป็นค่า SEP เท่ากับ 0.101 โดยความผิดพลาดในการทำนายปริมาณกรดทั้งหมดใน
ส้มทั้งผลลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95%

Prasan Laosubchareon 2009: Empirical Study of Using the Peel Spectra Information for Improving the Internal Quality Evaluation of Orange and Mango Using Near Infrared Spectroscopy. Master of Engineering (Food Engineering), Major Field: Food Engineering, Department of Food Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anupun Terdwongworakul, Ph.D. 168 pages.

This research studies an accuracy in predicting internal quality of *Sai Num Pueng* oranges and *Num Dok Mai* mangoes using Near Infrared Spectroscopy (NIRS) in the short wavelength region (SWNIR) of 609 to 1066 nm and long wavelength region (LWNIR) of 1100 to 2500 nm. In the study, for each fruit, a sample of 51 fruits for each intact sample, the diffuse reflectance and the interactance were measured at LWNIR and SWNIR, respectively. juice was then used to measure soluble solids content and total acidity. The spectra were pretreated with either Multiplicative Scatter Correction (MSC) or Second Derivative (2D) prior to analyses Principle Component Regression (PCR) and Partial Least Squares Regression (PLSR) were used to analyze the spectra to create calibration models.

The study showed that prediction of total acidity of Sai Num Pueng oranges gave the lowest accuracy in LWNIR. Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) was performed to determine the appropriate wave bands relating to the peel Original. The obtained wave bands were then used to normalize the intact orange spectra. The results suggested that dividing or subtracting total original with original at 1128 nm improved the accuracy performance of the calibration model. The prediction accuracy of the total acidity was better with the standard error of prediction (SEP) of 0.153 using the original spectra against 0.101 using normalized spectra respectively. The SEP was significantly lowered at 95 percent confident interval.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล ประธาน
กรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไข
วิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวลักษณ์
ปฐวิรัตน์ และ ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ กรรมการร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการทำ
วิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณวารุณี ธนะแพทย์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร ที่ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลืออนุเคราะห์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับ
นี้

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้
กำลังใจชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ประธาน เหล่าทรัพย์เจริญ

มีนาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	45
สรุป	77
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	78
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก ค่าทางเคมีของส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้	87
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์หาค่าทางเคมี	106
ภาคผนวก ค การใช้โปรแกรม Unscrambler	108
ภาคผนวก ง ค่าทางสถิติจากสมการทำนายของส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้	116
ภาคผนวก จ การเปรียบเทียบค่าทางเคมีในแต่ละด้านของส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี One Way ANOVA และการเปรียบเทียบค่า SEP ด้วยวิธี Paired t- test ของการวัดแบบทั้งผลกับการวัดแบบปอกเปลือก	167

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของผลมะม่วงบางพันธุ์	6
2	ความถ่วงจำเพาะ การจมน้ำ และช่องว่างระหว่างเมล็ดกับเปลือกหุ้มเมล็ด	7
3	การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด	17
4	ค่าทางสถิติปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของ ส้มสายน้ำผึ้งในกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction โดยเรียงตัวอย่างค่า ทางเคมีจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	45
5	ค่าทางสถิติปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของ มะม่วงน้ำดอกไม้ในกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction โดยเรียงตัวอย่าง ค่าทางเคมีจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	46
6	ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อ ทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm	52
7	ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อ ทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm	52
8	ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อ ทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้ม สายน้ำผึ้งในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm	53
9	ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อ ทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของ มะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm	53
10	ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อ ทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก และ เปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งในช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm	54

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm	54
12	ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือกของส้มสายน้ำผึ้งในช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm	55
13	ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm	55
14	การเปรียบเทียบค่า SEP ด้วยวิธี Paired t-test ของการวัดแบบทั้งผลกับการวัดแบบปอกเปลือกที่วิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR โดยเลือกสมการดีที่สุดหลังปรับแต่งของส้มและมะม่วงในช่วงความเชื่อมั่น 95% โดยกลุ่มตัวอย่างที่เรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	57
15	ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของส้มสายน้ำผึ้งแบบทั้งผลที่ช่วงคลื่นสั้น (SWNIR) และช่วงคลื่นยาว (LWNIR)	60
16	ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของมะม่วงน้ำดอกไม้แบบทั้งผลที่ช่วงคลื่นสั้น (SWNIR) และช่วงคลื่นยาว (LWNIR)	60
17	ค่าทางสถิติเปรียบเทียบสมการ Calibration ก่อนและหลังจากทำ MWPLSR ที่สร้างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของส้มสายน้ำผึ้งแบบทั้งผลที่ช่วงคลื่นยาว (LWNIR)	64
18	ผลการปรับปรุงสมการ Calibration ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี PLSR เรียงตัวอย่างในแต่ละด้าน	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ผลการปรับปรุงสมการ Calibration ของค่าปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี PLSR เรียงตัวอย่างในแต่ละด้าน	72
20	ผลการปรับปรุงสมการ Calibration ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี PLSR เรียงตัวอย่างโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล	73
21	ผลการปรับปรุงสมการ Calibration ของค่าปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี PLSR เรียงตัวอย่างโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล	75
ตารางผนวกที่		
ก1	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความหนาเปลือกของส้มสายน้ำผึ้ง	88
ก2	ค่าทางสถิติปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดของผลส้มสายน้ำผึ้งในกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction โดยเรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล	96
ก3	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดของมะม่วงน้ำดอกไม้	97
ง1	ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	117
ง2	ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	118
ง3	ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง4 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	120
ง5 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	121
ง6 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	122
ง7 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	123
ง8 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	124
ง9 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจากการด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	125
ง10 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจากการด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	128

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง11 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดใน สัมสายน้ำผึ้ง หลังจากตัด 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ทุกความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	131
ง12 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดใน สัมสายน้ำผึ้ง หลังจากหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ละความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไป มากของแต่ละด้าน	132
ง13 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในสัมสายน้ำผึ้งด้วย วิธี หลังจากหารด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ละความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละ ด้าน	133
ง14 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในสัมสายน้ำผึ้ง หลังจากลบด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ละความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	136
ง15 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในสัมสายน้ำผึ้ง หลังจากตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน	139
ง16 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในสัมสายน้ำผึ้ง หลังจากหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ละความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละ ด้าน	140
ง17 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบ ทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของสัมสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	141

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง18 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบ ทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	142
ง19 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอก เปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	143
ง20 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอก เปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	144
ง21 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบ ทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	144
ง22 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบ ทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	145
ง23 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอก เปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดย เรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	145
ง24 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอก เปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	146

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง25 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm	146
ง26 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm	147
ง27 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm	147
ง28 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm	148
ง29 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm	148
ง30 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm	149
ง31 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm	149
ง32 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm	150

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง33 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้ม สาลี่น้ำผึ้ง หลังจากการหาค่าความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจาก การคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	151
ง34 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดใน ส้มสาลี่น้ำผึ้ง หลังจากการหาค่าความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมาก จากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	154
ง35 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดใน ส้มสาลี่น้ำผึ้ง หลังจากการหาค่าความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ย ของแต่ละผล	157
ง36 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดใน ส้มสาลี่น้ำผึ้ง หลังจากการหาค่าความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไป มากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	158
ง37 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสาลี่น้ำผึ้ง หลังจากการหาค่าความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิด ค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	159
ง38 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสาลี่น้ำผึ้ง หลังจากการหาค่าความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ย ของแต่ละผล	162

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง39 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจากตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	165
ง40 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจากหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ละความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจาก การคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล	166
จ1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในแต่ละ ด้านของส้มสายน้ำผึ้ง ด้วยวิธี One Way ANOVA	168
จ2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณกรดทั้งหมดในแต่ละด้านของส้มสาย น้ำผึ้งด้วยวิธี One Way ANOVA	168
จ3 การเปรียบเทียบค่า SEP ด้วยวิธี Paired t-test ของการวัดแบบทั้งผลกับการวัด แบบปอกเปลือกที่วิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR ของส้มและมะม่วงที่ช่วงความ เชื่อมั่น 95% โดยกลุ่มตัวอย่างที่เรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากของ แต่ละด้าน	168

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ช่วงความยาวคลื่นของ Near Infrared ที่อยู่ในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	17
2 เทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบต่างๆ ด้วยเครื่องมือ NIR Spectroscopy	20
3 หลักการทำงานของเครื่องมือ NIR Spectroscopy	21
4 แผนผังขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างสมการทำนายจากสเปกตรัมที่วัดได้จาก เครื่องมือ NIR	22
5 อนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งและสองของสเปกตรัมเริ่มต้น	23
6 การใช้ Second Derivative แก้ปัญหาการซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัม	24
7 การใช้ Second Derivative แก้ปัญหาการเพิ่มที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นเป็นเส้นตรงมีความชันของสเปกตรัม	25
8 NIR สเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect ก่อนการปรับแก้ด้วยวิธี Multiplicative Scatter Correction (MSC)	26
9 NIR สเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect หลังการปรับแก้ด้วยวิธี MSC	26
10 เครื่อง Near Infrared Spectroscopy รุ่น InfraAlyzer 500 ของ Bran+Luebbe และรุ่น FQA-NIR GUN ของ FANTEC ตามลำดับ	43
11 A ด้านที่ทำการสแกนตัวอย่างส้มสายน้ำผึ้ง, B การวัดส้มทั้งผล, C การวัดเปลือกส้ม, D การวัดส้มปอกเปลือก และ E การวัดน้ำส้ม	43
12 A ด้านที่ทำการสแกนตัวอย่างมะม่วงน้ำดอกไม้, B การวัดมะม่วงทั้งผล, C การวัดเปลือกมะม่วง, D การวัดมะม่วงปอกเปลือก และ E การวัดน้ำมะม่วง	44
13 สเปกตรัมเฉลี่ยของส้มทั้งผล ส้มปอกเปลือก และเปลือกส้ม จากเครื่อง NIR-Gun	48
14 สเปกตรัมเฉลี่ยของส้มทั้งผล ผลปอกเปลือก เปลือกส้ม และน้ำส้ม จากเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ยี่ห้อ Brun+Luebbe รุ่น InfraAlyzer 500	49
15 สเปกตรัมเฉลี่ยของมะม่วงทั้งผล ผลปอกเปลือก และเปลือกมะม่วง จากเครื่อง NIR-Gun	50
16 สเปกตรัมเฉลี่ยมะม่วงทั้งผล ผลปอกเปลือก เปลือกมะม่วง และน้ำมะม่วง จากเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ยี่ห้อ Brun+Luebbe รุ่น InfraAlyzer 500	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	สเปกตรัมทั้งหมดของส้มสายน้ำผึ้งทั้งผลและผลปอกเปลือกจากเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ยี่ห้อ Brun+Luebbe รุ่น InfraAlyzer 500	58
18	กราฟระหว่างค่า Log (SSR) กับช่วงความยาวคลื่น จากวิธี MWPLSR เพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มทั้งผลที่ช่วงคลื่นยาว	62
19	กราฟระหว่างค่า Log (SSR) กับช่วงความยาวคลื่น จากวิธี MWPLSR เพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของส้มทั้งผลที่ช่วงคลื่นยาว	63
20	ค่า Score Plot ของผลส้มสายน้ำผึ้งปอกเปลือกและเปลือกในช่วงคลื่นยาว (ก) PC1 กับ PC2 (ข) PC1 กับ PC3 และ (ค) PC2 กับ PC3	65
21	ค่า x-loading และ x-loading weights ของ PC1 ระหว่างผลส้มสายน้ำผึ้งปอกเปลือกและเปลือกในช่วงคลื่นยาว	66
22	ค่า Score Plot ของส้มสายน้ำผึ้งทั้งผลและส้มปอกเปลือก ในช่วงคลื่นยาว (ก) PC1 กับ PC2 (ข) PC1 กับ PC3 และ (ค) PC2 กับ PC3	67
23	ค่า x-loading และ x-loading weights ของ PC1 ระหว่างส้มสายน้ำผึ้งทั้งผลกับส้มปอกเปลือกในช่วงคลื่นยาว	69
ภาพผนวกที่		
ค1	การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Multiplicative Scattering Correction (MSC)	109
ค2	การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Derivatives	110
ค3	การสร้างสมการทำนาย (Calibration)	111
ค4	การทำนาย (Prediction)	112
ค5	การแบ่งกลุ่มแบบ Principle Component Analysis (PCA)	113
ค6	การแบ่งกลุ่มแบบ Discrimination Partial Least Squares (PLS-DA)	114
ค7	การแบ่งกลุ่มแบบ Soft Independent Modeling of Class Analog (SIMCA)	115

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

NIRS	=	Near Infrared Spectroscopy
SWNIR	=	Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy (609 to 1066 nm)
LWNIR	=	Long Wavelength Near Infrared Spectroscopy (1100 to 2500 nm)
MLR	=	Multiple Linear Regression
PCR	=	Principal Component Regression
PLSR	=	Partial Least Squares Regression
MWPLSR	=	Moving Window Partial Least Squares Regression
PLS-DA	=	Partial Least Squares Discriminant Analysis
R^*	=	Correlation Coefficient of Calibration
R^{**}	=	Correlation Coefficient of Prediction
SEC	=	Standard Error of Calibration
SEP	=	Standard Error of Prediction
RMSEP	=	Root Mean Square Error of Prediction
2D	=	Second Derivative
MSC	=	Multiplicative Scattering Correction
PC	=	Principal Component
TA	=	Total Acidity
SSC	=	Soluble Solids Content

**การศึกษาเชิงทดลองการใช้ข้อมูลสเปกตรัมเปลือกปรับปรุงการวัดคุณภาพภายในของ
ส้มและมะม่วงด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้**

**Empirical Study of Using the Peel Spectra Information for Improving the
Internal Quality Evaluation of Orange and Mango Using
Near Infrared Spectroscopy**

คำนำ

ประเทศไทยมีผลผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้และส้มสายน้ำผึ้งเพิ่มขึ้น ทำให้การบริโภคผลสดภายในประเทศอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะรองรับผลผลิตได้ทั้งหมด จึงจำเป็นต้องมีการส่งไปขายยังตลาดต่างประเทศ เพื่อลดปัญหาผลผลิตล้นตลาด ทำให้ไม่สามารถขายสินค้าได้ หรือขายสินค้าได้ในราคาถูก แต่การที่จะส่งผลิตผลไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศได้นั้น ผลผลิตจำเป็นต้องมีคุณภาพดี ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น สี ความแก่ ขนาด รูปร่าง ความแข็งแรงของผล ตำหนิต่างๆ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด และอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาต่างๆ เป็นต้น การกำหนดมาตรฐานของผลิตผล ทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อผลิตผลได้ตามความต้องการและใช้ป้องกันปัญหาการกีดกันการค้าระหว่างประเทศในด้านคุณภาพ ซึ่งในขณะนี้การกำหนดมาตรฐานของผลิตผลเป็นข้อกำหนดพื้นฐาน เช่น เรื่องของขนาด ภาชนะบรรจุ การปนเปื้อนของสารเคมีต่างๆ ที่ติดมากับผลและด้านสุขลักษณะต่างๆ เท่านั้น แต่ปัญหาของมะม่วงน้ำดอกไม้และส้มสายน้ำผึ้งคือ ผลผลิตมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ เช่น มีรสเปรี้ยวและรสชาติจืดชืด ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ ส่งผลให้ผู้บริโภคขาดความมั่นใจในด้านคุณภาพของผลิตผล และยังส่งผลให้การบริโภคลดลง ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาเรื่องการส่งออกผลิตผลในภาพรวม

การตรวจคุณภาพภายในด้วยเทคนิคที่ไม่ทำลายมีหลายวิธี เช่น การวัดการสั่นสะเทือน (Vibration) การวัดความหนาแน่น (Density) การใช้การกระทบ (Impact) การวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties) การใช้คุณสมบัติทางแสง (Optical Properties) การใช้อุตราโซนิก (Ultrasonic Methods) การใช้ Nuclear Magnetic Resonance และ การใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy เป็นต้น

การตรวจคุณภาพด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared spectroscopy, NIRS) เป็นเทคนิคที่มีข้อดีหลายประการ เช่น รวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่าง ใช้สารเคมีปริมาณน้อยหรือไม่มีการใช้สารเคมี ประหยัดแรงงาน ช่วยลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์คุณภาพหลายๆ อย่างในเวลาเดียวกัน จึงมีการใช้เทคนิค NIRS มาตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตร

งานวิจัยที่ผ่านมาการวัดคุณภาพภายในด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ของผลไม้ที่สมบูรณ์จะมีความแม่นยำน้อยกว่าการวัดแบบทำลาย ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย แต่อิทธิพลหนึ่งที่มีผลทำให้ความแม่นยำลดลงก็คือ เปลือก

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาทำความเข้าใจอิทธิพลของเปลือกผลไม้ ในที่นี้คือ มะม่วงและส้ม ที่มีผลต่อการดูดกลืนคลื่นแสง NIRS เพื่อหาเทคนิควิธีการลดอิทธิพลดังกล่าว และเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการสร้างสมการทำนาย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ตรวจสอบคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง
2. เพื่อสร้างสมการที่นำข้อมูลการดูดกลืนแสงของเปลือกมาใช้เพื่อทำให้สามารถทำนายค่าทางเคมีแม่นยำมากขึ้น

การตรวจเอกสาร

1. มะม่วง

1.1 ความสำคัญ

มะม่วงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. จัดอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae เป็นไม้ผลเขตร้อนมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศพม่าและอินเดีย (บุญเลิศ, 2532) มะม่วงที่ส่งไปจำหน่ายต่างประเทศส่วนใหญ่เป็นมะม่วงรับประทานผลสุก ซึ่งพันธุ์ที่เป็นที่นิยมของตลาดต่างประเทศมีอยู่หลายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์น้ำดอกไม้ หนั่งกลางวัน และทองดำ (อรุณรัตน์, 2529) สำหรับประเทศไทยนอกจากจะมีการปลูกมะม่วงเพื่อจำหน่ายในประเทศแล้ว ยังมีการปลูกมะม่วงเพื่อใช้ในการส่งออก โดยในปี 2549 ส่งออกมะม่วงทั้งหมดเป็นน้ำหนัก 12,065 เมตริกตัน มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 383.3 ล้านบาท (<http://www.oae.go.th/statistic/export/QVExp.xls>, 7 มิถุนายน 2550)

1.2 พันธุ์มะม่วง

พันธุ์มะม่วงในประเทศไทยแบ่งตามประโยชน์ที่ใช้ได้ 3 ประเภท (เปรมปรี, 2537)

1.2.1 มะม่วงพันธุ์รับประทานผลดิบ มะม่วงกลุ่มนี้เป็นที่นิยมของตลาดในประเทศ และมีราคาสูงส่วนใหญ่ในต่างประเทศยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก พันธุ์มะม่วงในกลุ่มนี้มีอยู่มาก แต่พันธุ์ที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ พันธุ์เขียวเสวย ฟ้าลั่น มั่นเคื่อนแก้วและแรด เป็นต้น

1.2.2 มะม่วงพันธุ์รับประทานผลสุก มะม่วงในกลุ่มนี้ขณะดิบจะมีรสเปรี้ยวมาก แต่เมื่อสุกจะมีรสหวาน เป็นที่นิยมของตลาดต่างประเทศมาก ซึ่งพันธุ์ที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ และทองดำ เป็นต้น

1.2.3 มะม่วงพันธุ์แปรรูปและประกอบอาหาร ผลมะม่วงสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น มะม่วงดอง น้ำมะม่วง ซอสมะม่วง มะม่วงกวน มะม่วงแช่อิ่ม โดยพันธุ์ที่เหมาะสมในการแปรรูป ได้แก่ พันธุ์แก้ว สามปี และสามฤดู เป็นต้น

1.3 ลักษณะประจำพันธุ์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็นมะม่วงพันธุ์รับประทานสุก โดยขณะสุกผิวมีสีเหลือง ออกดอกคกแต่ติดผลปานกลาง ให้ผลทุกปี เวลาตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งผลแก่ใช้เวลาประมาณ 115 วัน มีผลขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ ลักษณะของผลอ้วนจนเกือบกลม หัวใหญ่ ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เปลือกบางและเปราะ ผิวผลมีต่อมกระจายห่างๆ ทั่วผล เมื่อดิบผิวเปลือกสีเขียวจนเนื้อแน่นและหนา รสเปรี้ยวจัด เมื่อแก่จัดรสมัน เมื่อสุกมีรสหวานและผิวเปลือกสีเหลืองนวลถึงเหลืองทอง เนื้อผลสีเหลืองมีกลิ่นหอม ลักษณะเนื้อละเอียด มีเส้นค่อนข้างน้อย เมล็ดแบนและยาว (เปรมปรี, 2537)

1.4 การเก็บเกี่ยวมะม่วง

คุณค่าของผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวได้มีความสำคัญต่อผลตอบแทนที่จะได้จากการขายผลมะม่วงเหล่านั้น การเก็บเกี่ยวผลมะม่วงที่ความเหมาะสมและปฏิบัติต่อผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวได้อย่างถูกวิธี จะทำให้ได้ผลที่มีคุณภาพดี และจำหน่ายได้ราคาสูง อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ความอ่อนแก่ของผลมะม่วงมีผลโดยตรงต่อคุณภาพในการรับประทานหรือรสชาติของผลมะม่วงและความแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ (เฉลิมชัย, 2539) ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลมะม่วง อาจใช้เกณฑ์ในการพิจารณาได้จาก

1.4.1 การนับอายุผล การนับอายุผลเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้เพื่อหาความแก่ที่เหมาะสมของผลมะม่วงอายุของผลอาจนับตั้งแต่วันที่ช่อดอกบานหรือบานเต็มที่ จนกระทั่งวันที่เก็บเกี่ยวซึ่งการนับอายุผลจะมีจำนวนวันเท่าไรนั้นขึ้นกับพันธุ์ของมะม่วง (เฉลิมชัย, 2539) อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของมะม่วงบางพันธุ์แสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของผลมะม่วงบางพันธุ์

พันธุ์	อายุการเก็บเกี่ยว	นับตั้งแต่
เขียวเสวย	105	ออกดอก
	96-111	ดอกบาน
	91	หลังช่อดอกติดผล 50 เปอร์เซ็นต์
ทองคำ	105	ดอกเริ่มบาน
	95-102	ดอกบานเต็มที่
แรด	77	หลังช่อดอกติดผล 50 เปอร์เซ็นต์
ฟ้าลั่น	70	หลังช่อดอกติดผล 50 เปอร์เซ็นต์
พิมเสน	95	ดอกบานเต็มที่
หนังกกลางวัน	110-115	ดอกบานเต็มที่
น้ำดอกไม้	115	ออกดอก
	95-110	ดอกบานเต็มที่
	93	ติดผล

ที่มา: เฉลิมชัย (2539)

1.4.2 ความถ่วงจำเพาะ เมื่อผลมะม่วงมีอายุมากขึ้นผลมะม่วงจะมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงมีค่ามากขึ้น ในทางปฏิบัติเราไม่ต้องคำนวณหาความถ่วงจำเพาะของผลแต่สังเกตจากการจมและลอยน้ำของผลมะม่วง ผลมะม่วงแก่จะจมน้ำในขณะที่ผลมะม่วงอ่อนจะลอยน้ำ อย่างไรก็ตามผลมะม่วงแก่บางพันธุ์มีความถ่วงจำเพาะน้อยจึงไม่จมน้ำดังนั้นการใช้ความถ่วงจำเพาะเป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวจึงมีข้อจำกัดสำหรับผลมะม่วงบางพันธุ์ (เปรมปรี, 2537) ตารางที่ 2 แสดงความถ่วงจำเพาะ การจมน้ำ และช่องว่างระหว่างเมล็ดกับเปลือกหุ้มเมล็ด

ตารางที่ 2 ความถ่วงจำเพาะ การจมน้ำ และช่องว่างระหว่างเมล็ดกับเปลือกหุ้มเมล็ด

พันธุ์	ความถ่วงจำเพาะ	การจมน้ำ	ช่วงระหว่างเมล็ดกับเปลือกหุ้ม
เขียวเสวย	0.97	ลอย	มาก
แรด	0.99	ลอย	มาก
ทองคำ	1.01	จม	น้อย
หนังกกลางวัน	1.03	จม	น้อย
น้ำดอกไม้	1.03	จม	น้อย

ที่มา: สายชล (2530)

1.4.3 การเกิดนวลที่ผิวผล ผลมะม่วงเกือบทุกพันธุ์เมื่อผลแก่จัดนวลหรือไขที่ผิวจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการเกิดนวลจึงเป็นดัชนีที่ใช้บอกถึงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงได้ (เฉลิมชัย, 2539)

1.4.4 ลักษณะอื่นๆ นอกจากวิธีดังกล่าวอาจใช้วิธีอื่นๆ ที่ง่าย เช่น ดูการเปลี่ยนสีผิว ขนาดผล ความพองอูมของแก่ผล ความแข็งของเปลือกหุ้มเมล็ด และการชิมรสชาติ เป็นต้น (ศิวพร, 2539)

1.5 การเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วง

ผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวจากต้นมาแล้วจะยังมีกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตอาหารและสารประกอบต่างๆ ภายในผลจะถูกเผาผลาญเพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ อาหารจะถูกใช้ไปเรื่อยๆ โดยไม่ได้มาเพิ่มเติมดังเช่นที่บนต้น ในที่สุดผลก็จะเสื่อมลงและเสียหายไปในที่สุด (วิจิตร, 2529) การเปลี่ยนแปลงของมะม่วงภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผล เช่น ทางสรีระ เคมี และกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารพวก คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามิน กรดอินทรีย์ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น ความแน่นของเนื้อมะม่วง การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อและผล ตลอดจนกลิ่นและรสชาติ เป็นต้น (สุรพงษ์, 2529) การเปลี่ยนแปลงหลักภายในผลมะม่วงจากดิบไปสู่สุกเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเมทาบอลิซึม โดยมีสภาพแวดล้อมรอบผลมะม่วงช่วยกระตุ้นให้เร็วขึ้น หรือในทางกลับกันอาจจะช่วย

ชะลอการเปลี่ยนแปลงให้ช้าลง ปัจจัยสำคัญของสภาพแวดล้อมรอบผลมะม่วง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และการถ่ายเทอากาศ (เฉลิมชัย, 2539) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกของผลมะม่วง ได้แก่

1.5.1 อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric (สายชล, 2530) ลักษณะเด่นที่สำคัญของผลไม้ประเภทนี้ คือ มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นขณะที่ผลไม้เริ่มสุก ในมะม่วงพบว่ามีลักษณะการเพิ่มขึ้นของการหายใจก่อนที่จะมีการสุกของผล ซึ่งตรวจวัดได้ในรูปของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คายออกมา หรือปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในแต่ละวันภายหลังการเก็บเกี่ยว Subramanyam *et al.* (1975) ได้จำแนกรูปแบบการหายใจของผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวออกเป็น 4 ระยะ คือ

ก. Preclimacteric เป็นระยะที่มีอัตราการหายใจต่ำ ผิวผลยังมีสีเขียวและเนื้อผลแข็ง

ข. Climacteric rise ระยะนี้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ผิวผลยังคงมีสีเขียวและเนื้อยังแข็งอยู่ ช่วงเวลาดังแต่เก็บผลจากต้นจนกระทั่งสิ้นสุดระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 5 วัน

ค. Climacteric peak เป็นระยะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด ผลเริ่มนิ่ม ผิวผลเริ่มนิ่มผิวผลเริ่มเปลี่ยนสี และเริ่มมีกลิ่นหอมเล็กน้อย โดยทั่วไประยะนี้จะเกิดขึ้นประมาณวันที่ 6 ถึง 10 ภายหลังการเก็บเกี่ยว

ง. Postclimacteric ระยะที่มักเกิดขึ้นหลังจากวันที่ 10 เป็นต้นไป เป็นระยะที่อัตราการหายใจของผลเริ่มลดลง และเมื่อลดลงไปประมาณ 2 ถึง 3 วัน มะม่วงมีสภาพเหมาะสมที่สุดต่อการรับประทานสุก

1.5.2 การเปลี่ยนสีของผล

มะม่วงที่อยู่ในระยะแก่จัดเมื่อเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง (บุญเลิศ, 2532) ซึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ โดยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส โดยทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของคลอโรฟิลล์ให้เปลี่ยนไปเป็น chlorophyllide และ phytol พบอยู่ในคลอโรพลาสต์ของพืชในรูปของ chlorophyll-lipoprotein complex (chloroplastin) (Gross, 1987) เอนไซม์คลอโรฟิลเลสแบ่งออกเป็น 2 รูปคือ รูปที่ละลายน้ำ (soluble) และรูปที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble) ทั้งสองรูปนี้มีอุณหภูมิและความเข้มข้นของอะซิโตนที่เหมาะสมในการสกัดแตกต่างกัน (Ogura, 1987) คลอโรฟิลล์เป็นเม็ดสีที่พบอยู่ในคลอโรพลาสต์ของเซลล์ อาจแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ซี คลอโรฟิลล์ดี แต่คลอโรฟิลล์หลักที่พบอยู่ในพืชชั้นสูงคือ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์เป็นเม็ดสีที่ไม่ละลายน้ำ โครงสร้างทางโมเลกุลประกอบด้วยโครงสร้างหลักคือ สารกลุ่ม tetrapyrrole มีวงแหวน 4 วง แต่ละวงมีไนโตรเจนเป็นหลักเกาะล้อมรอบ แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) เป็นโครงสร้างส่วนที่ทำให้เกิดสี และ phytol ring ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ต่อกันเป็นสายยาวประกอบด้วยสารพวกไฮโดรคาร์บอน (Lizada, 1993)

ในมะม่วงบางพันธุ์อาจมีสีแดงปรากฏขึ้นที่บริเวณเปลือกของผลเนื่องจากการพัฒนาของแอนโทไซยานิน การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วงนั้นจะมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะประจำพันธุ์ เช่น พันธุ์ Harwmanis และ Katchamita จะยังคงมีสีเขียวอยู่แม้ว่าอยู่ในระยะสุกเต็มที่ (Lizada, 1993) ขณะที่พันธุ์ Tommy Atkin พบว่ามีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์อย่างรวดเร็ว (Medlicott *et al.*, 1986) โดยหลังการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ แครโทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองจะปรากฏขึ้น ทำให้เปลือกผลมะม่วงเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลือง (เฉลิมชัย, 2539)

1.5.3 การอ่อนตัวของผล

การอ่อนตัวของผลติดผลเกิดขึ้นจากสาเหตุหลัก 3 ประการคือ การสูญเสียความเต่งของเซลล์ การสลายตัวของแป้งหรือไขมัน การเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ การสูญเสียความเต่งของเซลล์จะเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำของผล โดยผ่านทางช่องเปิดต่างๆของผล ทำให้เกิดการอ่อนและนิ่ม (สุรพงษ์, 2529) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสระหว่างการสุกของผลไม้โดยส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ เมื่อผลสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคติน (pectic compounds) ซึ่งเปลี่ยนรูปจาก protopectin ซึ่ง

ไม่ละลายน้ำไปเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ โดยการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิดคือ polygalacturonase (PG) และ pectin esterase (PE) (ศิริพร, 2539)

1.5.4 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทางชีวเคมีอื่นๆ

เมื่อผลมะม่วงมีอายุมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ เปอร์เซ็นต์กรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณวิตามินซี การสูญเสียน้ำหนัก ตลอดจนระยะเวลาที่ใช้ในการสุกตามธรรมชาติลดลง ขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (soluble solids) และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น (สายชล, 2530)

1.6 การเก็บรักษาผลมะม่วง

สายชล (2533) อธิบายว่า ปัญหาที่สำคัญในระหว่างการเก็บรักษาผลมะม่วงคือ การเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเนื่องจากผลมะม่วงเป็นผลไม้ประเภท Climacteric fruit เมื่อผลมะม่วงแก่จัดหรือเริ่มสุกจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น ผลมะม่วงที่มีอัตราการหายใจสูงจะเก็บรักษาได้ไม่นาน เพราะมีการใช้อาหารสะสมมากทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพได้เร็ว จึงจำเป็นต้องเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ในอุณหภูมิต่ำ เพื่อยับยั้งการหายใจและกระบวนการเมตาบอลิซึมที่จะนำไปสู่การเสื่อมสภาพ ตลอดจนลดอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อีกด้วย โดยทั่วไปผลมะม่วงสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10-12 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90-95 ได้นาน 2-3 สัปดาห์ มะม่วงพันธุ์เขียวเสวยและอกร่องเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ได้นาน 20 วัน มะม่วงพันธุ์พิมเสนมันและแรดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส ได้นาน 28 วัน มะม่วงพันธุ์หนังกลางวันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ได้นาน 28 วัน และมะม่วงพันธุ์ทองคำเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9-10 องศาเซลเซียส ได้นาน 28 วัน มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ได้นาน 26 วัน ยังคงมีคุณภาพดี

2. สัม

2.1 ความสำคัญ

ปัจจุบันสัมมีปริมาณการส่งออกที่สูงเพิ่มขึ้น จากพ.ศ. 2548 การส่งออกสัมรวมทุกประเภทมีปริมาณ 12,302 เมตริกตัน มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 239 ล้านบาท ต่อมาใน

พ.ศ. 2549 การส่งออกของส้มรวมทุกประเภทเพิ่มขึ้นมีปริมาณ 25,212 เมตริกตัน มีมูลค่าการส่งออกประมาณ 473 ล้านบาท (<http://www.oae.go.th/statistic/export/QVExp.xls>, 7 มิถุนายน 2550) ซึ่งการส่งออกส้มทุกประเภทมีปริมาณและมูลค่าสูงขึ้นจาก พ.ศ.2548-2549 ประมาณ 2 เท่า การตรวจสอบคุณภาพของส้มจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

2.2 ลักษณะทั่วไปของส้ม

ส้ม (citrus) หมายถึง กลุ่มพืชเกือบทั้งหมดที่จัดอยู่ในวงศ์ (family) Rutaceae และจากการจัดแบ่งกลุ่มทั่วไปของส้มที่ปลูกเป็นการค้าเพื่อบริโภคนั้น มี 3 genera ของ family Rutaceae คือ Citrus, Fortunella และ Poncirus ส้มมีความหลากหลายทางพันธุกรรมที่กว้างขวางมาก อีกทั้งแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์ต่างก็มีลักษณะพิเศษเฉพาะตัวระหว่าง กลิ่น กรด ความหวาน สี และขนาด เช่น ส้มหวาน (mandarin หรือ tangerine) ส้มโอ (pummelo) มะนาว (lime) มะนาวฝรั่ง (lemon) มะกรูด (leech lime) ส้มเกลี้ยงและส้มตรา (sweet orange) ส้มกินเปลือก (kumquat) เป็นต้น (รวี, 2541)

ส้มเขียวหวานพันธุ์โชกุน (*Citrus reticulata* Blanco cv. Shogun) หรือส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งจัดอยู่ในกลุ่มส้มเปลือกอ่อน (mandarin หรือ tangerine) อยู่ในวงศ์ Rutaceae มีลักษณะคล้ายส้มเขียวหวานมากเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางสูงประมาณ 15-25 ฟุต ดอกเกิดจากยอดอ่อนเป็นดอกเดี่ยว กลีบเลี้ยง (sepal) สีเขียวมี 5 กลีบ กลีบดอก (petal) สีขาวมี 4-5 กลีบ เป็นดอกสมบูรณ์ (complete flower) ผลเป็นแบบ hesperidium ผลทรงกลมเป็นเล็กน้อย ด้านปลายผลราบเป็นแอ่งตื้นๆ ฐานผลมีลูกขนาดเล็ก ผิวเรียบมีตุ่มน้ำมันเกิดใต้ผิวผล พนักกลีบบาง มีรกลีบน้อย ชานนึ่ง เมล็ดขนาดเล็กยาวประมาณ 9 มิลลิเมตร กว้าง 6 มิลลิเมตร จัดเป็น polyembryonic มีจำนวนเมล็ดน้อยจนถึง 12 เมล็ดต่อผล (เปรมปรี, 2537) ผลมีลักษณะและสีผิวใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน แต่กลิ่นผลมีรสชาติซึ่งเป็นเอกลักษณ์พิเศษของส้มสายน้ำผึ้งเปลือกผลอ่อนมีกลิ่นหอมคล้ายส้มจีน เนื้อแน่น ชานนึ่งมาก น้ำส้มปริมาณมาก รสชาติหวานแหลม อมเปรี้ยวเล็กน้อย จุดเด่นเหล่านี้จึงทำให้ส้มโชกุนได้รับความนิยมในการบริโภคเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (เปรมปรี, 2544)

2.3 โครงสร้างของผลส้ม

ผลส้มประกอบด้วยเปลือกผลชั้นนอก (flavedo) เปลือกผลชั้นกลาง (albedo) เนื้อผล (endocarp) และเมล็ด เปลือกผลชั้นนอก (flavedo) มีคิวทิน (cuticle layer) เคลือบเซลล์ผิวชั้นนอก (epidermal layer) ซึ่งมี 1 ชั้น ใต้ชั้นเซลล์ผิว (subepidermal layer) เป็นกลุ่มเซลล์พาราคีมา

(subepidermal parenchyma) เรียง 2-3 ชั้น ต่อมไขมัน (oil gland) เป็นแบบ schizogenous space เกิดจากการเสื่อมสลายของเซลล์พาเรงคิมาที่กระจายอยู่รอบผล (Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996) ในระยะแรกของการเจริญเติบโตของผล เซลล์ผิวของเปลือกผลชั้น flavedo มีสีเขียวเข้มของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ที่อยู่ภายในเซลล์สามารถสังเคราะห์แสงได้ เมื่อผลเจริญเต็มที่ คลอโรฟิลล์จะลดปริมาณลง แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เพิ่มขึ้น เปลือกผลเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหรือสีส้มตามชนิดพันธุ์

เปลือกผลชั้นกลาง (albedo) ประกอบด้วยเซลล์ spongy parenchyma เซลล์เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ มี schizogenous air space ขนาดใหญ่ ผนังเซลล์ parenchyma เว้า (wavy) มาก เซลล์เรียงตัวในลักษณะคล้ายกับแขน (cylindrical arms) ที่ยื่นจับกัน (Jona *et al.*, 1989) มีกลุ่มท่อลำเลียงแทรกกระจายอยู่ทั่วไป ในระยะแรกของการเจริญเติบโตของผล ชั้น albedo มีเนื้อที่ 60-90% ของปริมาตรผลทั้งหมด เมื่อผลเจริญเติบโตมากขึ้นเซลล์ชั้น albedo จะถูกบีบคั้นให้มีเนื้อที่น้อยลง ส้มแมนดารินบางพันธุ์ชั้น albedo ถูกบีบคั้นหายไปเหลือเพียงกลุ่มท่อลำเลียงสานกันเป็นร่างแห (reticulate) อยู่ระหว่างชั้น flavedo และเนื้อผล ทำให้มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus reticulate* (Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996)

เปลือกผลชั้นใน (endocarp) มีลักษณะเป็นกลีบ (segment) มีถุงน้ำหวาน (juice sac หรือ juice vesicle) อยู่ภายในและอยู่เต็มช่อง Schneider (1968) ศึกษาการเจริญพัฒนาของถุงน้ำหวานส้ม 'Valencia' orange พบว่า ปุ่มกำเนิดถุงน้ำหวานเริ่มปรากฏในช่วงกลีบดอกบาน มีการแบ่งเซลล์ทั้งในแนวตั้ง (anticlinal) และแนวนอน (periclinal) ทำให้ปุ่มกำเนิดถุงน้ำหวานมีรูปร่างคล้ายโดม (domeshape) เนื้อเยื่อบริเวณปลายโดมเป็นเนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue) ช่วยเพิ่มปริมาณเซลล์ทำให้ถุงน้ำหวานใหญ่และเจริญยื่นเข้าไปในกลีบผล ผลที่โตเต็มที่มีถุงน้ำหวานรูปร่างคล้ายถุงยาว (club-shape) บริเวณส่วนโคนถุงน้ำหวานเปลี่ยนไปเป็นก้านถุงน้ำหวาน (stalk) รูปร่างเรียบบางมีขนาดต่างๆ กัน ภายในถุงน้ำหวานจะไม่มีกลุ่มเซลล์ท่อลำเลียง Koch and Avigne (1990) สันนิษฐานว่าน้ำและสารอาหารถูกลำเลียงเข้าสู่ถุงน้ำหวานโดยการส่งผ่านเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งอย่างช้าๆ Harada *et al.* (2001) พบว่า เมื่อเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อถุงน้ำหวาน (มีชั้น albedo ดิจมาเล็กน้อย) ของส้ม Miyagawa Wase (ผลอายุ 51 วัน) บนอาหารที่มีซูโครส 10% จะเกิดการสะสมน้ำตาลในถุงน้ำหวานขึ้น

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของส้ม

2.4.1 ปัจจัยที่ทำให้ขนาดของผลแตกต่างกัน

ก. การบำรุงต้น ต้นส้มที่ได้รับการดูแลอย่างดี ได้รับน้ำและสารอาหารเพียงพอ ในระยะที่เหมาะสม ย่อมให้ผลที่ได้ขนาดมาตรฐานหรือขนาดใหญ่

ข. จำนวนผลที่ติดอยู่บนต้น ถ้าจำนวนผลมากหรือผลตก จำนวนผลส้มทั้งหมด จะมีขนาดเล็กกว่าปกติและคุณภาพด้อยลง เนื่องจากอาหารที่ผลิตได้ไม่เพียงพอ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการผลิตผลออก เพื่อให้จำนวนผลเหลืออยู่พอดีที่ต้นจะสามารถเลี้ยงได้และผลมีคุณภาพดี หรืออาจเลือกใช้วิธีบำรุงต้นให้มากขึ้นโดยไม่ต้องผลิตผลออก

ค. จำนวนใบและจำนวนผลมีส่วนสัมพันธ์กันถ้ามีใบน้อยเกินไป ต้นส้มจะสร้างอาหารมาเลี้ยงผลไม่เพียงพอ ทำให้ผลมีขนาดเล็กกว่าปกติคุณภาพของผลด้อยลง ยิ่งผลส้มมีขนาดใหญ่ก็ยิ่งต้องการจำนวนใบมากขึ้น (วิกิตนดา, 2541)

Ketsa (1990) กล่าวว่า เมื่อส้มเขียวหวานมีขนาดเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Soluble solids content, SSC) และปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity, TA) จะลดลงโดยปริมาณกรดจะลดลงเร็วกว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ดังนั้นผลขนาดใหญ่จะมีรสหวานกว่าผลเล็ก การที่ SSC และ TA ลดลงตามขนาดผลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเจือจางของปริมาณน้ำส้มมีมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อคุณภาพของส้ม

2.4.2 ปริมาณน้ำตาลและกรดในผล

วัฒนา (2528) อธิบายว่า เมื่อผลส้มเริ่มแก่จะมีการสร้างน้ำตาลขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลงอาจจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การบำรุงรักษาดิน ถ้าต้นสมบูรณ์แข็งแรงได้รับน้ำและอาหารในอัตราที่เหมาะสมก็จะมีปริมาณน้ำตาลมาก หรือถ้าปล่อยให้ส้มอยู่บนต้นนานๆ ปริมาณน้ำตาลก็จะเพิ่มขึ้น และปัจจัยที่สำคัญก็คืออุณหภูมิในช่วงที่ผลเริ่มแก่ ถ้ามีอุณหภูมิสูงผลส้มจะสร้างน้ำตาลได้มาก ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดในผลส้มจะมีมากเพียงใดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การบำรุงรักษาดินส้ม อายุของผลส้มและความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลากลางวันกับกลางคืน ถ้าอุณหภูมิแตกต่างกันมากปริมาณกรดทั้งหมดก็จะยิ่งมาก

2.4.3 สีของผลและสีของเนื้อผล

วัฒนา (2528) อธิบายว่า ส้มที่วางขายอยู่มีสีที่แตกต่างกันทั้งที่เป็นพันธุ์เดียวกัน การที่สีของผลและสีของเนื้อผลแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย แต่ปัจจัยที่สำคัญคือ อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันกับกลางคืนแตกต่างกันมาก สีของผลส้มจะยิ่งเข้มขึ้น โดยเฉพาะในตอนที่ผลส้มจะแก่ อุณหภูมิเป็นตัวกระตุ้นให้สีเข้มขึ้น เช่น ส้มที่แก่ในช่วงอากาศหนาวจะมีสีเข้มกว่าส้มที่แก่ในช่วงอากาศร้อน หรือส้มที่ปลูกทางภาคเหนือจะมีสีเข้มกว่าส้มที่ปลูกในภาคกลาง ทั้งที่เป็นต้นเดียวกัน หรือปลูกในที่เดียวกัน

2.4.4 ความหนาของเปลือก

ส้มที่ปลูกในแหล่งต่างๆ กันจะมีความหนาของเปลือกไม่เท่ากัน ทั้งที่เป็นส้มพันธุ์เดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแหล่งปลูกต่างๆ แตกต่างกัน ส้มที่ปลูกในที่ความชื้นในอากาศน้อยหรือความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ส้มจะปรับตัวโดยสร้างเปลือกให้หนาเพื่อป้องกันการคายน้ำออกจากผล ทำให้เกิดช่องว่างมากระหว่างผิวเปลือกนอกกับเนื้อในเพื่อรักษาความชื้นไว้ และถ้าปลูกส้มในที่ความชื้นในอากาศสูงเปลือกส้มจะบางเพราะมีการคายน้ำน้อย

2.5 การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวผลส้ม

การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลผลิต ซึ่งการเปลี่ยนแปลงบางอย่างจะเป็นประโยชน์ เช่น การสุกของผลไม้ การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่จะเป็นสาเหตุทำให้ผลไม้เสื่อมคุณภาพ เช่น การเปลี่ยนสีเปลือก การหายใจ การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบ และการสูญเสียน้ำ

2.5.1 การเปลี่ยนสีเปลือก โดยปกติเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตมาแล้วมักมีการเปลี่ยนแปลงสี เกิดขึ้นสีเขียวจะหายไปกลายเป็นสีเหลืองหรือแดงขึ้นมาแทน ซึ่งเกิดการสลายตัวของรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์จนกลายเป็นสารไม่มีสี อาจเป็นการทำงานของเอนไซม์ *chlorophyllase* ดังที่พบว่าเมื่อใช้เอธิลีนเร่งการสลายสีเขียวของเปลือกส้ม จะมีการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ตัวนี้ควบคู่กัน ทำให้เห็นสีเหลืองของรงควัตถุคาโรทีนอยด์ ซึ่งมีอยู่แล้วแต่ถูกสีเขียวข่มอยู่ให้ปรากฏชัดเจนออกมาพร้อมกับสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ขึ้นด้วย (Gross, 1987) ปริมาณคาโรทีนอยด์ของเปลือกส้ม Dancy tangerine เพิ่มขึ้น เมื่อผลสุกประมาณ 300 $\mu\text{g/g}$ fresh wt ในส้มซึ่งเก็บเกี่ยวขณะที่มีสีเขียวอยู่และเก็บรักษา

ที่อุณหภูมิ 20°C พบว่า มีปริมาณคาโรทีนอยด์ต่ำกว่าผลที่ปล่อยให้สุกบนต้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของคาโรทีนอยด์ระหว่างการสุกสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งผลที่ติดอยู่บนต้นและผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว (Eilati *et al.*, 1975) เอธิลีนเป็นตัวสำคัญที่เร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และเกิดการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ และการใช้เอธิลีนจะเร่งการเกิดคาโรทีนอยด์ได้เร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ และทำให้สีผิวของผลสม่ำเสมอ การเร่งการจัดสีเขียวเป็นวิธีการที่นิยมใช้กับส้มเนื่องจากเมื่อผลแก่เก็บเกี่ยวได้แล้วมีรสชาติและองค์ประกอบภายในเหมาะสมก็ตาม แต่ผิวยังเขียวอยู่มากจึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเพราะคิดว่าผลยังไม่สุก (Cohen, 1978) ทำให้จำเป็นต้องจัดสีเขียวออกเพื่อให้ผิวมีสีเหลืองที่สวยงาม การจัดสีเขียวในผลไม้ตระกูลส้มเป็นการกำจัดคลอโรฟิลล์ออกจากเปลือกซึ่งการจัดสีเขียวนั้นไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของส้ม (Kader, 1985) การเร่งการจัดสีเขียวโดยใช้ก๊าซเอธิลีนขึ้นอยู่กับสถานะอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ทั้งนี้ อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มข้นของก๊าซเอธิลีนที่ใช้จะผันแปรไปตามพันธุ์ และสภาพของผลไม้ขณะเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ระยะความแก่ของผล (fruit maturity) มีผลต่อระยะที่ใช้ในการจัดสีเขียวด้วย

2.5.2 การหายใจเป็นการเร่งการเสื่อมคุณภาพ ทำให้คุณค่าของผลผลิตและด้านรสชาติลดลง และเกิดการสูญเสีย น้ำ จึงมีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว

2.5.3 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบ เช่น การเปลี่ยนแปลงสีผิวหรือรสชาติจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ส้ม แดง น้ำเงิน แล้วแต่นชนิดของผลผลิต ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการในผลไม้ และการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอินทรีย์ เป็นต้น จะมีผลต่อรสชาติของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

2.5.4 การสูญเสีย น้ำ การสูญเสีย น้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตขณะที่มีการเก็บรักษา โดยมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักคุณภาพของผลไม้และทำให้รูปร่างเปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปถ้าหากมีการสูญเสียน้ำเพียง 5-10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก จะทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลงรสชาติไม่ดี นอกจากจะทำให้ผลเหี่ยว เสียรูปร่าง ยังทำให้เปลือกผลบาง แข็ง ปอกريبประทานยาก และวางจำหน่ายไม่ได้ทั้งๆที่คุณภาพภายในยังไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ชูชาติ (2537) กล่าวว่า ผลไม้ตระกูลส้มการสูญเสียน้ำเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยว การสูญเสียน้ำของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นของอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศ

ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ และปัจจัยภายในของผลิตผลเอง เช่น ลักษณะ โครงสร้างของพืช สารเคลือบผิว รูปร่าง โครงสร้างผิวเปลือก และขนาดของผล (สายชล, 2528)

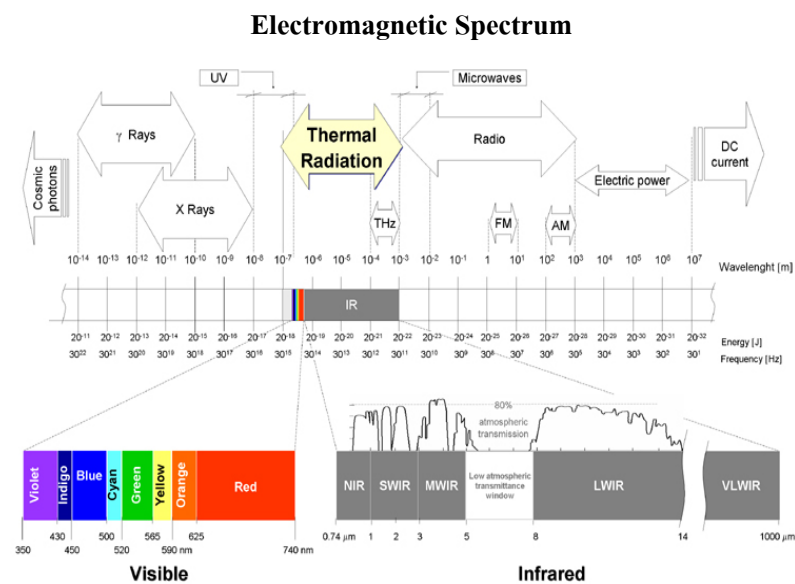
2.6 ความผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลส้ม

ลักษณะอาการที่ผิดปกติไปจากเดิมนี้อาจมีผลเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศ ดิน น้ำ หรือธาตุอาหาร ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจทราบหรือไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริงก็ได้ แต่ผลที่ปรากฏ คือ ดันพืช หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของดันพืชมีอาการไม่ปกติ ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่า “อาการผิดปกติทางสรีรวิทยา” (physiological disorders) อาการผิดปกติในผลส้มที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางและเป็นต้นแบบของพืชอื่นคือ อาการขาดธาตุอาหาร (nutrient deficiency symptoms) นอกจากนี้ยังมีการอื่นอีกหลายอย่างด้วยกัน เช่น อาการฟ้ามภายในผล อาการผลตาย อาการแตกผา อาการผลแตก และอาการพอง เป็นต้น

3. เทคนิค Near Infrared (NIR) Spectroscopy

3.1 หลักการพื้นฐานของเทคนิค NIR Spectroscopy

นิพนธ์ (2545) อธิบายว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ เกิดจากสารที่ดูดกลืนในช่วง NIR ซึ่งเป็นคลื่นแสงหรือแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 780-2500 nm หรือที่จำนวนคลื่น $12,800-4,000\text{ cm}^{-1}$ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยเป็นเทคนิคที่เกิดจากสารดูดกลืนคลื่นแสงแบบ Overtone และ Combination แล้วทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นที่มีความถี่สูง และโมเลกุลจะถูกกระตุ้นจากสภาวะพื้น (Ground vibration level) ไปยังสภาวะกระตุ้น (Excited vibration level) ซึ่ง Osborne *et al.* (1993) กล่าวว่า ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (Original) จะเป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert) คือ พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่งจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่ง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะมีอะตอมของไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล N-H พบในโปรตีน C-H พบในน้ำมัน เป็นต้น



ภาพที่ 1 ช่วงความยาวคลื่นของ Near Infrared ที่อยู่ในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: <http://www.theses.ulaval.ca/2005/23016/apb.html>, June 06, 2007

โดยการดูดกลืนแสงย่านอินฟราเรดของโมเลกุลสารอินทรีย์ ช่วงคลื่นอินฟราเรดสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	Characteristic Transition	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	เลขคลื่น (cm^{-1})
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	Overtones Combinations	780-2500	12800-4000
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR or fundamental IR)	Fundamental	$2500-5 \times 10^4$	4000-200
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	Vibrations Rotations	$5 \times 10^4-10^6$	200-10

ที่มา: Osborne *et al.* (1993)

วิชัย และคณะ (2527) ได้กล่าวถึงกฎการดูดกลืนแสงของ Lambert และ Beer ไว้ดังนี้คือ

กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) กล่าวว่าเมื่อแสงสีเดียวซึ่งก็คือแสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้าให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางหนึ่งที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้วความเข้มของแสงจะลดลงขึ้นกับความหนาของตัวกลาง ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่รูปของสมการได้ดังสมการที่ (1)

$$\text{Log}\left(\frac{I_0}{I}\right) = \epsilon b \quad (1)$$

เมื่อ I เท่ากับ ความเข้มของแสงความยาวคลื่นเดียวหลังผ่านตัวอย่าง
 ϵ เท่ากับ สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง (proportionality constant)
 I_0 เท่ากับ ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลาง เมื่อ b เท่ากับ 0
 b เท่ากับ ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

กฎของเบียร์ (Beer's law) กล่าวว่าเมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น หรือกล่าวได้ว่าสัดส่วนของลำแสงที่ผ่านสารละลายที่มีความหนาขนาดหนึ่งจะลดลงขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่เพิ่มขึ้น เขียนในรูปสมการได้ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$\text{Log}\left(\frac{I_0}{I}\right) = \epsilon bc \quad (2)$$

$$A = \epsilon bc \quad (3)$$

เมื่อ C เท่ากับ ความเข้มข้นของสารในหน่วย โมล/ลิตร
 A เท่ากับ ค่าการดูดกลืนแสง

ในทางปฏิบัติปริมาณความเข้มข้นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่แสงส่องผ่าน จึงต้องรวมกฎทั้งสองเข้าด้วยกัน เรียกว่ากฎของเบียร์-แลมเบิร์ต เขียนในรูปสมการได้ดังสมการที่ (4)

$$A = \text{Log}\left(\frac{I_0}{I}\right) = \epsilon bc = \text{Log}\left(\frac{1}{T}\right) \quad (4)$$

3.2 เทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง NIR Spectroscopy

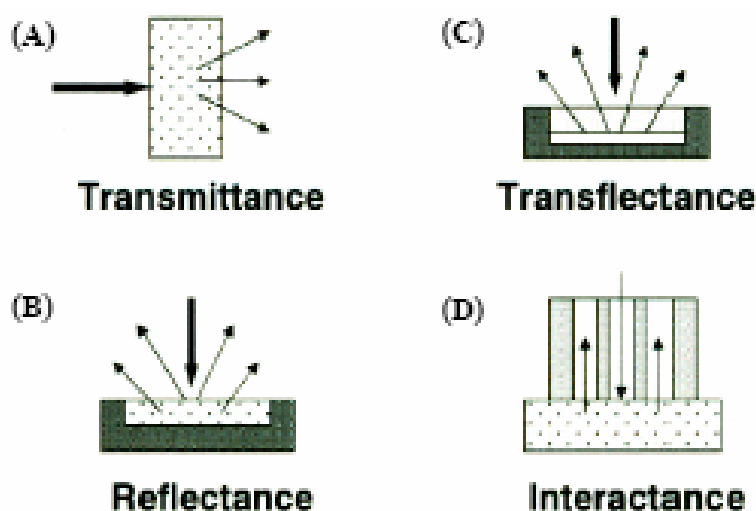
Siesler *et al.* (2002) ได้อธิบายถึงเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR ไว้ว่าเทคนิคที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงมีความสำคัญ เนื่องจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงจำเป็นต้องเลือกเทคนิคให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่นำมาทำการวัด เพื่อให้ได้ข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด โดยมีเทคนิคต่างๆ ดังนี้

3.2.1 Transmission เป็นเทคนิคที่ใช้วิธีการวัดปริมาณแสงที่ส่องผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ ดังแสดงในภาพที่ 2 (A)

3.2.2 Reflection เป็นเทคนิคที่ใช้วิธีการวัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากตัวอย่าง เมื่อแสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง โดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิว ตัวอย่างได้อีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2 (B)

3.2.3 Transflection เป็นเทคนิคที่ใช้วิธีการวัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากตัวอย่าง โดยแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบลงบนตัวอย่าง แล้วผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทองหรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุด แล้วจึงสะท้อนกลับมายัง Detector ดังแสดงในภาพที่ 2 (C)

3.2.4 Interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่องผ่านลงมายังตัวอย่างในส่วนกลาง แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณวงแหวนด้านนอก fiber optics probe ดังแสดงในภาพที่ 2 (D)

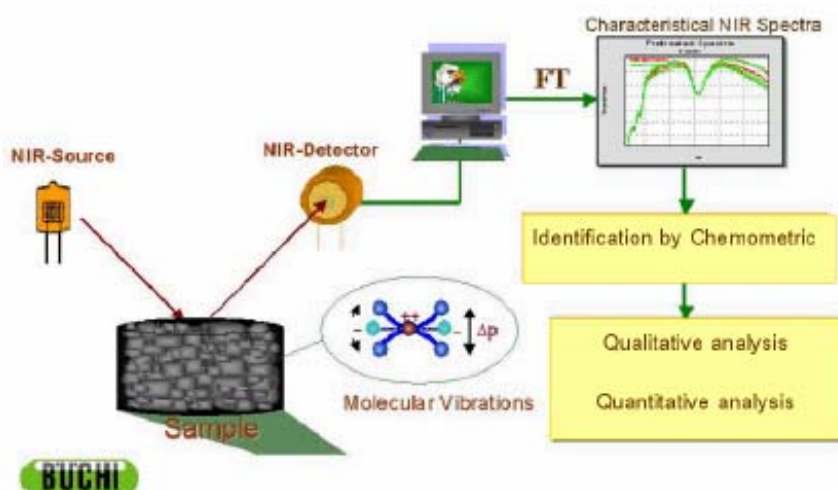


ภาพที่ 2 เทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบต่างๆ ด้วยเครื่องมือ NIR Spectroscopy

ที่มา: Siesler *et al.* (2002)

3.3 หลักการทำงานของเครื่อง NIR Spectroscopy

เครื่อง NIR Spectroscopy มีหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 3 โดยเริ่มจากคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Light source) ส่งผ่านมาและตกกระทบลงบนตัวอย่าง แล้วทำให้โมเลกุลของสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเกิดการสั่นและดูดกลืนคลื่นแสงไว้บางส่วน แสงส่วนที่เหลือจะสะท้อนหรือส่งผ่านจากตัวอย่างออกไปยังตัวรับแสง (NIR detector) ซึ่งตัวรับแสงจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปยังคอมพิวเตอร์ แล้วคอมพิวเตอร์จะทำการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของ NIR spectrum หลังจากนั้นนำข้อมูลการดูดกลืนแสงของ NIR spectrum มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทาง Chemometric ซึ่งมีทั้งในรูปของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis) และเชิงคุณภาพ (Qualitative analysis)

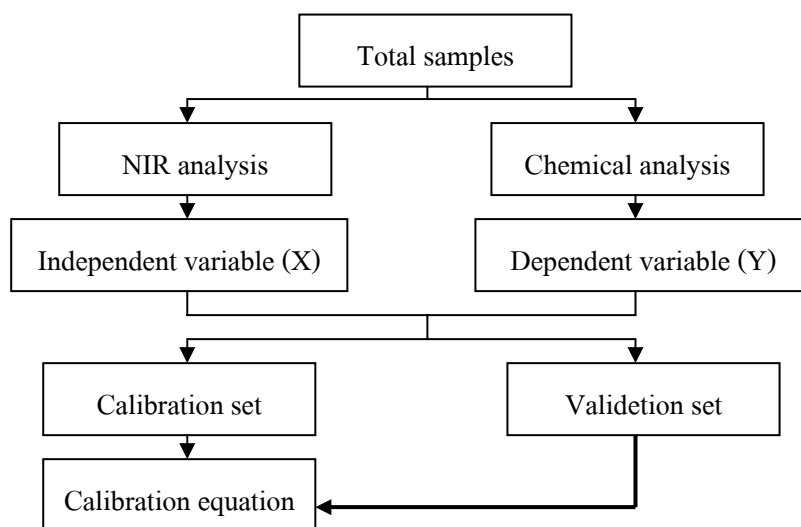


ภาพที่ 3 หลักการทำงานของเครื่องมือ NIR Spectroscopy

ที่มา: <http://www.buchi.com/buchi FT-NIR Applications Database.htm>, April 26, 2003

4. การสร้างสมการทำนาย และการตรวจสอบความถูกต้องของสมการทำนาย

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างสมการทำนายประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักที่สำคัญ คือ ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ในการทำนาย (Calibration) และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น (Validation) แสดงดังในภาพที่ 4 การสร้างสมการเพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทราบ โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการสร้างสมการทำนาย และการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นดังนี้



ภาพที่ 4 แผนผังขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างสมการทำนายจากสเปกตรัมที่วัดได้จากเครื่องมือ NIRS

ที่มา: ธงชัย (2545)

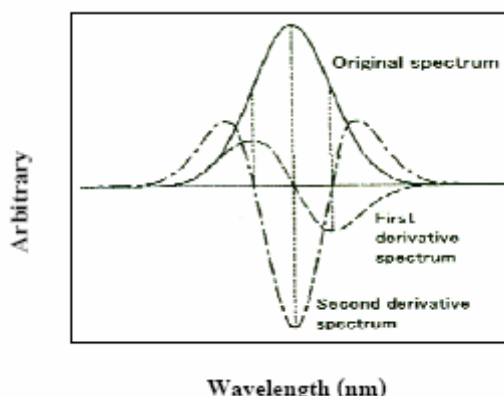
4.1 ขั้นตอนการสร้างสมการทำนาย (Calibration)

สมการทำนายสร้างโดยการนำตัวอย่างที่มีข้อมูลสเปกตรัมเริ่มต้นที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่องมือ NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 780 ถึง 2500 nm มาหาความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพที่ศึกษาด้วยวิธีการทางสถิติ โดยที่จำเป็นต้องมีการเก็บตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์อย่างเพียงพอและการเตรียมตัวอย่างนั้นจะต้องมีลักษณะอย่างเดียวกับตัวอย่างที่นำเข้าเครื่อง NIRS ไปใช้วิเคราะห์คุณภาพต่อไปในอนาคต แต่ข้อมูลสเปกตรัมเริ่มต้นที่วัดได้อาจมีความแปรปรวนมากอันเนื่องมาจากมีสิ่งรบกวนทางสัญญาณไฟฟ้า ความชื้น อุณหภูมิ และขนาดของอนุภาครวมอยู่ในสเปกตรัม ทำให้ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้มีความแตกต่างกันจากสภาพการกระเจิงแสง และความแตกต่างที่เป็นผลมาจากความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ต้องการวัดซึ่งอาจทำให้เกิดความแตกต่างในผลเชิงบวก (Additive scattering) และส่งผลให้การดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือผลเชิงคูณ (Multiplicative scattering) ของการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นสูงขึ้นแล้วจึงไปทำให้สมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำในการทำนายลดลง วิธีการทางคณิตศาสตร์จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่ามาช่วยในการแปลงข้อมูลการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเริ่มต้นเพื่อที่จะสามารถนำสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งมาสร้างสมการที่

มีความแม่นยำในการทำนายได้มากยิ่งขึ้น วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการแปลงข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIRS ได้แก่ Derivative, Multiplicative Scatter Correction (MSC), Normalization และ Smoothing เป็นต้น

4.1.1 Derivative

อนุพันธ์ (2545) อธิบายว่าการทำอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (First derivative) เป็นการหาความชันของสเปกตรัม ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น (การเลื่อนตัวของสเปกตรัมตามแกน Y) เนื่องจากอิทธิพลของความชื้น และขนาดอนุภาค (Particle size) การทำอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งจุดยอดของสเปกตรัมเริ่มต้นจะเป็นจุดที่มีความชันมากที่สุดซึ่งทำให้การแปลความหมายยากดังแสดงในภาพที่ 5 ดังนั้นจึงนิยมใช้อนุพันธ์ลำดับที่สอง (Second Derivative) มากกว่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง โดยนิยมใช้กับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอและการกระจายตัวของอนุภาคทั่วถึง เช่น แป้งสาลีที่บดละเอียด



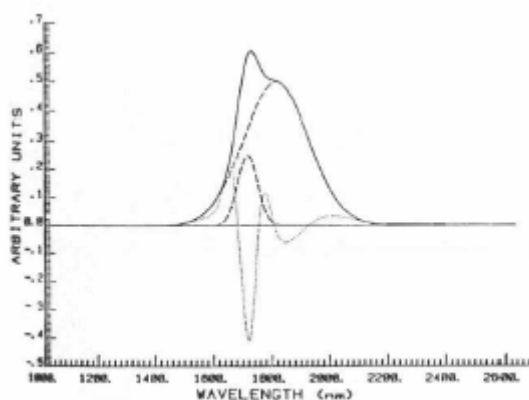
ภาพที่ 5 อนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งและสองของสเปกตรัมเริ่มต้น

ที่มา: Kawano and Sirinna (2004)

อนุพันธ์ลำดับที่สอง (Second Derivative) เป็นวิธีการคำนวณผลลบระหว่างสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี First derivative ของ Segment ที่อยู่ติดกันและมีช่วงเท่ากันจะมีรูปร่างที่แตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้น (Original spectrum) ดังแสดงในภาพที่ 6 จะพบว่าสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี Second Derivative ที่ได้จะมีจุดยอดเป็นบวกในด้านซ้ายและด้านขวา ส่วนจุดยอดตรงกลางจะอยู่ด้านตรงข้ามที่มีค่ามากที่สุดและตรงกับจุดยอดเริ่มต้น การคำนวณการ

เปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมสามารถแยกจุดยอดของสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนกันของสเปกตรัมเริ่มต้นได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Second Derivative จึงเป็นที่นิยมมากกว่าวิธี First Derivative (Siesler *et al.*, 2002)

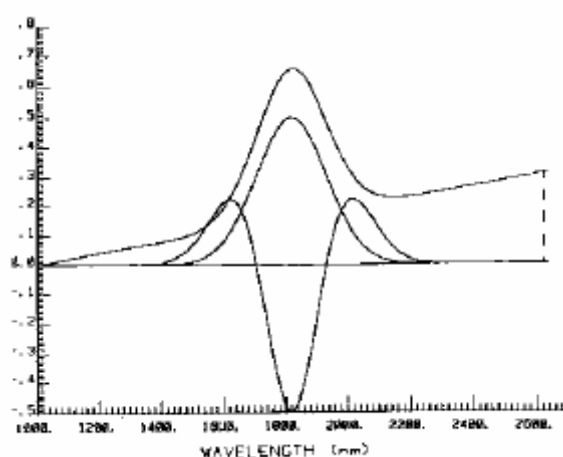
การหาการเปลี่ยนแปลงของความชันสามารถแยกจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันอยู่ออกมาได้ดังภาพที่ 6 จะเห็นสเปกตรัมเริ่มต้นมี 2 เส้น (เส้นประในภาพ) แต่เมื่อวัดสเปกตรัมโดยใช้ NIRS จะได้ว่าจุดยอดด้านซ้ายสูงขึ้นและรวมกันเป็นเส้นเดียว แต่เมื่อใช้ Second Derivative จะทำให้จุดยอดทั้งสองแยกออกมา



ภาพที่ 6 การใช้ Second Derivative แก้ปัญหาการซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัม

ที่มา: Hruschka (1990)

นอกจากนี้การใช้ Second Derivative สามารถลดผลกระทบจากการกระเจิงแสงทั้งผลเชิงบวกและผลเชิงลบ เนื่องจาก Second Derivative ของเส้นตรงมีค่าเป็นศูนย์

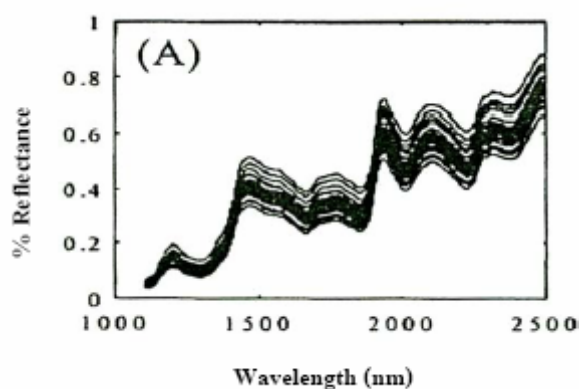


ภาพที่ 7 การใช้ Second Derivative แก้ปัญหาการเพิ่มที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นเป็นเส้นตรงมีความชันของสเปกตรัม

ที่มา: Hruschka (1990)

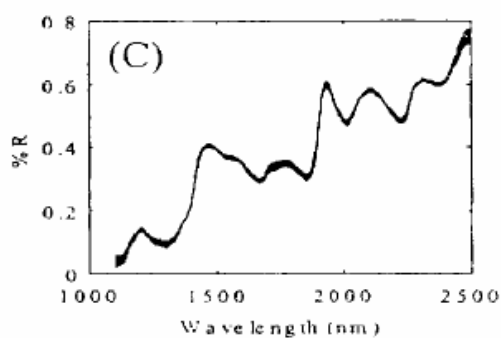
4.1.2 Multiplicative Scatter Correction (MSC)

สเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด แบบการสะท้อนแสง และแบบการส่องผ่านมักจะเกิดการกระเจิงแสง (Scattered light) ดังนั้นได้มีการเสนอแนวทางโดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า MSC มาปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกต้องมากขึ้น การกระเจิงแสงจะทำให้ความชันโดยรวมของสเปกตรัมเปลี่ยนไป ยกตัวอย่างเช่น ถ้าให้สเปกตรัมเป็นเส้นตรงก็เหมือนกับว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่ความยาวคลื่นต่ำสุดของสเปกตรัม (Multiplicative effect) ซึ่งจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีความชันต่างไปจากเดิม ดังแสดงในภาพที่ 8 หรือทำให้ผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากันตลอดช่วงความยาวคลื่นซึ่งเรียกว่า Additive effect ในทางปฏิบัติ MSC ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดผลที่เกิดจาก Multiplicative แต่ก็สามารถลดผลจาก Additive effect ได้เช่นกัน (อนุพันธ์, 2545)



ภาพที่ 8 NIR สเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect ก่อนการปรับแก้ด้วยวิธี Multiplicative Scatter Correction (MSC)

ที่มา: Boysworth and Booksh (2001)



ภาพที่ 9 NIR สเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect หลังการปรับแก้ด้วยวิธี MSC

ที่มา: Boysworth and Booksh (2001)

4.1.3 Normalization

การ Normalization เป็นการดัดแปลงค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมด้วยการหารหรือลบค่าการดูดกลืนของแต่ละสเปกตรัมด้วยค่าคงที่ เพื่อปรับสเกลให้เป็นศูนย์หรือหนึ่ง ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของการ Normalization คือ การขจัดความเบี่ยงเบนของสเปกตรัม เช่น การหารค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมด้วยค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสงของสเปกตรัม

(Mean Normalization) การหารหรือลบด้วยค่าสูงที่สุดของการดูดกลืนแสงของสเปกตรัม
 (Maximum Normalization) การหารด้วยพื้นที่ใต้กราฟของการดูดกลืนแสงของสเปกตรัม
 (Area Normalization) การหารด้วยขอบเขตของการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมทั้งหมด
 (Range Normalization) และการหารหรือลบการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมทั้งหมดด้วยค่า
 การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่ง (Peak Normalization) เป็นต้น

4.1.4 Moving Window Partial Least Regression (MWPLSR)

Sumaporn (2005) ได้อธิบายว่าเป็นวิธีการเลือกช่วงความยาวคลื่นสำหรับวิเคราะห์สเปกตรัมที่มีความซับซ้อนเนื่องจากเป็นสเปกตรัมของตัวอย่างที่มีหลายองค์ประกอบ วิธีนี้ได้มีการพิสูจน์แล้วว่าสามารถเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ให้สมการที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความเสถียรต่อการแทรกสอดของข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง วิธี MWPLS จะมีการกำหนดให้มี 1 หน้าต่างสเปกตรัมขนาด X_i (X_i data points) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด m แถว h คอลัมน์ แล้วให้หน้าต่างสเปกตรัมเคลื่อนที่ไปตามสเปกตรัมตลอดช่วงความยาวคลื่น (ในที่นี้สเปกตรัมคือเมตริกซ์ขนาด m แถว n คอลัมน์) โดยที่หน้าต่างสเปกตรัมจะเลื่อนทีละ 1 data point ตำแหน่งข้อมูลทีหน้าต่างเคลื่อนที่ไปถึงก็จะนำไปสร้างสมการด้วยวิธี PLS ที่ค่าแฟกเตอร์ต่าง ๆ แล้วทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่า $\log$ (Sum of Squared Residual: SSR) ในแต่ละหน้าต่างสเปกตรัมที่แต่ละแฟกเตอร์จากสมการ PLS ที่ได้ และนำไปเขียนกราฟโดยให้แกน X เป็นความยาวคลื่น และแกน Y เป็นค่า $\log$ (SSR) กราฟแต่ละเส้นแสดงค่า $\log$ (SSR) ที่ได้จากการคำนวณในแต่ละแฟกเตอร์ แล้วทำการพิจารณาเพื่อเลือกช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่มีความสัมพันธ์กับค่าทางเคมีโดยเลือกช่วงกราฟที่มีค่า $\log$ (SSR) ต่ำๆ เพื่อนำมาสร้างสมการทำนายที่ดีที่สุด ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธี MWPLS เพื่อช่วยคัดเลือกช่วงความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพทางเคมีที่ทำการศึกษาก่อนที่จะนำไปสร้างสมการทำนาย

4.1.5 Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA)

Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) เป็นวิธีในการจำแนกกลุ่มของข้อมูลที่มีตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไป วิธีนี้จำเป็นต้องกำหนดค่าอ้างอิงให้กับแต่ละกลุ่มข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งค่าอ้างอิงจะกำหนดค่าในกลุ่มแรกให้มีค่าเท่ากับศูนย์และกลุ่มที่สองมีค่าเท่ากับหนึ่ง จากนั้นนำมาสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นด้วยวิธี PLSR วิธี PLS-DA เป็นวิธีวิเคราะห์ข้อมูลโดยจะสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า Principal component (PC) ซึ่งเป็นผลรวมเชิงเส้นของตัว

แปรผันทุกตัว โดย PC1 จะเป็นค่าที่อธิบายความแปรปรวนร่วมที่มากที่สุดของตัวแปรต้นของตัวอย่างกับค่าที่ใช้ทำนายแยกกลุ่มระหว่างสองกลุ่มข้อมูล ค่า PC ซึ่งเรียกว่า Score เมื่อพล็อตร่วมกันระหว่างสอง PC จะสามารถนำมาตรวจสอบการแบ่งกลุ่มของตัวอย่างได้ว่าถูกแยกด้วย PC ใด และตัวแปรต้นตัวใดที่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดการแยกระหว่างสองกลุ่มโดยตรวจสอบดูค่า loading ซึ่งค่า loading ที่มีค่าสูงของ PC ที่ทำให้เกิดการแบ่งกลุ่มจะแสดงว่าตัวแปรต้นตัวดังกล่าวมีผลที่ทำให้เกิดการแบ่งกลุ่ม

ข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการต่างๆ ดังที่กล่าวข้างต้นจะถูกนำมาทำการสร้างสมการทำนาย ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนการสร้างสมการดังนี้

ก. นำตัวอย่างทั้งหมดที่มีข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง และมีข้อมูลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพด้วยวิธีทางเคมีแล้ว (Reference method) มาแบ่งแบบสุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มตัวอย่างสร้างสมการทำนาย (Calibration set) และกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น (Validation set)

ข. กำหนดให้ข้อมูลสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ เป็นตัวแปรอิสระ (X) ส่วนข้อมูลค่าคุณภาพที่วิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีเป็นตัวแปรตาม (Y) ทั้งในกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการและกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น

ค. นำข้อมูลตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการมาหาความสัมพันธ์กันด้วยวิธีทางสถิติ เพื่อสร้างสมการในการสร้างสมการทำนายนั้นสิ่งสำคัญคือการหาตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามที่ทำการศึกษา ซึ่งการคัดเลือกหาตัวแปรอิสระสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลักได้แก่

1) วิธีการคัดเลือกความยาวคลื่น (Wavelength selection methods) เป็นวิธีการที่ทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระเฉพาะความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่ทำการศึกษา ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการคัดเลือกมีหลายแบบด้วยกัน เช่น เลือกความยาวคลื่นจากเอกสารอ้างอิงที่บ่งบอกถึงช่วงความยาวคลื่นที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าที่จะทำการวิเคราะห์ เช่น ที่ความยาวคลื่น 1940 nm การดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่อ่านได้น่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในตัวอย่างที่ทำการศึกษา (Osborne *et al.*, 1993) เป็นต้น นอกจากนั้นยัง

สามารถใช้เทคนิคทางสถิติในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์ ซึ่งเทคนิคทางสถิติที่ใช้ได้แก่

- Simple Linear Regression (SLR) คือ สมการการถดถอยที่นำตัวแปรอิสระ (X) เพียงหนึ่งตัวมาใช้ในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) เพื่อสร้างสมการที่ใช้ทำนายค่าตัวแปรตาม โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด การสร้างสมการทำนายโดยใช้วิธี SLR ในเทคนิค NIR เป็นการเลือกค่าการดูดกลืนแสงที่สัมพันธ์กับค่าที่ต้องการวิเคราะห์เพียงความยาวคลื่นเดียวซึ่งทำให้ค่า R ที่ได้มีค่าต่ำ ไม่นิยมนำมาใช้ในการสร้างสมการทำนาย สมการของ SLR แสดงดังสมการที่ (5)

$$Y = b_0 + b_1 X \quad (5)$$

โดย b_0 เท่ากับ ค่าคงที่ ณ จุดตัดแกน Y

b_1 เท่ากับ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient)

- Multiple Linear Regression (MLR) คือ สมการการถดถอยที่ใช้ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่าหนึ่งตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) ซึ่งทำให้สมการที่ได้ลดความผิดพลาดในการประมาณค่าลงได้ หากพิจารณาในเรื่องการใช้เทคนิค NIRS ในการหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างก็หมายถึงการพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงที่หลายความยาวคลื่นนั่นเอง สมการของ MLR แสดงดังสมการที่ (6) อย่างไรก็ตามสมการทำนายที่สร้างขึ้นอาจจะมีปัญหาเกิดขึ้น เนื่องจากการเกิดความคลาดเคลื่อนจากการสร้างสมการ (Interference) หรือสมการที่ได้มีตัวแปรอิสระมากเกินไปในสมการทำให้ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ (Over fitting) หรืออาจเกิดปัญหาจากตัวแปรอิสระที่นำมาใช้ในการสร้างสมการทำนายมีความสัมพันธ์กันเอง (Multicollinearity)

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (6)$$

2) วิธีการใช้ความยาวคลื่นตลอดช่วง (Full spectrum method) เป็นวิธีการคัดเลือกหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (Selective wavelength) จากความยาวคลื่นทั้งหมดที่มีในสเปกตรัม หรือความยาวคลื่นตลอดช่วงทั้งหมด (Full spectrum) มาใช้ในการสร้างสมการทำนาย โดยใช้วิธีการทางสถิติในการจัดกลุ่มตัวแปรอิสระหรือความยาวคลื่นที่มีความเกี่ยวข้องกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน หรือทำการสร้างตัวแปรใหม่จากตัวแปรเดิม ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถช่วยแก้ปัญหาการเกิด Multicollinearity ดังกล่าวข้างต้นได้ วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ ได้แก่

- Principal Component Analysis (PCA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดจำนวนของตัวแปรอิสระให้น้อยลงในกรณีที่มีตัวแปรอิสระมีจำนวนมาก โดยใช้วิธีการสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่า กลุ่มตัวแปรใหม่หรือแฟกเตอร์ ซึ่งการจัดกลุ่มแฟกเตอร์เกิดจากการจัดกลุ่มตัวแปรอิสระแบบเป็นอิสระต่อกัน หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ผลรวมของค่าสเปกตรัมทุกความยาวคลื่นที่น้ำหนักแตกต่างกัน แฟกเตอร์สามารถมีได้หลายแฟกเตอร์ โดยแต่ละแฟกเตอร์จะแตกต่างกันที่น้ำหนักของแต่ละค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งประกอบกันเป็นแฟกเตอร์นั้นๆ แฟกเตอร์แรกจะถูกสร้างขึ้นมาให้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าสเปกตรัมได้มากที่สุด แฟกเตอร์ที่สองอธิบายความแปรปรวนที่เหลือ ซึ่งจะทำให้แฟกเตอร์แต่ละแฟกเตอร์จะไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน (Non-Collinearity)

- Principal Component Regression (PCR) การทำ PCR จะเริ่มจากการทำ Principal Component Analysis (PCA) กับข้อมูลที่เป็นตัวแปรอิสระที่ได้มาจากข้อมูลของสเปกตรัมเพื่อสร้างองค์ประกอบ หรือตัวแปรใหม่ก่อน แล้วจึงนำค่าของตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมากหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่ได้จากวิธีการทางเคมี (Reference methods) เพื่อสร้างสมการทำนายโดยใช้หลักการของวิธีสถิติ MLR

- Partial Least Squares Regression (PLSR) เป็นวิธีการที่คล้ายกับ PCR ซึ่งวิธีสถิติ PLSR เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมโดยการนำค่าองค์ประกอบทางเคมีมาเชื่อมโยงเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสร้างแฟกเตอร์ด้วย หรือกล่าวได้ว่าการจัดกลุ่มของตัวแปรอิสระจะแปรผันตามค่าตัวแปรตาม ซึ่งวิธีสถิติ PLS เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร โดยการสร้างแฟกเตอร์แบบสมการเชิงเส้นตรงจากข้อมูลของสเปกตรัมเริ่มต้น และนำแฟกเตอร์ที่ได้ไปใช้ในการสร้างสมการถดถอย โดยแฟกเตอร์ที่ได้จากการสร้างสมการด้วยวิธีสถิติ PLSR ต้องสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลและเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมีในเวลาเดียวกัน วัตถุประสงค์ของ PLSR เพื่อต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัมให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับค่าทางเคมีเท่านั้นที่จะถูกนำมาใช้ในการทำนายค่าทางเคมี เพื่อสามารถประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น

4.1.4 ทำการเลือกสมการทำนายค่าคุณภาพที่เหมาะสม Hruschka (1990) อธิบายว่าให้พิจารณาจากระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยวัดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R) ซึ่งมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า R มีค่าสูง หมายถึง ตัวแปรอิสระมีอิทธิพลมากกับตัวแปรตาม ถ้า R มีค่าต่ำแสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันต่ำด้วย

และพิจารณาความน่าเชื่อถือของการประมาณค่าของสมการจากค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Standard Error of Calibration, SEC) ซึ่งจะต้องมีค่าวิธีการคำนวณหาค่า R และ SEC ดังแสดงในสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

$$R = \frac{\sum XY - N \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{(\sum X^2 - n \bar{X}^2)(\sum Y^2 - n \bar{Y}^2)}} \quad (7)$$

$$SEC = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - b_0 - b_1 X_i)^2}}{n - 2} \quad (8)$$

โดย X คือ ตัวแปรอิสระ
Y คือ ตัวแปรตาม
n คือ จำนวนตัวอย่าง

4.2 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น (Validation)

Hruschka (1990) อธิบายว่าการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นด้วยกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการวัดประสิทธิภาพของสมการว่าสามารถใช้ในการทำนายค่าคุณภาพได้แม่นยำมากน้อยเพียงใด ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบความถูกต้องที่นิยมใช้ในเทคนิค NIR 2 วิธีด้วยกันได้แก่

4.2.1 วิธี Full cross validation เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น โดยเป็นวิธีการตรวจสอบภายใน (Internal validation) ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่นำมาใช้ในการตรวจสอบต้องเป็นตัวอย่างชุดเดียวกับตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ จะวัดผลจากการพิจารณาความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย และค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการที่สร้างขึ้นกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี ถ้าข้อมูลที่ได้จากวิธีทั้งสองมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง การตรวจสอบความแม่นยำด้วยวิธีนี้มักใช้กับการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ PLS และใช้กับกรณีที่มีตัวอย่างจำนวนน้อยไม่เหมาะกับกรณีที่มีตัวอย่างจำนวนมาก เพราะผลที่ได้อาจจะไม่ถูกต้อง

4.2.2 วิธี Prediction testing เป็นวิธีการทดสอบโดยนำตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบ

ความถูกต้อง (Test set) มาประเมินค่าของสมการทำนายที่สร้างขึ้น โดยตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่าง การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมสภาวะในการทดลอง รวมถึงวิธีการแปลงข้อมูลสเปกตรัมเหมือนกับชุดข้อมูลของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ และที่สำคัญตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องจะต้องมีค่าคุณภาพที่ต้องการประเมินอยู่ในช่วงของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ การตรวจสอบความแม่นยำในลักษณะนี้เรียกว่า การทดสอบแบบภายนอก (External validation) ซึ่งจะทำการพิจารณาค่าที่ทำนายได้จากเครื่อง NIR กับค่าที่วิเคราะห์ได้จริงจากวิธีทางเคมี ถ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายต่ำแสดงว่าสมการทำนายที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธีนี้

การตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ในการทำนายค่าคุณภาพมีรายละเอียดของขั้นตอนดังนี้

ก. นำตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการมาทำการทดสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้นในข้อ 4.1 ด้วยวิธีการทางสถิติ

ข. ทำการคัดเลือกสมการทำนายค่าคุณภาพที่เหมาะสม และมีความถูกต้องในการทำนายค่าคุณภาพด้วยการพิจารณาความคลาดเคลื่อนจากการทำนายด้วยตัวอย่างกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (Standard Error of Prediction, SEP) และค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้จากสมการที่สร้างขึ้นกับค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริง (Bias) ซึ่งทั้งค่า SEP และ Bias จะต้องมีค่าต่ำๆ ซึ่งค่า RMSEP เป็นค่าที่สามารถบอกได้ถึงความเที่ยงตรงและความแม่นยำสมการ เพราะเป็นผลรวมกำลังสองของค่า SEP และ Bias สำหรับค่า RPD ที่คำนวณได้ควรจะมีค่ามากกว่าสาม สมการที่ได้จึงจะมีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ได้จริงในการทำนายค่าตัวอย่างใหม่ในอนาคต (Hruschka, 1990) วิธีการคำนวณหาค่า SEP, Bias, RMSEP และ RPD ดังแสดงในสมการที่ (9), (10), (11) และ (12) ตามลำดับ

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum (X - Y)^2 - \frac{(\sum (X - Y))^2}{n}}{n - 1}} \quad (9)$$

$$Bias(\bar{d}) = \frac{\sum (X - Y)}{n} \quad (10)$$

$$RMSEP^2 \approx SEP^2 + Bias^2 \quad (11)$$

$$RPD = \frac{SD}{SEP} \quad (12)$$

5. งานวิจัยการประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS ในการวิเคราะห์คุณภาพของผลไม้

Gomez *et al.* (2006) ทำนายปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและความแน่นเนื้อของส้ม ด้วยเทคนิค Vis/NIRS ที่ช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 2350 nm ด้วยวิธี PLS และ PCR ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่า R เท่ากับ 0.94 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.33 ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่า R เท่ากับ 0.80 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.18 และความแน่นเนื้อมีค่า R เท่ากับ 0.83 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 8.53

McGlone *et al.* (2003) ทำนายปริมาณน้ำหนักรากแห้ง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของแอปเปิล โดยวัดตอนที่เก็บเกี่ยวและภายหลังการเก็บรักษา ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ด้วยวิธี PLS ที่ช่วงความยาวคลื่น 800 ถึง 1000 nm ปริมาณน้ำหนักรากแห้งมีค่า R^2 มากกว่า 0.95 และมีค่า RMSEP น้อยกว่า 0.32 และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดภายหลังการเก็บมีค่า R^2 เท่ากับ 0.94 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.32

McGlone *et al.* (1998) ทำนายความแน่นเนื้อ ปริมาณน้ำหนักรากแห้ง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผลกีวจากพื้นที่เพาะปลูกต่างๆ กันทั้งหมด 5 กลุ่ม ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบ Fiber interactance probe ที่ช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 1000 nm โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี PLS ด้วยโปรแกรม Unscrambler ซึ่งตัวอย่างที่นำมาวัดมีความหลากหลาย เพื่อให้การสร้างสมการมีความครอบคลุมเมื่อนำไปสร้างสมการทำนาย ที่ช่วงความยาวคลื่น

800 ถึง 1100 nm เหมาะสมในการสร้างสมการ เพราะให้ค่าการดูดกลืนแสงได้ดีต่อกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต และน้ำ ส่วนในการทำนายค่าความแน่นเนื้อนั้นให้ค่าความแม่นยำน้อย เนื่องจากในผลกีวี่มีปริมาณ Pectin น้อยกว่า 1 % โดยน้ำหนัก

Schmilovitch *et al.* (2000) ศึกษาเกี่ยวกับการทำนายระยะเวลาเก็บผล ความแน่นเนื้อ ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรดทั้งหมดของมะม่วง ที่ช่วงความยาวคลื่น 1200 ถึง 2400 nm โดยใช้วิธี MLR มีค่า SEP เท่ากับ 1.223, 0.161, 17.14 และ 37.03 และมีค่า R เท่ากับ 0.9276, 0.6085, 0.8226 และ 0.9380 ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ปริมาณกรดทั้งหมด, ความแน่นเนื้อ และระยะการเก็บผล ตามลำดับ

Sirisomboon *et al.* (2007) ศึกษาการประเมินส่วนประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ของลูกแพร์ญี่ปุ่น โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm ทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยใช้วิธี การหาอนุพันธ์อันดับที่สอง วิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี MLR โดยทำการวัดลูกแพร์ญี่ปุ่นแบบทั้งผล และแบบคั้นน้ำ ซึ่งสรุปว่าสมการทำนายที่สร้างโดยใช้ตัวอย่างที่เก็บในปี 1998 ไม่สามารถทำนายตัวอย่างในปี 1997 ได้

Hui-shan *et al.* (2006) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ FT-NIR ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้ม ปรับแก้ความแตกต่างของสเปกตรัมด้วยวิธี Standard Normal Variate (SNV) และ Multiplicative Scatter Correction (MSC) และปรับแต่งสเปกตรัมด้วย First และ Second Derivative เพื่อลดอิทธิพลของขนาดตัวอย่าง การกระเจิงแสง และสัญญาณรบกวนจากเครื่องมือ แล้ววิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี PLS ได้ค่า R เท่ากับ 0.995 และ RMSEP เท่ากับ 0.79 °Brix

Kawano *et al.* (1992) ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้วัดปริมาณน้ำตาลของผลพีชพันธุ์ Shimizu Hakuto ด้วย Fiber optic probe ที่ช่วงความยาวคลื่น 680 ถึง 1235 nm โดยปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Second Derivative ที่ค่า Brix สูง กลาง ต่ำ พบความแตกต่างที่ความยาวคลื่น 906 nm อย่างชัดเจน หลังจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Second Derivative ซึ่งกำหนดให้เป็นความยาวคลื่นของน้ำตาลตัวแรกในสมการทำนาย ได้ค่า R สูงสุดอยู่ที่ 0.97, ค่า SEC คือ 0.48 °Brix, ค่า SEP คือ 0.50 °Brix และค่า Bias เท่ากับ 0.01 °Brix ดังนั้นเทคนิค NIR มีความแม่นยำที่จะวัดปริมาณน้ำตาลในผลพีช

Kawano *et al.* (1995) ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการวัดค่า Brix ของพีช โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ วัดปริมาณความหวานในผลพีชพันธุ์ Shimizu Hakuto ในช่วงความยาวคลื่น 680 ถึง 1235 nm โดยควบคุมอุณหภูมิของผลพีช โดยใช้อ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 21, 26 และ 31 องศาเซลเซียส ได้ผลดังนี้ สมการ Calibration ที่สร้างจากตัวอย่างที่มีอุณหภูมิคงที่จะวัดตัวอย่างที่มีอุณหภูมิหลากหลายได้ค่าที่ไม่คงที่ สเปกตรัมที่ได้มีผลกระทบจากอุณหภูมิของตัวอย่าง เช่น เมื่อตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงขึ้น การดูดกลืนแสงที่ 841 และ 966 nm จะมีค่ามากขึ้นอันเนื่องมาจากน้ำ เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเกิดอิทธิพลได้ง่ายต่อค่า ดังนั้นน้ำจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควรคำนึงถึง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และสมการ Calibration ที่สร้างจากตัวอย่างที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 21 ถึง 30 องศาเซลเซียส มีความแม่นยำสูงในการทำนายค่าถึงแม้ตัวอย่างเราจะมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในช่วงนั้น ดังนั้นเราอาจจะพัฒนาสมการ Calibration โดยการรวมกลุ่มตัวอย่างที่มีอุณหภูมิหลากหลายแล้วจึงสร้างสมการ Calibration ก็ได้

Slaughter (1995) ได้พัฒนาสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่า R เท่ากับ 0.92 และมีค่า SEP เท่ากับ 1.0 และปริมาณซูโครสมีค่า R เท่ากับ 0.87 และมีค่า SEP เท่ากับ 0.58 สำหรับผลพีชและผลท้อ ในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 1000 nm

Peiris *et al.* (1999) ทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของแอปเปิล ในช่วงความยาวคลื่น 800 ถึง 1650 nm ทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี PLS ได้ค่า R เท่ากับ 0.79 ถึง 0.91

Lu and Ariana (2002) ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงความยาวคลื่น 900 ถึง 1500 nm วัดความหวานแอปเปิลที่ทำกรเพาะปลูก 2 แหล่ง ได้ค่า R เท่ากับหรือมากกว่า 0.81 และมีค่า SEP เท่ากับ 0.5 ถึง 0.7

Liu and Ying (2005) ศึกษาการทำนายค่าทางเคมีด้วยเทคนิค FT-NIR ในช่วงความยาวคลื่น 812 ถึง 2357 nm ทำการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First และ Second Derivative ซึ่งวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี PLS ทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด และค่าพีเอช ได้ค่า SEP เท่ากับ 0.455, 0.044 และ 0.068 และมีค่า R เท่ากับ 0.968, 0.728 และ 0.831 ตามลำดับ

Steuer *et al.* (2001) ใช้เทคนิค NIR ในการแบ่งและวิเคราะห์น้ำมันส้มที่ได้จากส้มพันธุ์ต่างๆ คือ grapefruit, orange, mandarin, lemon และ lime oils ในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500

nm โดยประยุกต์ใช้วิธี PCA สามารถแบ่งแยกความแตกต่างของน้ำมันส้มได้ดี ซึ่งได้ค่า R^2 มากกว่า 0.95 พบว่าในช่วงความยาวคลื่น 1634 ถึง 1766 และ 2250 ถึง 2350 nm มีความสัมพันธ์กับน้ำมันส้ม

Sohn *et al.* (2000) ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้วัดคุณภาพของแอปเปิล ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณความหวาน ปริมาณกรดทั้งหมด และความแน่นเนื้อ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ตรวจสอบคุณภาพภายในของแอปเปิล และทำการพัฒนาทำนาย ที่ช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm นำสเปกตรัมที่ได้หาความสัมพันธ์กับค่าต่างๆ ที่ทำการวัดโดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี ด้วยโปรแกรม Sesame โดยใช้วิธีทางสถิติ คือ MLR ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล และพบว่าเป็นไปได้ที่จะใช้เทคนิค NIR มาตรวจสอบคุณสมบัติภายในของแอปเปิล

วรรณกนก (2546) ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงความยาวคลื่น 700 ถึง 1100 nm ทำการวิเคราะห์วิธีทางสถิติ 3 วิธี คือ PLSR, PCR และ MLR ทำนายค่าของส้มทั้งผล และส้มปอกเปลือก ซึ่งค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่า R เท่ากับ 0.944 ถึง 0.981 ค่า SEP เท่ากับ 0.254 ถึง 0.574 และค่า Bias เท่ากับ 0.049 ถึง 0.122 สำหรับปริมาณกรดทั้งหมดมีค่า R เท่ากับ 0.561 ถึง 0.771 ค่า SEP เท่ากับ 0.057 ถึง 0.073 และค่า Bias เท่ากับ 0.049 ถึง 0.122 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มปอกเปลือกมีค่าความผิดพลาดในการทำนายต่ำกว่าส้มทั้งผล แต่ปริมาณกรดทั้งหมดให้ผลขัดแย้งกันคือ ส้มทั้งผลจะมีค่าความผิดพลาดในการทำนายต่ำกว่าส้มปอกเปลือก และสมการที่ได้สามารถทำนายปริมาณกรดทั้งหมดมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ

Saranwong *et al.* (2001) ได้พัฒนาสมการ PLS Calibration สำหรับประเมินค่า Brix และ น้ำหนักแห้งของมะม่วง โดยใช้ข้อมูลจากสมการ MLR Calibration เนื่องจากในการใช้งานของเครื่อง NIR มีทั้งการใช้ช่วงคลื่นสั้นคือ 500 ถึง 1200 nm และช่วงคลื่นยาว 1100 ถึง 2500 nm หรืออาจใช้ทั้ง 2 ช่วงคือ 700 ถึง 2500 nm ในการสร้างสมการ Calibration ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับการใช้งาน และวิธีการสร้างสมการในช่วงแรกจะใช้วิธี Multiple Linear Regression (MLR) ในการสร้างสมการ ซึ่งเป็นวิธีที่เราสามารถเลือกช่วงคลื่นในการวิเคราะห์และสร้างสมการได้ แต่ในปัจจุบันวิธี Partial least square (PLS) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการสร้างสมการ Calibration ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ข้อมูลช่วงคลื่นทั้งหมดมาใช้ในการวิเคราะห์ แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การเลือกใช้งานช่วงความยาวคลื่นมาสร้างสมการ Calibration จะทำให้ได้ค่าดีกว่า แต่การทำมีความยุ่งยาก และใช้เวลามากขึ้นด้วย งานวิจัยครั้งนี้จึงต้องการที่หาวิธีการที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว เพื่อศึกษาวิธีการ MLR และ

PLS ในการสร้างสมการ Calibration โดยใช้ทั้งช่วงคลื่นสั้นและยาว รวมถึงศึกษาความสัมพันธ์ของทั้ง 2 วิธีการนี้ด้วย

Clark *et al.* (2003) เก็บผลโอโวโกาโดที่ความแตกต่างสี่ช่วงเวลาในระหว่างการเจริญเติบโต โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบ Reflectance และแบบ Interactance เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความยาวคลื่นกับปริมาณน้ำหนักราก โดยประยุกต์ใช้เทคนิค PLSR และ MLR ซึ่งการประยุกต์ใช้ PLSR ในแบบ Interactance จากผลรวมการเก็บผลผลิตทั้งหมด (239 ผล) ได้ค่า R เท่ากับ 0.88 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 1.8 และประยุกต์ใช้ MLR โดยเลือกสีความยาวคลื่น ได้ความแม่นยำเท่ากับการใช้วิธี PLSR

Krivoshiev *et al.* (2000) ทำการทดลองลดอิทธิพลจากเปลือกของหัวมันฝรั่งด้วยวิธี V (virtual)-Method ทำการวัดแบบ Transmittance และ Reflectance โดยใช้พื้นฐานของทฤษฎี Kubelka-Munk และใช้ค่าการดูดกลืนของการวัดแบบ Transmittance ลบด้วยค่าการดูดกลืนของการวัดแบบ Reflectance ที่ช่วงความยาวคลื่น 600 ถึง 1000 nm ทำให้ทำนายค่าได้แม่นยำมากขึ้น

Schaare and Fraser (2000) ศึกษาการตรวจสอบคุณสมบัติภายในของผลกีวพันธุ์ *Actinidia chinensis*. โดยเปรียบเทียบการวัดแบบ Reflectance, Interactance และ Transmission ที่ช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 1100 nm และใช้วิธี PLSR ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งวิธี Interactance มีความแม่นยำมากที่สุดโดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่า R^2 เท่ากับ 0.93 และมีค่า SEP เท่ากับ 0.80 ปริมาณความหนาแน่นมีค่า R^2 เท่ากับ 0.74 และมีค่า SEP เท่ากับ 3.60 และทำนายค่าสีภายในของผลสดได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.82 และมีค่า SEP เท่ากับ 1.60

Ventura *et al.* (1998) ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการหาค่า Soluble solids content (SSC) ในผลแอปเปิล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 สายพันธุ์คือ พันธุ์ Golden Delicious จำนวน 190 ผล และพันธุ์ Jonagold จำนวน 150 ผล ซึ่งตัวอย่างที่มาจาก 2 สายพันธุ์ จะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้การวัดหลังจากเก็บผลแอปเปิลไว้ 5 เดือน และทำการวัดแบบสุ่ม ด้วยวิธีทางสถิติคือ MLR และปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.56 ค่า SEC เท่ากับ 1.01 °Brix ค่า SEP เท่ากับ 1.14 °Brix และ Bias เท่ากับ -0.13 °Brix และเมื่อทำการแยกวิเคราะห์ทีละสายพันธุ์ทำให้ผลการทำนายมีค่าความแม่นยำสูงขึ้น ในพันธุ์ Golden Delicious ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.65 แต่ในพันธุ์ Jonagold ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน

Yan-de *et al.* (2007) ได้นำวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้เทคนิค FT-NIR แบบ Diffuse reflectance โดยศึกษาผลกระทบของระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงหรืออุปกรณ์วัดแสงกับผลไม้ และอิทธิพลของตำแหน่งที่ใช้ทดสอบของผลไม้ ซึ่งใช้ทำนายค่าปริมาณความหวานของผลแอปเปิล ในการทดลองนี้กำหนดระยะทางที่ใช้ทดสอบคือ 0, 2, 4 และ 6 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธีทางสถิติ และใช้วิธี PLSR สร้างสมการทำนาย ผลที่ได้คือ ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงหรืออุปกรณ์วัดแสงกับผลไม้มีอิทธิพลเด่นชัดต่อประสิทธิภาพของสมการทำนาย และรูปแบบที่ให้ผลดีที่สุด มีค่า R เท่ากับ 0.8436 และมีค่า SEP เท่ากับ 0.773

Hai-qing *et al.* (2007) ใช้เทคนิค VIS/NIR ตรวจสอบคุณภาพแดงโม ซึ่งใช้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดวัดแบบ Diffuse transmittance ที่ช่วงความยาวคลื่น 350 ถึง 1000 nm โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี PLSR และวิธี PCR ซึ่งทำ 2 การทดลองโดยใช้พันธุ์ที่แตกต่างกันคือ พันธุ์ Qilin (QL) และ Zaochunhongyu (ZC) ซึ่งมีความหนาและมีรูปร่างที่แตกต่างกัน การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative ให้ค่าที่ดีที่สุดคือ ค่า R เท่ากับ 0.918 (QL) กับ 0.954 (ZC), RMSEP เท่ากับ 0.65 °Brix (QL) กับ 0.58 °Brix (ZC) และ RMSEC เท่ากับ 0.48 °Brix (QL) กับ 0.34 °Brix (ZC)

Abu-Khalaf *et al.* (2004) ได้ศึกษาการทำนายคุณภาพของแครอท ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ และการวิเคราะห์หลายตัวแปร (เช่น PLSR และ PCA) มาใช้ในระบบจำแนกคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครอท จุดมุ่งหมายคือ ใช้เป็นเทคโนโลยีเบื้องต้นที่นำไปพัฒนาเซนเซอร์ที่สามารถวิเคราะห์แบบไม่ทำลาย โดยทำนายความแตกต่างของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครอท ซึ่งการแบ่งแยกแครอทจะแยกจากความแตกต่างของการเพาะปลูก คือแบบอินทรีย์ และแบบไม่อินทรีย์ มีค่าความแม่นยำสูงในการทำนาย ด้วยการวัดแบบ Reflectance ที่ช่วงความยาวคลื่น 700 ถึง 1100 nm ความแตกต่างของการเพาะปลูกและความแตกต่างของแครอทระบบนี้สามารถทำได้ มากกว่า 64 เปอร์เซนต์ และ 82 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ เพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้เทคนิค NIR มาทำนายคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครอทได้

Xing and Guyer (2008) ประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบส่องผ่านตรวจสอบหนอนและแมลงในผลเชอร์รี่หวานในช่วงความยาวคลื่น 550 ถึง 980 nm และใช้วิธี Maximum Normalization ปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อลดอิทธิพลที่เกิดจากความแตกต่างของผลเชอร์รี่

หวาน พบว่าการเก็บเกี่ยวในเวลาที่เหมาะสมมีความถูกต้องในการคัดแยกมากกว่าการเก็บเกี่ยวในเวลาที่ย่ำกว่ากำหนด โดยได้ความแม่นยำในการคัดแยก 82 ถึง 87%

Xing and Guyer (2008) ทำการเปรียบเทียบแบบ Reflectance และ Transmittance ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงความยาวคลื่น 350 ถึง 1050 nm เพื่อตรวจสอบหนอนและแมลงในผลเชอร์รี่หวาน และใช้วิธี Maximum Normalization ปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อลดอิทธิพลที่เกิดจากความแตกต่างของผลเชอร์รี่หวาน พบว่าวิธีการวัดแบบ Transmittance ให้ค่าความถูกต้องในการคัดแยกมากกว่าแบบ Reflectance จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเชอร์รี่เพราะเป็นวิธีที่รวดเร็วในการตรวจสอบหนอนและแมลงในผลเชอร์รี่หวาน โดยได้ความแม่นยำในการคัดแยก 82 และ 85% ด้วยการวัด Reflectance และ Transmittance ตามลำดับ

Kawano (1993) ศึกษาการวัดสีด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบส่องผ่าน ซึ่งใช้ตัวอย่างในการสร้างสมการ และทดสอบสมการจำนวนอย่างละ 50 ตัวอย่าง โดยทำการลดอิทธิพลของขนาดของผลด้วยการทำ Normalization พบว่าที่ความยาวคลื่น 844 nm มีความสัมพันธ์กันสูงกับขนาดของผลส้ม จึงนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนี้มาหารกับช่วงความยาวคลื่นทั้งหมดทำให้สามารถกำจัดอิทธิพลของขนาดของผลส้มออกไปได้ จากนั้นนำไปสร้างสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสามารถทำนายค่าได้แม่นยำสูงขึ้น และพบว่าสมการสามารถทำนายสีปอกเปลือกได้ค่าความผิดพลาดในการทำนายต่ำกว่าส้มทั้งผล

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 เครื่อง Near Infrared Spectroscopy (Bran+Luebbe, InfraAlyzer 500, Germany)

2.2 เครื่อง Near Infrared Spectroscopy (FANTEC ,FQA-NIR GUN, Japan)

2.3 เครื่อง Digital Refractometer (Atago, PR 32, Japan)

2.4 เครื่องไทเทรต (Mettler Toledo, T50, Switzerland)

2.5 เครื่องชั่ง (Sartorius, AC 210S, Germany)

2.6 ชุดเครื่องแก้ว

2.7 กล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล (Nikon, Coolpix 2200, China)

2.8 คอมพิวเตอร์

2.9 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Mitutoyo, Digital Vernier Caliper, Japan)

3. สารเคมี

3.1 Sodium hydroxide (NaOH) 0.1 N

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 เตรียมตัวอย่างส้มสายน้ำผึ้ง และมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ซื้อจากตลาดกำแพงแสน ตลาดบางเขน และตลาด อ.ต.ก. ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2551 ตัวอย่างที่ใช้จะเลือกขนาดและสีที่ใกล้เคียงกัน โดยใช้ส้มและมะม่วงในการทดลองจำนวนอย่างละ 51 ผล จากนั้น

นำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง และวัดขนาดด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ในแนวตั้งฉากกับผิวของผล ซึ่งก่อนนำมาวัดสเปกตรัมต้องควบคุมอุณหภูมิที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2. การวัดค่าสเปกตรัมและค่าทางเคมี

2.1 การวัดสเปกตรัมจะทำการวัดที่ตำแหน่งเดียวกันบริเวณกึ่งกลางของผลส้มสายน้ำผึ้ง และมะม่วงน้ำดอกไม้ในแนวตั้งฉากกับผิวของผล โดยเริ่มวัดค่าการดูดกลืนแสงของส้มสายน้ำผึ้ง และมะม่วงน้ำดอกไม้แบบทั้งผลก่อนโดยใส่ตัวอย่างลงใน Fruit Drawer โดยปรับตำแหน่งการวัด ให้ได้ตรงจุดที่ต้องการวัดด้วยการใช้เข็มชี้ตำแหน่งดังภาพที่ 11 และ 12B แล้วปอกเปลือกทำการวัด สเปกตรัมของผลปอกเปลือกโดยใส่ตัวอย่างลงใน Fruit Drawer เช่นเดียวกับการวัดแบบทั้งผลดัง ภาพที่ 11 และ 12D จากนั้นวัดสเปกตรัมของเปลือกโดยวางเปลือกบน British cup ดังภาพที่ 11 และ 12C และนำไปคั้นน้ำเพื่อวัดสเปกตรัมของน้ำโดยใส่ใน Dutch cup ซึ่งการวัดสเปกตรัมของน้ำต้อง ระวังฟองอากาศเพราะมีผลต่อค่าการดูดกลืนของสเปกตรัมดังภาพที่ 11 และ 12E ด้วยเครื่อง InfraAlyzer 500 ที่ช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm และเครื่อง FQA-NIR GUN ที่ช่วงความยาว คลื่น 609 ถึง 1066 nm แสดงดังภาพที่ 10 ซึ่งจะทำการวัด 4 ด้าน ต่อ 1 ผล ด้านละ 3 ซ้ำ คำนวณ ค่าเฉลี่ยในแต่ละด้านและใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละด้านเป็นหนึ่งตัวอย่าง ดังนั้นจะได้จำนวนตัวอย่าง สเปกตรัมของส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้ที่นำไปสร้างสมการทำนายอย่างละ 204 ตัวอย่าง แต่สำหรับเครื่อง FQA-NIR GUN ไม่สามารถวัดสเปกตรัมที่เป็นของเหลวได้ เนื่องจากไม่มีเซลล์ที่ ออกแบบมาสำหรับการวัดสเปกตรัมของตัวอย่างที่เป็นของเหลว

2.2 หลังจากนั้นนำบริเวณที่วัดค่าการดูดกลืนแสงไปคั้นน้ำ วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทั้งหมดด้วยเครื่อง Digital Refractometer และวัดปริมาณกรดทั้งหมดด้วยวิธีการไทเทรต (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวกที่ ข) วัด 4 ด้านต่อ 1 ผล ด้านละ 3 ซ้ำ คำนวณค่าเฉลี่ยในแต่ละด้าน จะ ได้ค่าทางเคมีที่สัมพันธ์กับค่าสเปกตรัมของตัวอย่างของส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้ที่นำไป สร้างสมการทำนายอย่างละ 204 ตัวอย่าง

3. การสร้างและปรับปรุงความแม่นยำของสมการทำนาย

3.1 ก่อนสร้างสมการทำนายจะนำตัวอย่างส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้มาแบ่ง ออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรกใช้สร้างสมการ Calibration และกลุ่มสองสำหรับ Prediction ใน อัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยแบ่งให้สองกลุ่มมีการกระจายค่าทางเคมีที่วัดใกล้เคียงกันทำการปรับแต่ง

สเปกตรัม ด้วยวิธี Second Derivative หรือ Multiplicative Scatter Correction เพื่อสร้างสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมกับค่าทางเคมี ด้วยวิธี PLSR และวิธี PCA ด้วยโปรแกรม Unscrambler[®] software (Version 7.01, CAMO AS, Trondheim, Norway) ซึ่งวิธีการใช้โปรแกรม Unscrambler แสดงในภาคผนวก ก

3.2 ตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธี PLSR และวิธี PCA หลังจากทำการปรับแต่งสเปกตรัมโดยเลือกสมการทำนายที่ให้ค่า Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP) ต่ำที่สุด และเปรียบเทียบสมการที่สร้างขึ้นว่ามีค่าความผิดพลาดในการทำนาย (SEP) แตกต่างกันหรือไม่ด้วยวิธี Paired t-test แล้วเลือกกรณีของผลไม่ และการทำนายค่าทางเคมีที่มีความแม่นยำต่ำที่สุด เพื่อนำมาศึกษาหาวิธีการปรับปรุงความแม่นยำในการทำนาย

3.3 ปรับปรุงความแม่นยำของสมการด้วยวิธี Moving Window Partial Least Squares Regression ซึ่งทำการคัดเลือกหาช่วงความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพด้วยโปรแกรม MATLAB[®] software (Version 6.5, The MathWorks, USA) (ศุมาพร, 2005) วิธีนี้เป็นการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปสร้างสมการทำนาย จากนั้นเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการที่ได้ก่อน และหลังการเลือกช่วงความยาวคลื่น

3.4 ปรับปรุงความแม่นยำของสมการโดยใช้เทคนิค Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) ซึ่งเป็นวิธีในการจำแนกกลุ่ม เพื่อหาความยาวคลื่นที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มมาตรวจสอบหาช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของเปลือก จากนั้นนำช่วงความยาวคลื่นได้มาทำ Normalization กับสเปกตรัมของส้มทั้งผลเพื่อลดอิทธิพลของเปลือก โดยแบ่งเป็น 4 วิธี ได้แก่ การหาร การลบ การตัดช่วงความยาวคลื่นออก และการหารด้วยค่าเฉลี่ย จากนั้นวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี PLSR แล้วเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการทำนาย (SEP) ของสมการเดิมของส้มทั้งผลกับสมการที่ได้หลังจากลดอิทธิพลของเปลือกว่าให้ค่าความผิดพลาดในการทำนาย (SEP) ที่แตกต่างกันหรือไม่ด้วยวิธี Paired t-test



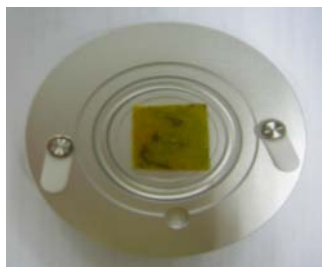
ภาพที่ 10 เครื่อง Near Infrared Spectroscopy รุ่น InfraAlyzer 500 ของ Bran+Luebbe และ
รุ่น FQA-NIR GUN ของ FANTEC ตามลำดับ



A



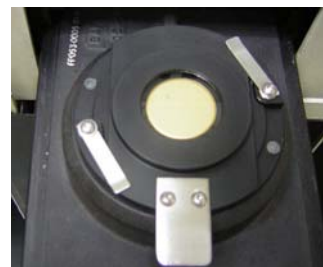
B



C

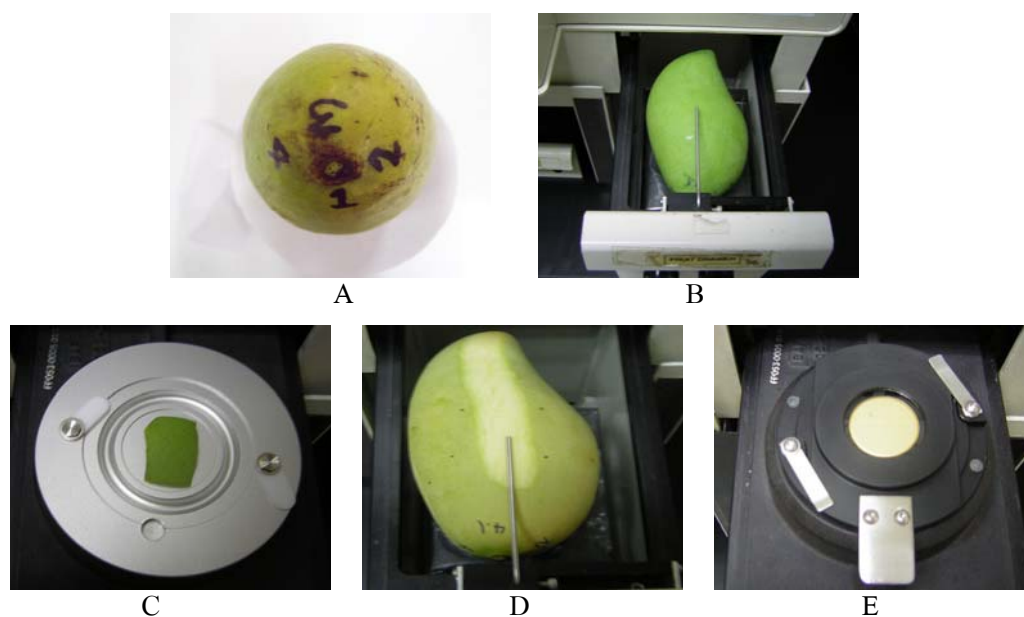


D



E

ภาพที่ 11 A ด้านที่ทำการสแกนตัวอย่างส้มสายน้ำผึ้ง, B การวัดส้มทั้งผล, C การวัดเปลือกส้ม, D
การวัดส้มปอกเปลือก และ E การวัดน้ำส้ม



ภาพที่ 12 A ด้านที่ทำการสแกนตัวอย่างมะม่วงน้ำดอกไม้, B การวัดมะม่วงทั้งผล, C การวัดเปลือกมะม่วง, D การวัดมะม่วงปอกเปลือก และ E การวัดน้ำมะม่วง

สถานที่ทำการทดลอง

1. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. ค่าทางเคมี

1.1 ค่าทางเคมีของส้มสายน้ำผึ้ง

ส้มสายน้ำผึ้งแต่ละผลถูกวัดการดูดกลืนแสง 4 ด้าน แต่ละด้านที่วัดหมายถึงหนึ่งตัวอย่าง ดังนั้นส้มทั้งหมด 51 ผล จะได้จำนวน 204 ตัวอย่าง นำมาแบ่งเป็นกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction ซึ่งทำให้มีค่าสถิติเบื้องต้นของแต่ละกลุ่มแยกตามค่าเคมีที่วัดได้ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยเป็นการแบ่งตัวอย่างโดยนำค่าทางเคมีจากการวัดทั้งหมดที่ได้จากแต่ละด้านมาเรียงค่าจากน้อยไปมากจากนั้นทำการแบ่งกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยจะเลือกสลับกันให้ค่าที่ต่ำและสูงที่สุดอยู่ในกลุ่ม Calibration เพื่อให้ครอบคลุมค่าที่นำมาทำนาย ซึ่งจะได้ตัวอย่างในกลุ่ม Calibration และ กลุ่ม Prediction จำนวน 137 และ 67 ตัวอย่างตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่าทางสถิติปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของส้มสายน้ำผึ้งในกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction โดยเรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)		ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	
	กลุ่ม Calibration	กลุ่ม Prediction	กลุ่ม Calibration	กลุ่ม Prediction
จำนวนตัวอย่าง	137	67	137	67
ค่าต่ำสุด	8.533	8.967	0.310	0.335
ค่าสูงสุด	12.800	12.100	0.975	0.895
ค่าเฉลี่ย	10.585	10.577	0.545	0.541
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.778	0.734	0.137	0.128

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มสายน้ำผึ้งกลุ่ม Calibration มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.533 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.800 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.585 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.778 และกลุ่ม Prediction มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.967 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.100 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.577 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.734 (ตารางที่ 4)

ปริมาณกรดทั้งหมดของส้มสายน้ำผึ้งกลุ่ม Calibration มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.310 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.975 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.545 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.137 และในกลุ่ม Prediction มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.335 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.895 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.541 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.128 ตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีการกระจายตัวของค่าทางเคมีใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4)

1.2 ค่าทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้

สเปกตรัมของมะม่วงน้ำดอกไม้จำนวน 204 ตัวอย่าง นำมาแบ่งเป็นกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction ซึ่งทำให้มีค่าสถิติเบื้องต้นของแต่ละกลุ่มแยกตามค่าเคมีที่วัดได้ดังแสดงในตารางที่ 5 เป็นการแบ่งตัวอย่างโดยนำค่าทางเคมีจากการวัดทั้งหมดที่ได้จากแต่ละด้านมาเรียงจากน้อยไปมากจากนั้นทำการแบ่งกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยจะเลือกสลับกันให้ค่าที่ต่ำและสูงที่สุดอยู่ในกลุ่ม Calibration เพื่อให้ครอบคลุมค่าที่นำมาทำนาย ซึ่งจะได้ตัวอย่างในกลุ่ม Calibration และ กลุ่ม Prediction จำนวน 137 และ 67 ตัวอย่างตามลำดับ

ตารางที่ 5 ค่าทางสถิติปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของมะม่วงน้ำดอกไม้ในกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction

	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)		ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	
	กลุ่ม Calibration	กลุ่ม Prediction	กลุ่ม Calibration	กลุ่ม Prediction
จำนวนตัวอย่าง	137	67	137	67
ค่าต่ำสุด	10.000	10.100	0.160	0.205
ค่าสูงสุด	21.300	20.600	2.315	2.015
ค่าเฉลี่ย	14.885	14.834	1.020	1.008
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.764	2.656	0.496	0.474

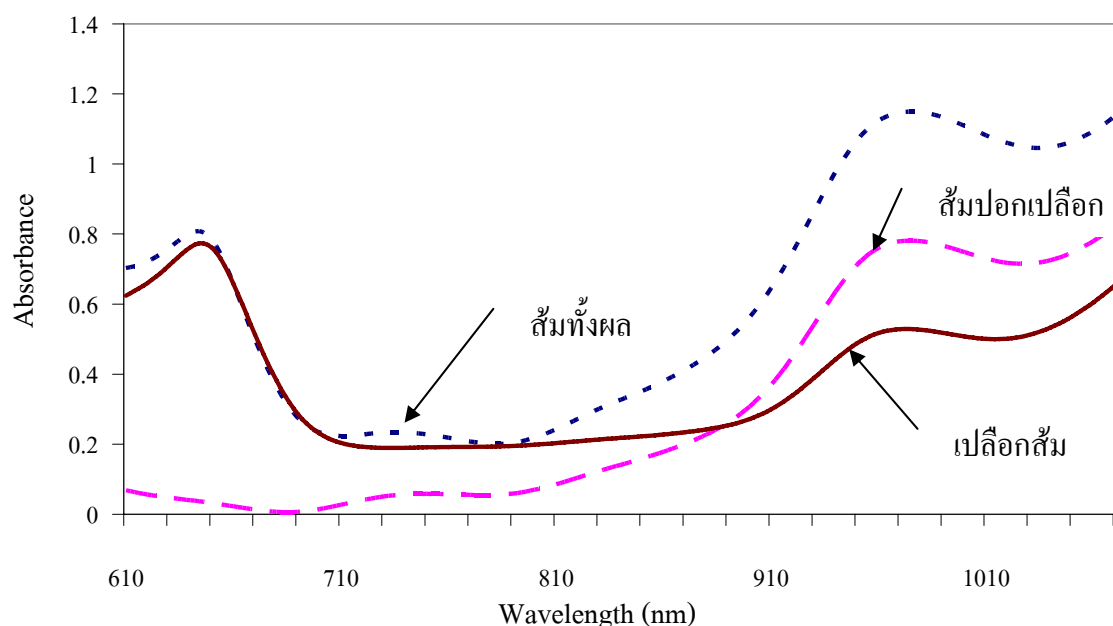
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วงน้ำดอกไม้กลุ่ม Calibration มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 10.000 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 21.300 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.885 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.764 และกลุ่ม Prediction มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 10.100 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 20.600 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.834 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.656 (ตารางที่ 5)

ปริมาณกรดทั้งหมดของมะม่วงน้ำดอกไม้มีกลุ่ม Calibration มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.160 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.315 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.020 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.496 และในกลุ่ม Prediction มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.205 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.015 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.008 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.474 (ตารางที่ 5)

2. ลักษณะของสเปกตรัม

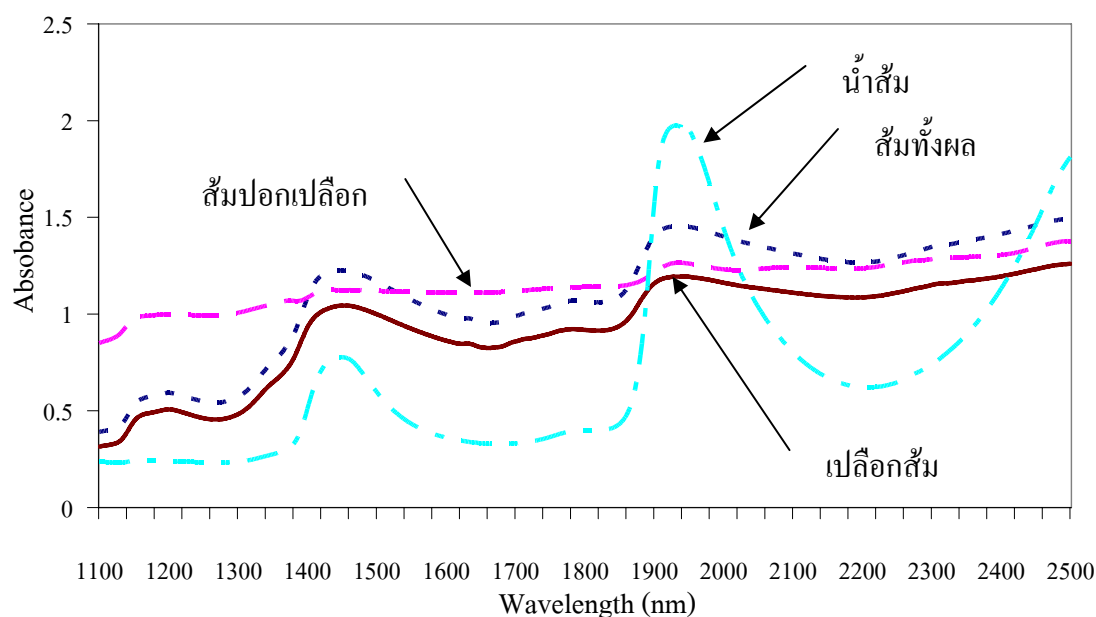
2.1 สเปกตรัมของส้มสายน้ำผึ้ง

ลักษณะสเปกตรัมของส้มสายน้ำผึ้งในช่วงคลื่นสั้น 609 ถึง 1066 nm ที่วัดจากเครื่อง NIR-Gun แสดงไว้ในภาพที่ 13 สเปกตรัมของส้มสายน้ำผึ้งทั้งผลมีลักษณะคล้ายกับของเปลือกส้ม โดยเฉพาะในช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 700 nm แสงในช่วงนี้เป็นแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดกลืนของคลอโรฟิลล์ในเปลือกส้มต่อแสงสีแดงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 640 nm (Liu *et al.*, 2008) ดังนั้นในช่วงความยาวคลื่นนี้ลักษณะสเปกตรัมของส้มทั้งผลกับเปลือกส้มจึงมีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งแตกต่างกับส้มปอกเปลือกเพราะว่าบริเวณผิวของส้มปอกเปลือกจะมีใยส้มสีขาวปกคลุมโดยรอบที่มีผลต่อการดูดกลืนในช่วงนี้ และเมื่อถึงเขตที่ช่วงความยาวคลื่น 970 nm จะเห็นค่าการดูดกลืนอย่างชัดเจนซึ่งเป็นการดูดกลืนของน้ำ (Osborne *et al.*, 1993) โดยเฉพาะกรณีของส้มทั้งผลและส้มปอกเปลือกซึ่งมีความสอดคล้องกับส้มทั้งผลซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก แต่ที่สเปกตรัมของเปลือกส้มมีค่าการดูดกลืนต่ำที่สุดที่ความยาวคลื่นนี้ เนื่องจากในกรณีของส้มทั้งผลและส้มปอกเปลือกนั้นแสงสามารถส่องผ่านถึงเนื้อส้มซึ่งมีน้ำอยู่ ส่วนเปลือกส้มนั้นรูปแบบการวัดเป็นไปในลักษณะ Transflectance และไม่มีเนื้อส้มซึ่งมีน้ำอยู่มาก ดังนั้นการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 970 nm อันเนื่องมาจากน้ำของเปลือกส้มจึงมีน้อยกว่า โดยเป็นการดูดกลืนของน้ำที่มีอยู่ในเปลือกเท่านั้น นอกจากนั้นเมื่อปอกเปลือกแล้วจะมีน้ำบางส่วนระเหยไปทำให้ค่าการดูดกลืนของส้มปอกเปลือกและเปลือกส้มมีค่าการดูดกลืนต่ำกว่าส้มทั้งผลที่ความยาวคลื่นนี้ และในกรณีของส้มทั้งผลผิวเปลือกที่เรียบทำให้เกิดการกระเจิงแสงน้อยกว่าผิวเนื้อส้มซึ่งไม่เรียบและมีเส้นใยอยู่บ้าง ดังเช่นในกรณีของส้มปอกเปลือก ส่งผลให้การดูดกลืนแสงในภาพรวมของกรณีส้มทั้งผลสูงกว่าส้มปอกเปลือก



ภาพที่ 13 สเปกตรัมเฉลี่ยของส้มทั้งผล ส้มปอกเปลือก และเปลือกส้ม จากเครื่อง NIR-Gun

ลักษณะสเปกตรัมของส้มสายน้ำผึ้งในช่วงคลื่นยาว 1100 ถึง 2500 nm ที่วัดจากเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ยี่ห้อ Bran+Luebbe รุ่น InfraAlyzer 500 แสดงไว้ในภาพที่ 14 สเปกตรัมของส้มสายน้ำผึ้งทั้งผลมีลักษณะคล้ายกับของเปลือกส้มตลอดช่วงความยาวคลื่น เนื่องจากมีผิวเปลือกคล้ายกันแต่ส้มทั้งผลจะมีการดูดกลืนแสงมากกว่า เนื่องจากการดูดกลืนแสงของเปลือกและเนื้อส้มพร้อมกัน ส่วนเปลือกจะดูดกลืนแสงน้อยกว่าถึงแม้ว่าจะเป็นการวัดแบบ Transflectance ก็ตามเนื่องจากเปลือกอาจหนาเพียงพอนำให้เกิดการส่องผ่านเพียงเล็กน้อยจึงทำให้พลังงานแสงส่วนใหญ่สะท้อนกลับและการดูดกลืนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากเปลือก โดยที่สเปกตรัมของส้มทั้งผลมีค่าการดูดกลืนสูงกว่าของเปลือกส้มเล็กน้อย เนื่องจากระเหยารอบไปบางส่วนหลังจากที่ทำการปอกเปลือก จากภาพที่ 14 สเปกตรัมของส้มปอกเปลือกแตกต่างกับส้มทั้งผลและเปลือกส้ม เนื่องจากที่รอบผิวของส้มปอกเปลือกมีใยส้มสีขาว ซึ่งมีผลต่อการวัดสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นช่วงนี้ เพราะมีความสามารถในการทะลุทะลวงได้น้อยกว่าช่วงความยาวคลื่นสั้น และเมื่อสังเกตในช่วงความยาวคลื่น 1450 และ 1940 nm ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนของน้ำ (Osborne *et al.*, 1993) จะไม่มีความชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากผิวหน้าของส้มปอกเปลือกที่ไม่ราบเรียบเกิดการกระเจิงแสงมากทำให้การดูดกลืนแสงที่เกิดขึ้นเกิดจากองค์ประกอบที่อยู่ใกล้ผิวเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งน้ำที่อยู่ด้านในจึงมีโอกาสน้อยที่จะดูดกลืนแสง นอกจากนั้นการดูดกลืนแสงของส้มปอกเปลือกมีลักษณะสม่ำเสมอตลอดช่วงความยาวคลื่น

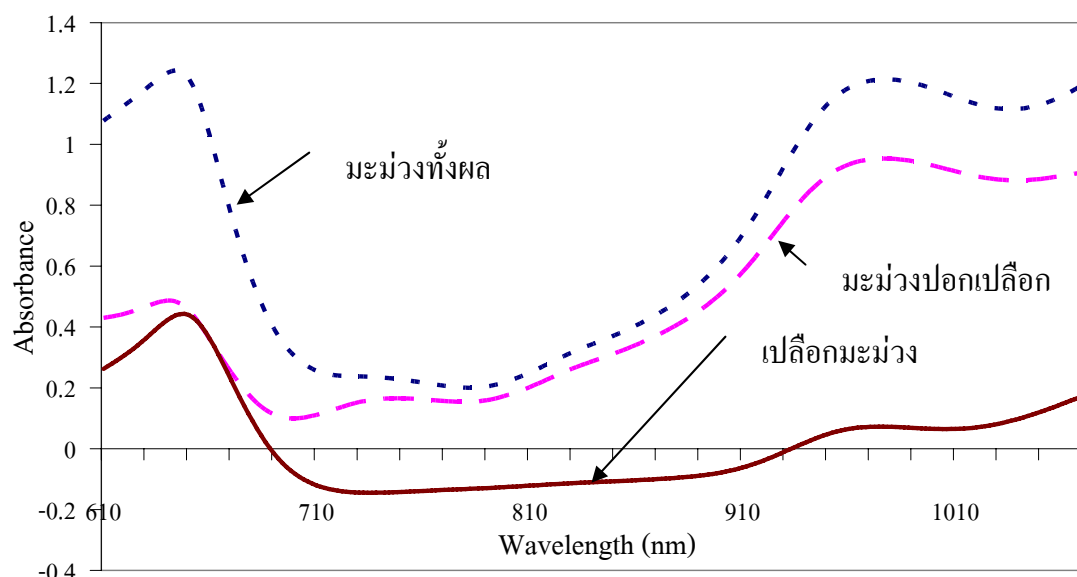


ภาพที่ 14 สเปกตรัมเฉื่อยของส้มทั้งผล ผลปอกเปลือก เปลือกส้ม และน้ำส้ม จากเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ยี่ห้อ Bran+Luebbe รุ่น InfraAlyzer 500

2.2 สเปกตรัมของมะม่วงน้ำดอกไม้

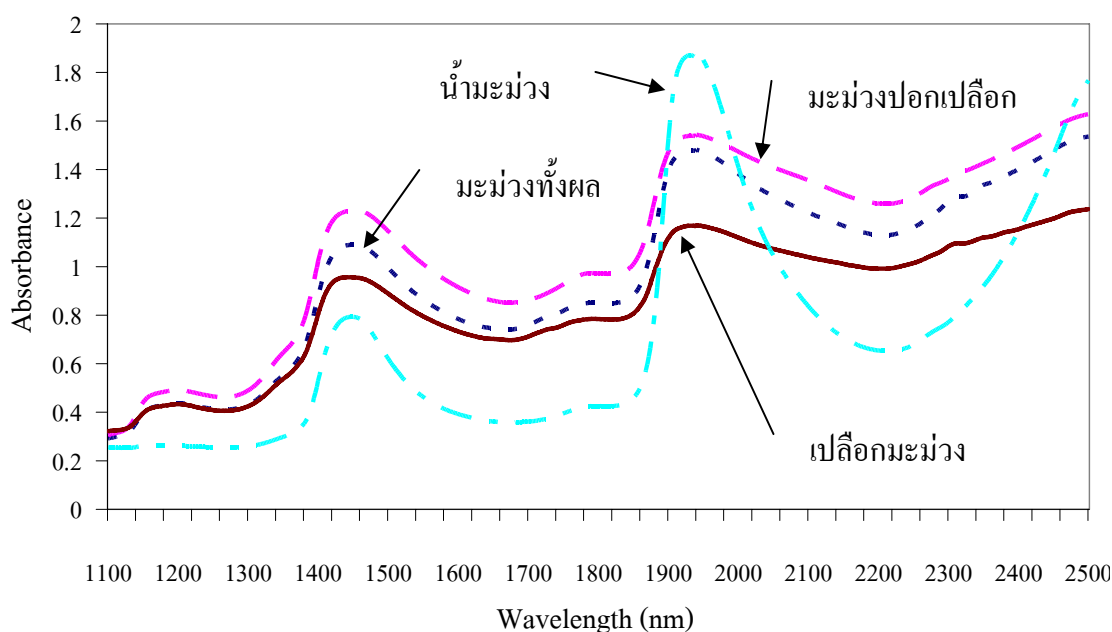
ลักษณะสเปกตรัมของมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงคลื่นสั้น 609 ถึง 1066 nm ที่วัดจากเครื่อง NIR-Gun แสดงไว้ในภาพที่ 15 สเปกตรัมของมะม่วงน้ำดอกไม้ทั้งผล เปลือกมะม่วง และมะม่วงปอกเปลือกมีลักษณะคล้ายกัน โดยที่ช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 700 nm เป็นแสง Visible light ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดกลืนของคลอโรฟิลล์ต่อแสงสีแดงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 640 nm (Liu *et al.*, 2008) ลักษณะสเปกตรัมของการวัดทั้งสามแบบจึงมีลักษณะคล้ายกัน เพราะทั้งสามแบบมีสีและความเรียบของผิวใกล้เคียงกัน และเมื่อสังเกตในช่วงความยาวคลื่น 970 nm จะเห็นค่าการดูดกลืนอย่างชัดเจนซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนของน้ำ (Osborne *et al.*, 1993) ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลมะม่วงซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก แต่ที่สเปกตรัมของเปลือกมะม่วงมีค่าการดูดกลืนต่ำที่สุดที่ความยาวคลื่นนี้เพราะว่าเมื่อปอกเปลือกมะม่วงแล้วจะมีน้ำบางส่วนระเหยไปทำให้ค่าการดูดกลืนของมะม่วงปอกเปลือกและเปลือกมะม่วงมีค่าการดูดกลืนต่ำกว่ามะม่วงทั้งผลที่ความยาวคลื่นสั้น ความแตกต่างระหว่างมะม่วงทั้งผลกับเปลือกมะม่วงเหมือนกับกรณีส้ม อย่างไรก็ตามในกรณีมะม่วงปอกเปลือกเนื่องจากผิวเนื้อมะม่วงเรียบมีการกระเจิงแสงต่ำทำให้ในช่วงความยาวคลื่น 610 ถึง 690 nm ยังคงเห็นสีชัดเจนอันเนื่องมาจากการดูดกลืนแสงสีแดงของคลอโรฟิลล์ แสง NIR คลื่นสั้นมีความสามารถในการส่องผ่านสูงกว่า NIR คลื่นยาว ดังนั้นในกรณีเปลือกมะม่วงซึ่งบางน่าจะทำให้แสง NIR คลื่นสั้นส่องผ่านไปได้มากกว่า และสะท้อนกลับที่ด้านหลังของ Dutch cup

และส่องผ่านเปลือกกกลับมายัง detector ได้มากกว่า NIR คลื่นยาวอีกทั้งเปลือกที่บางจึงมี องค์ประกอบที่น้อย การดูดกลืนแสงจึงน้อยซึ่งในช่วงความยาวคลื่น 690 ถึง 930 nm การสะท้อน กลับมีค่ามากกว่าเทฟลอนซึ่งเป็นวัสดุมาตรฐานสำหรับอ้างอิง จนทำให้ค่าการดูดกลืนเป็นลบ



ภาพที่ 15 สเปกตรัมเฉื่อยของมะม่วงทั้งผล ผลปอกเปลือก และเปลือกมะม่วง จากเครื่อง NIR-Gun

ลักษณะสเปกตรัมของมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงคลื่นยาว 1100 ถึง 2500 nm ที่วัดจาก เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ยี่ห้อ Bran+Luebbe รุ่น InfraAlyzer 500 แสดงไว้ใน ภาพที่ 16 สเปกตรัมของมะม่วงน้ำดอกไม้แบบทั้งผล และเปลือกมะม่วงมีค่าการดูดกลืนใกล้เคียง กัน ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการส่องผ่านที่ต่ำของแสง NIR คลื่นยาวทำให้พลังงาน แสงส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนโดยเปลือกถึงแม้มะม่วงน้ำดอกไม้จะมีเปลือกบางก็ตาม แต่สเปกตรัมของ เปลือกจะมีค่าการดูดกลืนต่ำกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ทั้งผลและม่วงปอกเปลือกตามลำดับ ทั้งนี้ อาจ เนื่องจากเนื้อมะม่วงมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าเปลือก ในกรณีมะม่วงปอกเปลือกการดูดกลืน แสงจากน้ำจึงมีค่าสูง แต่เมื่อมีเปลือกซึ่งมีน้ำอยู่น้อยกว่ามาขวางในกรณีของมะม่วงทั้งผล การ ดูดกลืนของน้ำจึงน้อยลงเนื่องจากในช่วงความยาวคลื่นนี้แสงจะผ่านลงไปได้ไม่มาก และเมื่อสังเกต ที่ช่วงความยาวคลื่น 1450 และ 1940 nm จะเห็นค่าการดูดกลืนอย่างชัดเจนซึ่งเป็นค่าการดูดกลืน ของน้ำ (Osborne *et al.*, 1993) ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลมะม่วงซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 16 สเปกตรัมเฉื่อยของมะม่วงทั้งผล ผลปอกเปลือก เปลือกมะม่วง และน้ำมะม่วง จากเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ยี่ห้อ Bran+Luebbe รุ่น InfraAlyzer 500

3. การเปรียบเทียบสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR

วิธีการสร้างสมการ Calibration ทั้ง 2 แบบ คือ PLSR และ PCR ถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบว่าวิธีใดเหมาะสมที่จะนำไปสร้างสมการทำนาย ซึ่งทั้ง 2 วิธีเป็นการใช้สเปกตรัมตลอดช่วงความยาวคลื่นมาสร้างความสัมพันธ์กับค่าทางเคมีในที่นี้คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมด ทั้งสองวิธีนี้จะทำการสร้างตัวแปรใหม่โดยรวมค่าการดูดกลืนของทุกความยาวคลื่นเข้าไว้ด้วยกัน และตัวแปรใหม่ตัวแรกที่สร้างขึ้นจะสามารถอธิบายความแปรปรวนของสเปกตรัมได้มากที่สุด และตัวแปรตัวที่สองจะอธิบายความแปรปรวนที่เหลือ ซึ่งแต่ละตัวแปรที่สร้างขึ้นจะไม่มีความสัมพันธ์กัน (Non-Collinearity) ค่าทางสถิติของสมการ calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ แสดงในตารางที่ 6 ถึง 13 (ข้อมูลการปรับแต่งสเปกตรัม และค่าทางสถิติที่ได้อยู่ในตารางภาคผนวกที่ ง1 ถึง ง40)

ตารางที่ 6 ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้ง ในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
PLSR	ทั้งผล	Original	10	0.845	0.416	0.768	0.479	0.052	0.478	1.532
	ปอกเปลือก	MSC	4	0.569	0.639	0.715	0.610	-0.008	0.606	1.203
	เปลือก	MSC	5	0.693	0.561	0.705	0.521	0.039	0.519	1.409
	น้ำส้ม	2D	4	0.960	0.218	0.946	0.239	0.040	0.241	3.071
PCR	ทั้งผล	Original	13	0.824	0.440	0.774	0.470	0.035	0.468	1.562
	ปอกเปลือก	Original	4	0.543	0.653	0.532	0.622	-0.029	0.618	1.180
	เปลือก	MSC	15	0.763	0.502	0.733	0.504	0.017	0.501	1.456
	น้ำส้ม	MSC	3	0.962	0.211	0.956	0.218	0.087	0.233	3.367

หมายเหตุ R^{*} is Correlation Coefficient of Calibration

R^{**} is Correlation Coefficient of Prediction

ตารางที่ 7 ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ ในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
PLSR	ทั้งผล	2D	10	0.936	0.972	0.899	1.163	-0.234	1.178	2.284
	ปอกเปลือก	2D	9	0.932	1.002	0.886	1.246	-0.177	1.249	2.132
	เปลือก	Original	16	0.932	1.002	0.826	1.502	-0.106	1.495	1.768
	น้ำมะม่วง	2D	5	0.991	0.379	0.992	0.345	-0.113	0.360	7.699
PCR	ทั้งผล	2D	17	0.907	1.166	0.882	1.260	-0.186	1.260	2.108
	ปอกเปลือก	MSC	13	0.899	1.211	0.858	1.367	-0.177	1.368	1.943
	เปลือก	2D	15	0.809	1.624	0.704	1.889	0.150	1.881	1.406
	น้ำมะม่วง	MSC	4	0.983	0.503	0.987	0.435	-0.014	0.432	6.106

ตารางที่ 8 ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
PLSR	ทั้งผล	2D	10	0.744	0.092	0.662	0.097	-0.009	0.096	1.320
	ปอกเปลือก	Original	8	0.628	0.107	0.284	0.128	-0.024	0.129	1.000
	เปลือก	2D	4	0.378	0.127	0.335	0.121	-0.006	0.120	1.058
	น้ำส้ม	Original	11	0.973	0.032	0.813	0.084	-0.010	0.084	1.524
PCR	ทั้งผล	MSC	20	0.623	0.099	0.599	0.104	-0.015	0.104	1.231
	ปอกเปลือก	Original	3	0.451	0.123	0.041	0.138	-0.003	0.137	0.928
	เปลือก	MSC	1	0.062	0.137	0.096	0.127	0.005	0.127	1.008
	น้ำส้ม	MSC	16	0.842	0.074	0.731	0.093	-0.011	0.093	1.376

ตารางที่ 9 ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
PLSR	ทั้งผล	2D	8	0.766	0.319	0.680	0.349	0.048	0.349	1.358
	ปอกเปลือก	2D	8	0.776	0.313	0.688	0.353	0.036	0.352	1.343
	เปลือก	2D	9	0.742	0.333	0.547	0.417	0.047	0.417	1.137
	น้ำมะม่วง	Original	7	0.872	0.243	0.809	0.280	-0.004	0.278	1.693
PCR	ทั้งผล	2D	16	0.722	0.343	0.667	0.353	0.069	0.358	1.343
	ปอกเปลือก	Original	16	0.750	0.328	0.718	0.330	0.036	0.329	1.436
	เปลือก	2D	14	0.698	0.355	0.546	0.412	0.030	0.410	1.150
	น้ำมะม่วง	Original	10	0.854	0.258	0.797	0.287	-0.009	0.285	1.652

ตารางที่ 10 ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณของแฉ่งที่ละลายได้ทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้ง ในช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
PLSR	ทั้งผล	2D	7	0.812	0.454	0.788	0.453	-0.020	-0.450	1.620
	ปอกเปลือก	2D	11	0.847	0.413	0.755	0.485	0.061	0.485	1.513
	เปลือก	2D	7	0.807	0.463	0.735	0.499	0.090	0.504	1.471
PCR	ทั้งผล	2D	13	0.810	0.456	0.790	0.451	-0.008	0.448	1.627
	ปอกเปลือก	2D	14	0.823	0.441	0.723	0.514	0.064	0.514	1.428
	เปลือก	MSC	9	0.782	0.488	0.732	0.496	0.043	0.495	1.480

ตารางที่ 11 ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณของแฉ่งที่ละลายได้ทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ ในช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
PLSR	ทั้งผล	2D	10	0.913	1.129	0.872	1.319	-0.136	1.316	2.014
	ปอกเปลือก	Original	7	0.911	1.138	0.903	1.140	0.032	1.132	2.330
	เปลือก	Original	16	0.921	1.080	0.854	1.456	-0.225	1.462	1.824
PCR	ทั้งผล	2D	16	0.915	1.115	0.881	1.271	-0.131	1.269	2.090
	ปอกเปลือก	2D	14	0.928	1.027	0.899	1.167	-0.087	1.161	2.276
	เปลือก	2D	18	0.890	1.262	0.834	1.492	-0.149	1.488	1.780

ตารางที่ 12 ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งในช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
PLSR	ทั้งผล	Original	12	0.696	0.099	0.604	0.103	0.019	0.104	1.243
	ปอกเปลือก	2D	7	0.585	0.111	0.483	0.112	0.012	0.112	1.143
	เปลือก	2D	6	0.660	0.103	0.531	0.113	-0.012	0.113	1.133
PCR	ทั้งผล	MSC	16	0.649	0.105	0.519	0.111	0.010	0.110	1.153
	ปอกเปลือก	2D	12	0.568	0.113	0.476	0.113	0.014	0.113	1.133
	เปลือก	2D	10	0.645	0.105	0.520	0.114	-0.022	0.114	1.123

ตารางที่ 13 ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ในช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
PLSR	ทั้งผล	Original	8	0.720	0.344	0.685	0.345	0.035	0.344	1.374
	ปอกเปลือก	Original	4	0.719	0.345	0.720	0.329	0.033	0.328	1.441
	เปลือก	MSC	13	0.755	0.755	0.665	0.357	-0.003	0.354	1.328
PCR	ทั้งผล	Original	10	0.720	0.344	0.677	0.349	0.031	0.348	1.358
	ปอกเปลือก	Original	4	0.716	0.346	0.720	0.329	0.033	0.328	1.441
	เปลือก	Original	9	0.690	0.359	0.582	0.390	0.010	0.388	1.215

จากตารางที่ 6 ถึง 13 ข้อมูลทางสถิติที่ได้ในตารางสามารถสรุปได้ว่าการปรับแต่ง (Pretreatment) ด้วยวิธีใดได้สมการทำนายที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่า SEP, Bias และ RMSEP ที่มีค่าต่ำที่สุด เช่น จากตารางผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของส้มสายน้ำผึ้งทั้งผลในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm การปรับแต่งด้วยวิธี 2D ให้สมการทำนายที่ดีที่สุดคือ มีค่า SEP เท่ากับ 0.097 Bias เท่ากับ -0.009 และ RMSEP เท่ากับ 0.096 การปรับแต่งด้วยวิธี MSC มีค่า SEP เท่ากับ 0.102 Bias เท่ากับ -0.007 และ RMSEP เท่ากับ 0.102 และสเปกตรัมที่ไม่ปรับแต่งมีค่า SEP เท่ากับ 0.113 Bias เท่ากับ -0.016 และ RMSEP เท่ากับ 0.113 ดังนั้นจึงเลือกสมการที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี 2D มาใช้ในการสร้างสมการทำนาย เป็นต้น (ตารางที่ 8)

ในการเปรียบเทียบค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR และ PCR ของ ส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้ จากตารางที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติที่สร้างด้วยวิธี PLSR และ PCR ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่วัดแบบทั้งผล สมการที่สร้างด้วยวิธี PLSR จะใช้ตัวแปรใหม่ (Factor) ในการสร้างสมการเท่ากับ 10 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 1.178 ส่วนสมการที่สร้างด้วยวิธี PCR จะใช้ตัวแปรใหม่ (Factor) ในการสร้างสมการเท่ากับ 17 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 1.260 และ ในกรณีอื่นๆ ก็จะได้ผลในการทำงานเหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการสร้างสมการด้วยวิธี PLSR จะใช้ตัวแปรใหม่ (Factor) ในการสร้างสมการน้อยกว่าวิธี PCR ซึ่งให้ค่าความแม่นยำและความผิดพลาดในการทำนายที่ไม่แตกต่างกัน (Gomez *et al.*, 2006) ดังนั้นจะใช้วิธี PLSR ในการ สร้างและปรับปรุงสมการทำนายต่อไป

การศึกษาว่าเปลือกมีอิทธิพลต่อการทำนายค่าทางเคมีหรือไม่จึงนำสมการทำนายที่ดีที่สุด หลังการปรับแต่งสเปกตรัมระหว่างการวัดแบบทั้งผลกับการวัดแบบปอกเปลือกมา เปรียบเทียบด้วยวิธี Paired t-test ซึ่งวิธีนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการทำนาย (Standard Error of Prediction, SEP) ของสมการที่สร้างขึ้นว่าสมการทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบกัน ให้ค่าความผิดพลาดในการทำนายแตกต่างกันหรือไม่ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 13 ถึง 15

$$K = 1 + \frac{2(1-r^2)t_{n-2,0.025}^2}{(n-2)} \quad (13)$$

$$L = \sqrt{\left\{K + \sqrt{(K^2 - 1)}\right\}} \quad (14)$$

$$\frac{SEP_1}{SEP_2} \times \frac{1}{L} \text{ และ } \frac{SEP_1}{SEP_2} \times L \quad (15)$$

เมื่อ r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความผิดพลาดในการทำนายระหว่าง 2 กลุ่ม
 n คือ จำนวนตัวอย่างที่นำมาทำนายเท่ากับ 67
 $t_{n-2,0.025}$ คือ ค่าจากตารางการแจกแจงแบบ t ที่จำนวนความเป็นอิสระเท่ากับ 65

ถ้า $\frac{SEP_1}{SEP_2} \times L$ มีค่ามากกว่า 1 และ $\frac{SEP_1}{SEP_2} \times \frac{1}{L}$ มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าสมการทั้งสอง ให้ค่าความผิดพลาดในการทำนาย (SEP) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95 % (Naes *et al.*, 2004) ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่า SEP ของปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งในช่วง คลื่นยาวระหว่างสัปดาห์ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 2D มีค่า SEP เท่ากับ 0.096 และส้มปอกเปลือก

ที่ไม่ปรับแต่งสเปกตรัมมีค่า SEP เท่ากับ 0.129 (ตารางผนวกที่ 3) ตัวอย่างที่นำมาทำนายจำนวน 67 ตัวอย่าง จากนั้นคำนวณหาค่า R ของความผิดพลาดในการทำนายระหว่างสั้มทั้งผลกับสั้มปอกเปลือกตามสมการที่ 7 ได้ R เท่ากับ 0.370 และเปิดตารางได้ค่า $t_{65, 0.025}$ เท่ากับ 1.997 แทนค่าในสมการที่ 13 ได้ K เท่ากับ 1.077 และ L จำนวนจากสมการที่ 14 มีค่าเท่ากับ 1.276 แทนค่าในสมการที่ 15 ได้ค่า $\frac{SEP_1}{SEP_2} \times \frac{1}{L}$ เท่ากับ 0.621 และ $\frac{SEP_1}{SEP_2} \times L$ เท่ากับ 0.917 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่า SEP ระหว่างสั้มทั้งผลและสั้มปอกเปลือกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ซึ่งผลจากการคำนวณที่ได้หลังจากทำ Paired t-test ทุกคู่ ตารางผนวกที่ 3

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่า SEP ด้วยวิธี Paired t-test ของการวัดแบบทั้งผลกับการวัดแบบปอกเปลือกที่วิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR โดยเลือกสมการดีที่สุดหลังปรับแต่งของสั้มและมะม่วงที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% โดยกลุ่มตัวอย่างที่เรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Orange				Mango			
	TA		SSC		TA		SSC	
	LWNIR	SWNIR	LWNIR	SWNIR	LWNIR	SWNIR	LWNIR	SWNIR
Pre	2D-Abs.	Abs.-2D	Abs.-MSC	2D-2D	2D-2D	Abs.-Abs.	2D-2D	2D-Abs.
treatment	(sig)	(ns)	(sig)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)

หมายเหตุ SWNIR คือ Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy (609 ถึง 1066 nm)

LWNIR คือ Long Wavelength Near Infrared Spectroscopy (1100 ถึง 2500 nm)

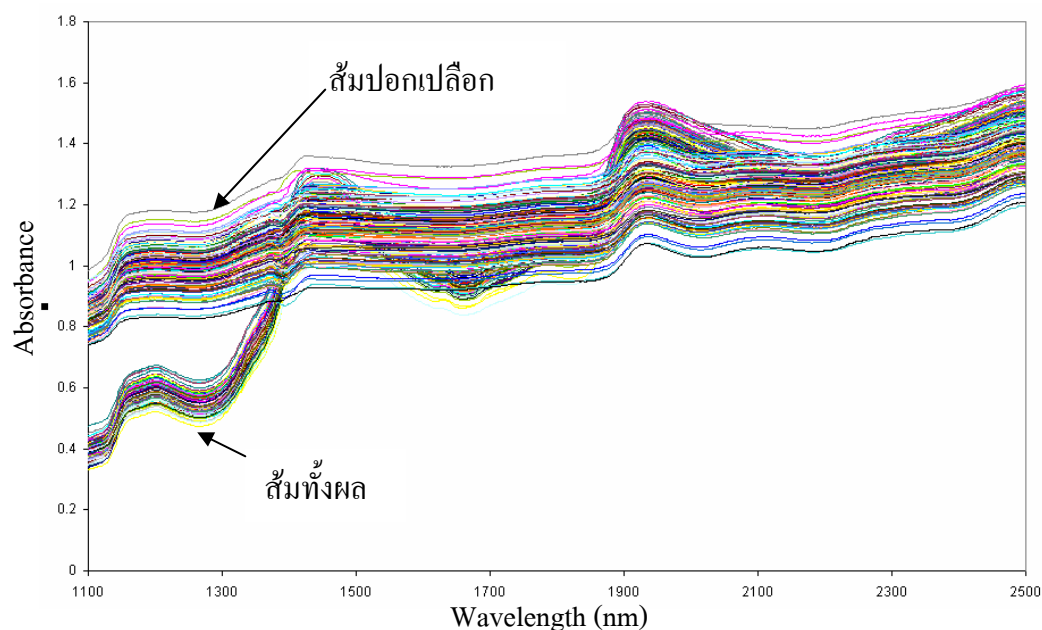
Abs. คือ No treatment

ns คือ not significant

sig คือ significant

จากตารางที่ 14 สามารถสรุปได้ว่าการวัดแบบทั้งผลและการวัดแบบปอกเปลือกในมะม่วงน้ำดอกไม้ส้มการที่ดีที่สุดให้ค่า SEP ของปริมาณกรดทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ทั้งช่วงคลื่นสั้นและช่วงคลื่นยาว หลังจากเลือกวิธี Pretreatment ที่ดีที่สุด ด้วยการวิเคราะห์แบบ PLSR แต่ในส่วนของสั้มสายน้ำผึ้งให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ในการวัดแบบทั้งผลและการวัดแบบปอกเปลือกที่ช่วงคลื่นยาว หลังจากเลือกวิธี Pretreatment ที่ดีที่สุด ด้วยการวิเคราะห์แบบ PLSR ซึ่ง

สาเหตุน่าจะเกิดจากที่ช่วงความยาวคลื่นยาว แสงมีอำนาจในการทะลุทะลวงน้อยกว่าที่ช่วงคลื่นสั้น (ศิริินภา, 2548) ซึ่งสัณสาหร่ายน้ำฝิ่งมีเปลือกที่หนากว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ ทำให้ค่าที่ได้เกิดความผิดพลาดสูงในช่วงคลื่นยาว และในผลส้มที่ปอกเปลือกแล้วจะได้รับผลกระทบเนื่องจากสภาพผิวของเนื้อส้มที่ปอกเปลือกทำให้ค่าที่ทำนายได้ในกรณีของส้มทั้งผลและส้มปอกเปลือกมีความแม่นยำแตกต่างกัน ซึ่งการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดให้ผลการทดลองที่ขัดแย้งกับ Kawano (1993) ที่ทำนายส้มปอกเปลือกแม่นยำมากกว่าส้มทั้งผลด้วยการวัดแบบทะลุผ่าน (Transmittance) สาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองที่ได้แตกต่างกันเกิดจากความแตกต่างของรูปแบบที่ใช้ในการวัดสเปกตรัม อย่างไรก็ตามผลการทดลองมีความสอดคล้องกับ วรรณกนก (2546) ที่ทำการวัดแบบ Interactance ซึ่งสามารถทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของส้มทั้งผลได้แม่นยำมากกว่าส้มปอกเปลือก



ภาพที่ 17 สเปกตรัมทั้งหมดของส้มทั้งผลและส้มปอกเปลือกจากเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer ยี่ห้อ Bran+Luebbe รุ่น InfraAlyzer 500

จากภาพที่ 17 แสดงสเปกตรัมทั้งหมดของสัณสาหร่ายน้ำฝิ่งทั้งผลและสัณสาหร่ายน้ำฝิ่งที่ปอกเปลือกในช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm เมื่อสังเกตสเปกตรัมทั้งหมดของสัณสาหร่ายน้ำฝิ่งทั้งผลและสเปกตรัมของสัณสาหร่ายน้ำฝิ่งที่ปอกเปลือกแล้ว พบว่าสัณสาหร่ายน้ำฝิ่งที่ปอกเปลือกมีการกระเจิงแสงที่สูงกว่าทำให้ความแตกต่างสเปกตรัมระหว่างตัวอย่างมีมากกว่าสเปกตรัมของสัณสาหร่ายน้ำฝิ่งทั้งผล จึงน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สมการที่ได้จากส้มทั้งผลมีค่าความผิดพลาดในการทำนายที่ต่ำกว่า และในกรณี

ของสัณยฐานน้ำผึ้งเป็นกรณีที่น่าสนใจเนื่องจากเปลือกจะส่งผลต่อรูปร่างสเปกตรัมและทำให้ความแม่นยำในการทำนายค่าทางเคมีมีความแตกต่างกันระหว่างสัณยฐานทั้งผลและสัณยฐานเปลือก ในกรณีการทำนายปริมาณกรดทั้งหมดจะมีความแม่นยำที่ต่ำกว่าการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกที่จะศึกษาวิธีการปรับปรุงความแม่นยำของสมการทำนายของสัณยฐานน้ำผึ้งทั้งผลที่ช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm ด้วยวิธี PLSR

4. การเปรียบเทียบการแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่ม Calibration และ Prediction ที่มีอิทธิพลต่อความแม่นยำในการทำนาย

เพื่อตรวจสอบว่าการแบ่งตัวอย่างมีผลต่อความผิดพลาดของสมการทำนายหรือไม่ จึงทำการทดลองแบ่งตัวอย่างเป็นสองแบบ โดยการแบ่งตัวอย่างแบบแรกคือ นำค่าทางเคมีจากการวัดทั้งหมดที่ได้จากแต่ละด้านมาเรียงค่าจากน้อยไปมากจากนั้นทำการแบ่งกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ให้ค่าที่ต่ำและสูงที่สุดอยู่ในกลุ่ม Calibration เพื่อให้ครอบคลุมค่าที่นำมาทำนาย การแบ่งตัวอย่างแบบที่สองคือ การนำค่าทางเคมีจากการวัดทั้ง 4 จุดรอบผลมาทำการเฉลี่ยจากนั้นนำค่าเฉลี่ยของแต่ละผลมาทำการเรียงค่าทางเคมีจากน้อยไปมาก และทำการแบ่งกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ให้ค่าที่ต่ำและสูงที่สุดอยู่ในกลุ่ม Calibration เช่นเดียวกับการแบ่งกลุ่มแบบแรกดังแสดงในตารางผนวกที่ ก2 การแบ่งตัวอย่างแบบแรกนั้นมีโอกาสทำให้สเปกตรัมของผลเดียวกันอยู่ทั้งในกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction ซึ่งอาจจะทำให้ตัวอย่างจากทั้งสองกลุ่มไม่เป็นอิสระจากกันได้อย่างสมบูรณ์ส่วนการแบ่งตัวอย่างแบบที่สองนั้นใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนของตัวอย่างแต่ละผล ซึ่งเมื่อแบ่งกลุ่มแล้วค่าสเปกตรัมทั้งสี่ของแต่ละผลจะแยกไปอยู่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น กลุ่ม Calibration หรือ กลุ่ม Prediction ซึ่งทำให้ตัวอย่างในกลุ่มทั้งสองเป็นอิสระต่อกันมากกว่าการแบ่งตัวอย่างในแบบแรก โดยค่าทางสถิติของสมการ Calibration เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของสัณยฐานน้ำผึ้ง และมะม่วงน้ำดอกไม้แบบทั้งผล แบบเปลือกเปลือก เปลือก และน้ำ โดยใช้วิธี Partial Least Square Regression (PLSR) ที่ช่วงความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm และที่ช่วงความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm ใช้การแบ่งกลุ่มโดยวิธีเรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล ผลการวิเคราะห์ทั้งหมดแสดงในตารางผนวกที่ ง17 ถึง ง24 จากนั้นนำสมการที่ดีที่สุดหลังจากทำการปรับแต่งสเปกตรัม (Pretreatment) มาเปรียบเทียบกับ การแบ่งตัวอย่างด้วยการเรียงค่าทางเคมีจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน (ตารางที่ 15 และ 16)

ตารางที่ 15 ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของส้มสายน้ำผึ้งแบบทั้งผลที่ช่วงคลื่นสั้น (SWNIR) และช่วงคลื่นยาว (LWNIR)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
LWNIR+	Original ^a	10	0.845	0.416	0.768	0.479	0.052	0.478	1.532
SSC	MSC ^b	9	0.863	0.400	0.647	0.538	-0.014	0.533	1.296
LWNIR+	2D ^a	10	0.744	0.092	0.662	0.097	-0.009	0.096	1.320
TA	Original ^b	6	0.642	0.109	-0.242	0.153	0.016	0.153	0.745
SWNIR+	2D ^a	7	0.812	0.454	0.788	0.453	-0.020	-0.450	1.620
SSC	2D ^b	7	0.825	0.448	0.705	0.496	0.009	0.492	1.405
SWNIR+	Original ^a	12	0.696	0.099	0.604	0.103	0.019	0.104	1.243
TA	Original ^b	6	0.550	0.119	-0.050	0.129	0.001	0.127	0.884

หมายเหตุ ^a สมการทำนายจากการเรียงตัวอย่างค่าทางเคมีน้อยไปมากของแต่ละด้าน

^b สมการสร้างจากข้อมูลที่เรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล

ตารางที่ 16 ค่าทางสถิติของสมการ Calibration ที่สร้างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของมะม่วงน้ำดอกไม้แบบทั้งผลที่ช่วงคลื่นสั้น (SWNIR) และช่วงคลื่นยาว (LWNIR)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
LWNIR+	2D ^a	10	0.936	0.972	0.899	1.163	-0.234	1.178	2.284
SSC	Original ^b	14	0.963	0.784	0.882	1.153	-0.048	1.145	2.124
LWNIR+	2D ^a	8	0.766	0.319	0.680	0.349	0.048	0.349	1.358
TA	MSC ^b	8	0.718	0.355	0.433	0.398	0.057	0.399	1.103
SWNIR+	2D ^a	10	0.913	1.129	0.872	1.319	-0.136	1.316	2.014
SSC	Original ^b	8	0.894	1.274	0.816	1.419	0.414	1.468	1.726
SWNIR+	Original ^a	8	0.720	0.344	0.685	0.345	0.035	0.344	1.374
TA	Original ^b	7	0.746	0.340	0.467	0.392	0.097	0.401	1.120

หมายเหตุ ^a สมการทำนายจากการเรียงตัวอย่างค่าทางเคมีน้อยไปมากของแต่ละด้าน

^b สมการสร้างจากข้อมูลที่เรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล

จากตารางที่ 15 และ 16 เมื่อเปรียบเทียบสมการทำนายระหว่างการแบ่งตัวอย่างโดยการเรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล กับ การแบ่งตัวอย่างด้วยการเรียงค่าทางเคมีจากน้อยไปมากของสเปกตรัมแต่ละด้าน ในภาพรวมความแม่นยำในการทำนายจะต่ำกว่าทุกกรณีสำหรับการใช้ตัวอย่างที่แบ่งกลุ่มด้วยการเรียงค่าทางเคมีโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล เนื่องจากตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีความเป็นอิสระต่อกันโดยสมบูรณ์ ซึ่งการวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างที่มีความเป็นอิสระจากกันนี้ถึงแม้ว่าจะให้ความแม่นยำที่ต่ำกว่า แต่สมการ Calibration ที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือมากกว่าในการทำนายค่าจากตัวอย่างในอนาคต

เหตุผลในการวัดสเปกตรัมและค่าทางเคมีของผลไม้สี่ด้านในแต่ละผลนั้นเกิดจากสมมุติฐานว่ามีความแตกต่างระหว่างด้านต่างๆ ของผลไม้ ในที่นี้จึงกำหนดให้แต่ละด้านที่วัดเปรียบเทียบเป็นหนึ่งตัวอย่างสำหรับการพิสูจน์จึงใช้วิธีทางสถิติมาเปรียบเทียบว่าค่าทางเคมีในแต่ละด้านแตกต่างกันหรือไม่ ดังผลในตารางผนวกที่ จ1 และ จ2 ที่แสดงค่าทางเคมีของแต่ละด้านไม่แตกต่างกันทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณกรดทั้งหมดในช่วงความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าทางเคมีในแต่ละด้านไม่แตกต่างกัน ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถทำการวัดสเปกตรัมที่ด้านใดของส้มและมะม่วงก็ได้เพราะในแต่ละด้านไม่มีผลต่อค่าทางเคมี

5. การปรับปรุงประสิทธิภาพของสมการในการทำนายค่าทางเคมีของส้มสายน้ำผึ้งแบบทั้งผล

5.1 การเลือกช่วงความยาวคลื่นโดยวิธี Moving Window Partial Least Square Regression (MWPLSR)

Moving Window Partial Least Square Regression (MWPLSR) เป็นวิธีที่ให้ผลที่เป็นข้อมูลสำหรับการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ทำให้มีความผิดพลาดในการทำนายค่าที่สุด ซึ่งมีการประยุกต์ใช้วิธี MWPLSR เพื่อใช้ในการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปสร้างสมการทำนายคุณภาพของน้ำปลาไทยทำให้สมการทำนายที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

(Ritthiruangdej, 2006) โดย MWPLSR จะแสดงค่าความผิดพลาดระหว่างค่าจริงและค่าทำนาย ในรูปของ Log (SSR) (Sums of Squares Residues) ใน MWPLSR มีการกำหนดให้มี 1 หน้าต่างสเปกตรัมขนาด X_1 เมตริกซ์ขนาด m แถว n คอลัมน์ ให้เคลื่อนที่ไปตามสเปกตรัมตลอดช่วงความยาวคลื่น (ในที่นี้สเปกตรัมคือเมตริกซ์ขนาด m แถว n คอลัมน์) ตำแหน่งข้อมูลที่หน้าต่างเคลื่อนที่ไปถึงก็จะนำไปสร้างสมการด้วยวิธี PLS ที่ค่าแฟกเตอร์ต่างๆ หลังจากนั้นจะทำการคำนวณหาค่า log (Sum of Squares Residues: SSR) จากสมการ PLS ที่ได้ และนำไปเขียนกราฟโดยให้แกน X

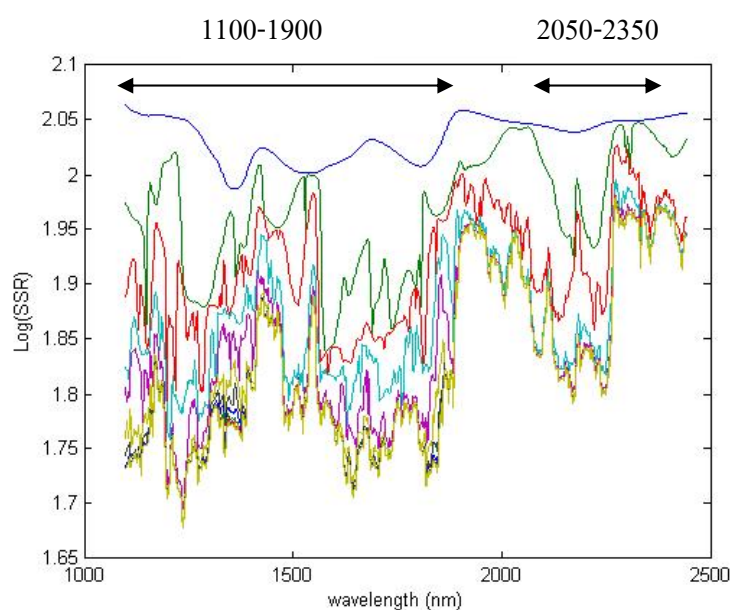
เป็นความยาวคลื่น และแกน Y เป็นค่า $\log(\text{SSR})$ กราฟแต่ละเส้น แสดงค่า $\log(\text{SSR})$ ที่ได้จากการคำนวณในแต่ละแฟกเตอร์ แล้วทำการพิจารณาเพื่อเลือกช่วงสเปกตรัมที่มีความสัมพันธ์กับค่าทางเคมี โดยเลือกช่วงกราฟที่มีค่า $\log(\text{SSR})$ ต่ำ เพื่อนำมาสร้างสมการทำนายที่ดีที่สุด

$$\text{SSR}_i = \left(y_i - X_i \hat{b}_i \right)^t \left(y_i - X_i \hat{b}_i \right) \quad (16)$$

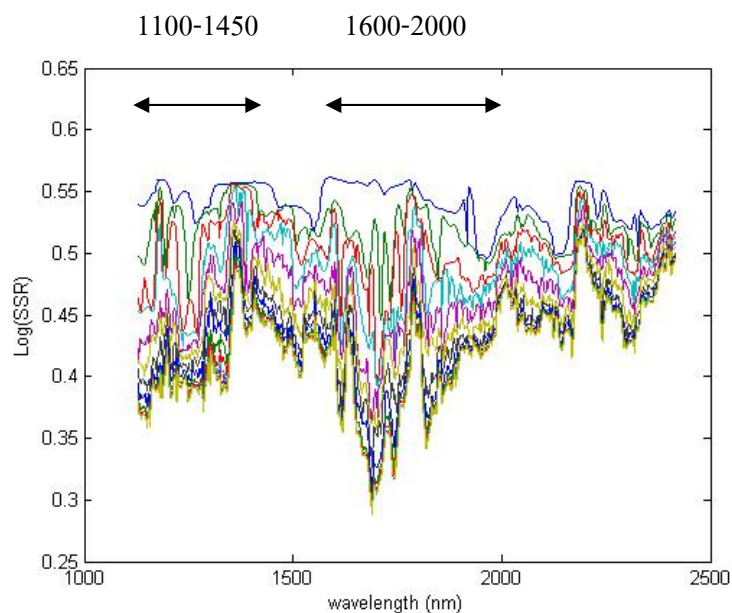
โดยที่ y_i คือ ค่าองค์ประกอบทางเคมี

x_i คือ ข้อมูลสเปกตรัม

$\hat{b}_i$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย



ภาพที่ 18 กราฟระหว่างค่า $\text{Log}(\text{SSR})$ กับช่วงความยาวคลื่น จากวิธี MWPLSR เพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มทั้งผลที่ช่วงคลื่นยาว



ภาพที่ 19 กราฟระหว่างค่า Log (SSR) กับช่วงความยาวคลื่น จากวิธี MWPLSR เพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของส้มทั้งผลที่ช่วงคลื่นยาว

การพล็อตกราฟ Log (SSR) ที่แต่ละความยาวคลื่นดังภาพที่ 18 และ ภาพที่ 19 ซึ่งในการ MWPLSR จะเลือกวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมที่ให้ค่าความผิดพลาดในการทำนายต่ำที่สุดไปทำการพล็อตกราฟ Log (SSR) เพื่อที่จะเลือกความยาวคลื่นหรือช่วงความยาวคลื่นที่ให้ค่า Log (SSR) ที่น้อยกว่า และนำไปวิเคราะห์สร้างสมการทำนายซึ่งจากภาพที่ 18 จะเลือกช่วง 1100 ถึง 1900 และ 2050 ถึง 2350 nm และจากภาพที่ 19 จะเลือกช่วง 1100 ถึง 1450 และ 1600 ถึง 2000 nm เนื่องจากว่าช่วงความยาวคลื่นนี้ให้ค่า Log (SSR) ต่ำ ซึ่งค่าสถิติที่ได้หลังจากทำการช่วงความยาวคลื่นแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบสมการ Calibration ก่อนและหลังจากทำ MWPLSR ที่สร้างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของ ส้มสายน้ำผึ้งแบบทั้งผลที่ช่วงคลื่นยาว (LWNIR)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
LWNIR+	Full spectral ¹	10	0.845	0.416	0.768	0.479	0.052	0.478	1.532
SSC	1100-1900, 2050-2350 ²	9	0.828	0.436	0.760	0.480	0.035	0.478	1.529
	1100-1900 ²	14	0.875	0.376	0.720	0.529	-0.016	0.525	1.388
LWNIR+	Full spectral	10	0.744	0.092	0.662	0.097	-0.009	0.096	1.320
TA	1100-1450, 1600-2000 ²	11	0.727	0.094	0.678	0.095	-0.008	0.094	1.347
	1600-2000 ²	8	0.727	0.094	0.654	0.099	-0.009	0.098	1.293

หมายเหตุ ¹ สมการที่สร้างจากความยาวคลื่นทั้งหมด

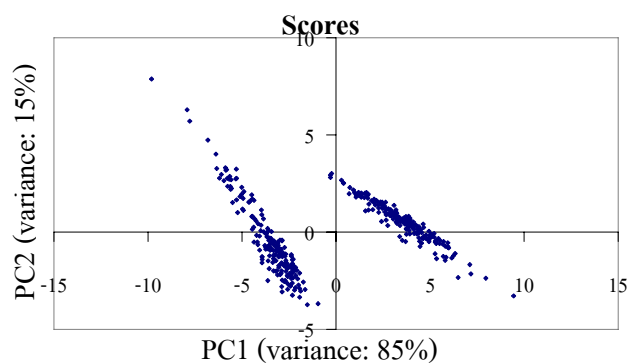
² สมการที่สร้างจากการเลือกช่วงความยาวคลื่นด้วยวิธี MWPLSR

จากตารางที่ 17 ค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการทำนายด้วยวิธี PLSR หลังจากที่ทำ การเลือกช่วงความยาวคลื่นด้วย MWPLSR จะได้ค่า SEP, Bias และ RMSEP ไม่แตกต่างกันซึ่งบาง สเปกตรัมไม่สามารถเลือกช่วงที่มีค่า Log (SSR) ต่ำได้ เนื่องจากค่า Log (SSR) ที่ได้มีค่าใกล้เคียง กันตลอดทั้งความยาวคลื่น จึงต้องใช้ช่วงความยาวคลื่นทั้งหมดในการสร้างสมการทำนาย ดังนั้นจึง สรุปได้ว่าการใช้วิธี MWPLSR ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพสมการทำนายของ ส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้

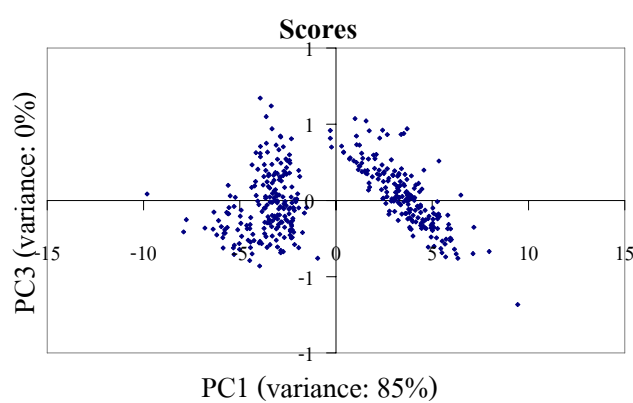
5.2 การใช้วิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) เลือกความยาวคลื่น ที่เกี่ยวข้องกับเปลือก

เนื่องจากเปลือกมีผลต่อการดูดกลืนแสงโดยรวมจึงควรมีการหาข้อมูลการดูดกลืนแสง ที่สัมพันธ์กับเปลือก เทคนิคที่ใช้คือ Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) ซึ่ง เป็นวิธีในการจำแนกกลุ่ม โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงของส้มปอกเปลือกและเปลือก เพื่อหาความยาว คลื่นที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างส้มปอกเปลือกกับเปลือก จากนั้นนำช่วงความยาวคลื่นที่

ได้มาทำ Normalization กับสเปกตรัมของส้มทั้งผลที่ละความยาวคลื่น โดยการทำ Normalization แบบหนึ่งคือ การปรับค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นหนึ่งๆ ให้มีค่าเหมือนกัน

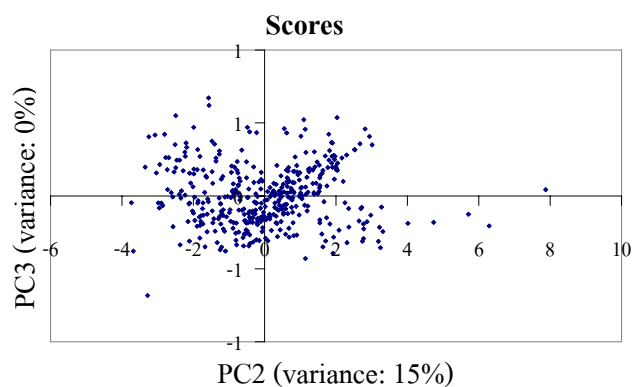


(ก)



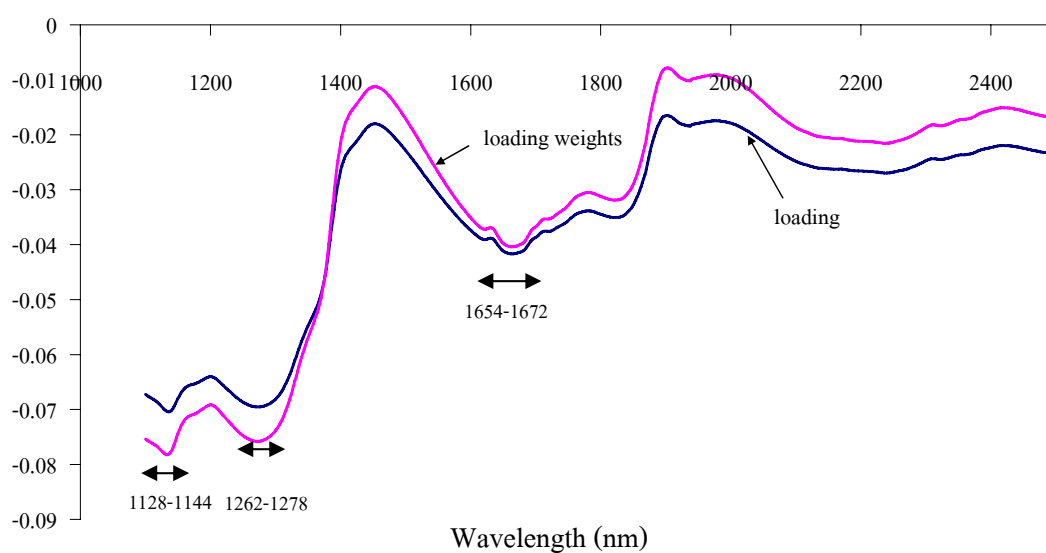
(ข)

ภาพที่ 20 ค่า Score plot ของผลส้มสายน้ำผึ้งปอกเปลือกและเปลือกในช่วงคลื่นยาว (ก) PC1 กับ PC2 (ข) PC1 กับ PC3 และ (ค) PC2 กับ PC3



(ค)

ภาพที่ 20 (ต่อ)

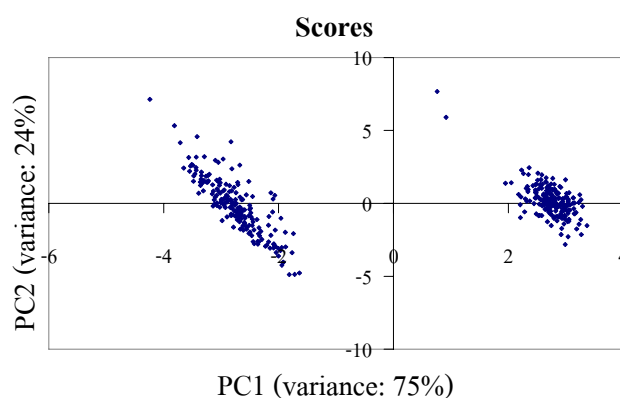


ภาพที่ 21 ค่า x-loading และ x-loading weights ของ PC1 ระหว่างผลสัมสายน้ำผึ้งปอกเปลือกและเปลือกในช่วงคลื่นยาว

วิธี PLS-DA เป็นวิธีวิเคราะห์ข้อมูลโดยจะสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า Principal component (PC) ซึ่งเป็นผลรวมเชิงเส้นของค่าการดูดกลืนแสงของทุกความยาวคลื่น โดย PC1 จะเป็นค่าที่อธิบายความแปรปรวนร่วมที่มากที่สุดของค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกับค่าที่ใช้ทำนายแยกกลุ่มระหว่างส้มปอกเปลือกกับเปลือก ค่า PC ซึ่งเรียกว่า Score เมื่อพล็อตร่วมกันระหว่างสอง PC จะสามารถนำมาตรวจสอบการแบ่งกลุ่มของตัวอย่างได้

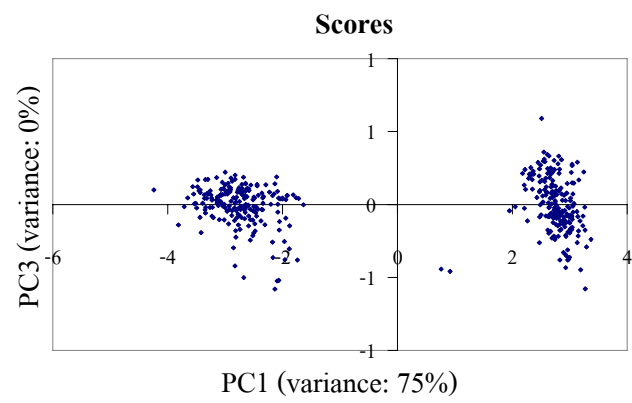
ค่า Principal component (PC) ที่ทำให้เกิดการแบ่งกลุ่มระหว่างส้มปอกเปลือกกับเปลือกจากภาพที่ 20ก ถึง 20ค คือ PC1 ซึ่งการแบ่งกลุ่มระหว่างส้มปอกเปลือกกับเปลือกถูกแยกตามแนวตั้ง ส่วนภาพที่ 20ค ซึ่งพล็อตระหว่าง PC2 และ PC3 จะไม่เกิดการแยกกลุ่มสำหรับความยาวคลื่นที่ทำให้เกิดการดูดกลืนที่แตกต่างกันระหว่างส้มปอกเปลือกกับเปลือกส้ม นั่นก็คือ ความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับค่า PC1 มากซึ่งสามารถหาได้จากค่า x-loading ของ PC1 ซึ่งค่านี้จะแสดงสัดส่วนการดูดกลืนแสงในแต่ละความยาวคลื่นที่มีผลต่อค่า PC1 ที่อธิบายความแปรปรวนระหว่างส้มปอกเปลือกและเปลือก (PC1 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 85%) ซึ่งช่วงความยาวคลื่นที่มีค่า loading สูงจะมีความสำคัญในการแบ่งกลุ่มระหว่างส้มปอกเปลือกกับเปลือกส้ม (Liu *et al.*, 2008) และเมื่อสังเกตค่า x-loading และ x-loading weights จะมีลักษณะที่เหมือนกัน ซึ่งจะเลือกค่า x-loading ของ PC1 ที่มีค่าสูงที่สุดระหว่างส้มปอกเปลือกกับเปลือกคือ ที่ช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm (ภาพที่ 21)

ในการทำงานเดียวกันได้ใช้วิธี PLS-DA ระหว่างส้มสายน้ำผึ้งทั้งผลกับส้มปอกเปลือกเลือกความยาวคลื่นสำหรับการทำ Normalization

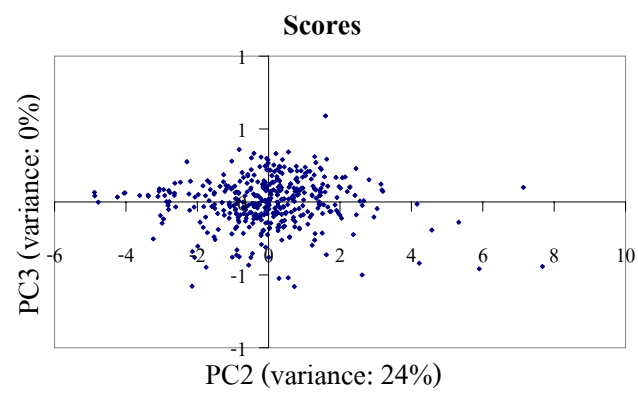


(ก)

ภาพที่ 22 ค่า Score Plot ของส้มสายน้ำผึ้งทั้งผลและส้มปอกเปลือกในช่วงคลื่นยาว (ก) PC1 กับ PC2 (ข) PC1 กับ PC3 และ (ค) PC2 กับ PC3

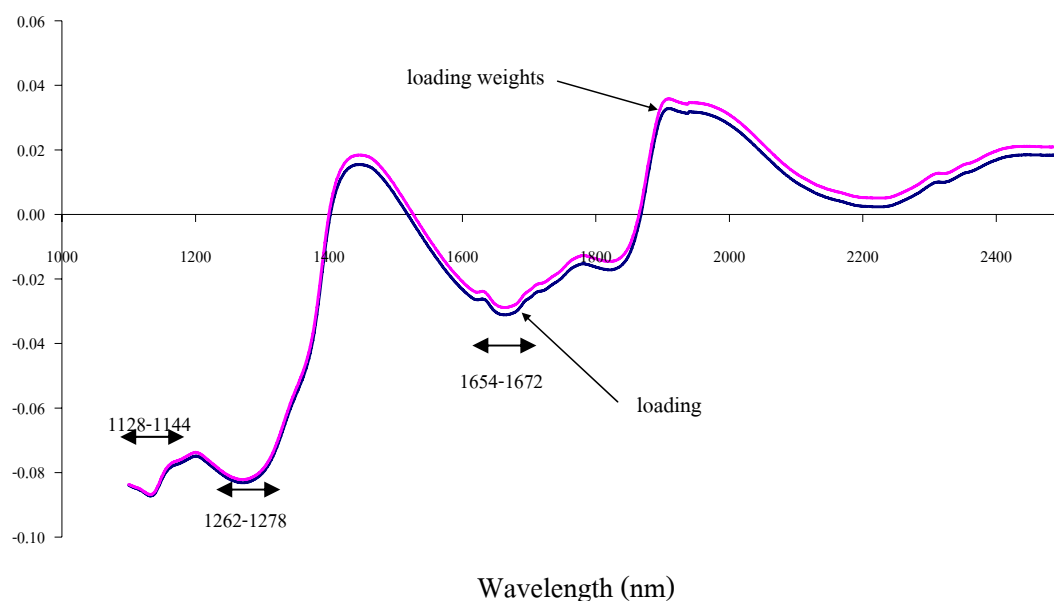


(จ)



(ข)

ภาพที่ 22 (ต่อ)



ภาพที่ 23 ค่า x-loading และ x-loading weights ของ PC1 ระหว่างสัปดาห์น้ำผึ้งทั้งผลกับส้มปอกเปลือกในช่วงคลื่นยาว

จากภาพที่ 22ก ถึง 22ค แสดงค่า Scores plot ด้วยวิธี PLS-DA ระหว่างสัปดาห์น้ำผึ้งทั้งผลกับส้มปอกเปลือก PC ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มคือ PC1 เช่นเดียวกันซึ่งสามารถทำให้เกิดการแยกกลุ่มได้ชัดเจนกว่ากรณีส้มปอกเปลือกกับเปลือกส้มจึงใช้ช่วงความยาวคลื่นที่ให้ค่า x-loading สูงที่สุดของ PC1 มาปรับปรุงความแม่นยำของสมการทำนาย ซึ่งช่วงความยาวคลื่นที่ใช้คือ 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm (ภาพที่ 23) ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกันกับการเลือกช่วงความยาวคลื่นด้วยการใช้ค่า x-loading ระหว่างส้มปอกเปลือกและเปลือกส้ม ซึ่งช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับน้ำมันส้มที่ช่วงความยาวคลื่น 1634 ถึง 1766 nm (Steuer *et al.*, 2000) จากนั้นนำช่วงความยาวคลื่นที่ได้มาปรับปรุงความแม่นยำของสมการ โดยวิธีแรกคือ นำค่าการดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นที่ได้มาหารกับค่าการดูดกลืนทุกความยาวคลื่นที่ละความยาวคลื่น วิธีที่สองคือ นำค่าการดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นที่ได้มาลบกับค่าการดูดกลืนทุกความยาวคลื่นที่ละความยาวคลื่น วิธีที่สามคือ นำค่าการดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นที่ได้มาหาเฉลี่ยแล้วหารกับค่าการดูดกลืนทุกความยาวคลื่นที่ละความยาวคลื่น วิธีสุดท้ายคือ ตัดช่วงความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับเปลือกออก จากนั้นทำการปรับแต่งด้วยวิธี 2D หรือ MSC นำสเปกตรัมที่ได้มาสร้างสมการ Calibration โดยวิเคราะห์ทางสถิติด้วย PLSR และเลือกสมการทำนายที่ดีที่สุด ที่ให้ค่า RMSEP ต่ำที่สุด

ตารางที่ 18 ผลการปรับปรุงสมการ Calibration ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี PLSR เรียงตัวอย่างในแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
A_λ/A_{1130}	Original	10	0.855	0.403	0.765	0.484	0.030	0.481	1.517
$A_\lambda-A_{1660}$	Original	10	0.845	0.416	0.778	0.462	0.061	0.462	1.589
$A_{1128-1144,1262-1278,1654-1672}$	MSC	10	0.861	0.396	0.783	0.464	0.038	0.462	1.582
$A_\lambda/A_{aver1128-1144,1654-1672}$	Original	10	0.844	0.417	0.769	0.478	0.055	0.477	1.536

หมายเหตุ A_λ ค่าการดูดกลืนทั้งหมด

A_A ค่าดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่น A

A_{A-B} ค่าการดูดกลืนที่ตัดช่วงความยาวคลื่น A ถึง B ออกจากค่าการดูดกลืนแสงทั้งหมด

$A_{aver A-B}$ ค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่น A ถึง B

ในการทดสอบปรับปรุงความแม่นยำของสมการ Calibration ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง ด้วยวิธี PLSR โดยใช้ตัวอย่างจากกลุ่มที่ได้จากการเรียงค่าเคมีแต่ละด้านได้ผลดังในตารางที่ 18 ซึ่งพบว่าในช่วงคลื่นยาว (1100 ถึง 2500 nm) หลังจากการด้วยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 1130 การทำนายจะให้ค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.484 มีค่า Bias เท่ากับ 0.030 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.481 หลังจากลบด้วยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1660 มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.462 มีค่า Bias เท่ากับ 0.061 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.462 หลังจากตัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm และทำ MSC แล้วมีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.464 มีค่า Bias เท่ากับ 0.038 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.461 และหลังจากหารด้วยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 และ 1645 ถึง 1672 nm มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.478 มีค่า Bias เท่ากับ 0.055 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.477

ส้มสายน้ำผึ้งที่มีเปลือกก่อนที่จะนำไปปรับปรุงสมการมีค่า SEP เท่ากับ 0.479 ค่า Bias เท่ากับ 0.052 และค่า RMSEP เท่ากับ 0.478 สำหรับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหลังจากที่ทำการปรับปรุงสมการ Calibration ทั้งสามวิธีคือ การหารและการลบที่ความยาวคลื่น และการตัดช่วงความยาวคลื่นที่มีผลทำให้ผล

ปอกเปลือกและเปลือกแยกออกจากกันหลังจากวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS-DA การลบด้วยความยาวคลื่นที่ 1660 nm ได้ค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.462 รองลงมาคือการตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm ได้ค่า SEP เท่ากับ 0.464 การหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 และ 1645 ถึง 1672 nm มีค่า SEP เท่ากับ 0.478 และการหารที่ความยาวคลื่น 1130 ที่ละความยาวคลื่นได้ค่า SEP เท่ากับ 0.484

สำหรับค่า Bias การหารด้วยความยาวคลื่น 1130 ได้ค่า Bias ต่ำที่สุดคือ -0.030 รองลงมาคือ การตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm ได้ค่า Bias เท่ากับ 0.038 การหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 และ 1645 ถึง 1672 nm ได้ค่า Bias เท่ากับ 0.055 และการลบด้วยความยาวคลื่น 1660 ได้ค่า Bias เท่ากับ 0.061

ค่า RMSEP การลบด้วยความยาวคลื่น 1660 nm และการตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm ได้ค่า RMSEP ต่ำที่สุดคือ 0.462 การหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 และ 1645 ถึง 1672 nm ได้ค่า RMSEP เท่ากับ 0.477 และการหารด้วยความยาวคลื่น 1130 ได้ค่า RMSEP เท่ากับ 0.481 ตามลำดับ

ดังนั้นค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าทั้งสี่วิธีคือ การหาร การลบที่ละความยาวคลื่น การใช้ช่วงความยาวคลื่นเฉลี่ยมาหารที่ละความยาวคลื่น และการตัดช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลทำให้ผลปอกเปลือกและเปลือกแยกออกจากกันหลังจากวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS-DA มีสามวิธีที่สามารถทำให้ค่า RMSEP ลดลงได้คือ การลบที่ละความยาวคลื่น การตัดช่วงความยาวคลื่น และการหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่นตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบ SEP ด้วยวิธี Paired t-test แล้วทั้งสามวิธีให้ผลการทำนายที่ไม่แตกต่างกันกับส้มสายน้ำผึ้งทั้งผล ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตามในกรณีการใช้ค่าการดูดกลืนที่ลบและตัดช่วงความยาวคลื่นให้ความแม่นยำที่ดีกว่าการใช้ค่าทุกช่วงความยาวคลื่นโดยทำให้ค่า RMSEP ลดลง 3.35%

ตารางที่ 19 ผลการปรับปรุงสมการ Calibration ของค่าปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี PLSR เรียงตัวอย่างในแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
A_{λ}/A_{1654}	2D	14	0.912	0.056	0.823	0.076	-0.007	0.076	1.684
$A_{\lambda}-A_{1140}$	2D	14	0.917	0.055	0.815	0.079	-0.007	0.078	1.620
$A_{1654-1672}$	2D	14	0.916	0.055	0.819	0.077	-0.007	0.077	1.662
$A_{\lambda}/A_{aver1262-1278}$	2D	10	0.768	0.088	0.654	0.100	-0.016	0.100	1.280

สำหรับการทดสอบการปรับปรุงความแม่นยำในการทำนายค่าปริมาณกรดทั้งหมดด้วยวิธี PLSR โดยใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเดียวกันได้ผลดังแสดงในตารางที่ 19 ซึ่งพบว่าในช่วงคลื่นยาว (1100 ถึง 2500 nm) หลังจากหารด้วยความยาวคลื่นที่ 1654 nm มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.076 มีค่า Bias เท่ากับ -0.007 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.076 หลังจากลบทุกความยาวคลื่นด้วยความยาวคลื่นที่ 1140 nm มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.079 มีค่า Bias เท่ากับ -0.007 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.078 การหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1262 ถึง 1278 nm มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.100 มีค่า Bias เท่ากับ -0.016 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.100 และการตัดช่วงความยาวคลื่น 1654 ถึง 1672 nm แล้วมีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.077 มีค่า Bias เท่ากับ -0.007 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.077

ส้มสายน้ำผึ้งที่มีเปลือกก่อนที่จะนำปรับปรุงสมการมีค่า SEP เท่ากับ 0.097 ค่า Bias เท่ากับ -0.009 และค่า RMSEP เท่ากับ 0.096 สำหรับค่ากรดทั้งหมด โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหลังจากที่ทำการปรับปรุงสมการ Calibration ทั้งสี่วิธีคือ การหาร การลบ ที่ละความยาวคลื่น การตัดช่วงความยาวคลื่นและการหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยที่มีผลทำให้ผลปอกเปลือกและเปลือกแยกออกจากกันหลังจากวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS-DA การหารที่ความยาวคลื่น 1645 ที่ละความยาวคลื่นได้ค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.076 รองลงมาคือการตัดช่วงความยาวคลื่น 1654 ถึง 1672 ได้ค่า SEP เท่ากับ 0.077 การลบด้วยความยาวคลื่นที่ 1140 nm ได้ค่า SEP เท่ากับ 0.079 และการหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1262-1278 nm ได้ค่า SEP เท่ากับ 0.100

สำหรับค่า Bias จากการลบด้วยความยาวคลื่น 1140 และการตัดช่วงความยาวคลื่นช่วง 1654 ถึง 1672 nm ได้ค่า Bias ต่ำที่สุดคือ -0.007 รองลงมาคือการหารด้วยความยาวคลื่น 1654 ได้ค่า Bias เท่ากับ -0.007 และการหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1262 ถึง 1278 nm ได้ค่า Bias เท่ากับ -0.016

ในกรณีค่า RMSEP การหารด้วยความยาวคลื่น 1654 ได้ค่า RMSEP ต่ำที่สุดคือ 0.076 รองลงมาคือ การตัดช่วงความยาวคลื่น 1654 ถึง 1672 การลบความยาวคลื่น 1140 ได้ค่า RMSEP เท่ากับ 0.077 และ 0.078 และการหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1262 ถึง 1278 nm ได้ค่า RMSEP เท่ากับ 0.100 ตามลำดับ

ดังนั้นสำหรับค่าปริมาณกรดทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าทั้งสี่วิธีคือ การหาร การลบที่ละความยาวคลื่น การใช้ช่วงความยาวคลื่นเฉลี่ยมาหารที่ละความยาวคลื่น และการตัดช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลทำให้ผลออกแปลกและแปลกแยกออกจากกันหลังจากวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS-DA มีสามวิธีที่สามารถทำให้ค่า SEP ของสมการลดลงได้ แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ Paired t-test แล้ว การหารด้วยความยาวคลื่น 1654 ให้ค่า SEP ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่อีกสองวิธีที่เหลือคือการลบด้วยความยาวคลื่น 1140 และการตัดช่วงความยาวคลื่น 1654 ถึง 1672 ออก ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันกับค่า SEP ของสมการน้ำผึ้งทั้งผลอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95% ซึ่งหลังจากนำค่าการคูณกลืนหารด้วยการคูณกลืนที่ความยาวคลื่น 1654 nm ทำให้ค่า RMSEP ลดลง 21.47%

ตารางที่ 20 ผลการปรับปรุงสมการ Calibration ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี PLSR เรียงตัวอย่างโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล

	Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
A_{λ}/A_{1128}	Original	8	0.840	0.430	0.692	0.511	-0.016	0.507	1.364
$A_{\lambda}-A_{1664}$	Original	8	0.849	0.419	0.691	0.513	0.009	0.509	1.359
$A_{1654-1672}$	MSC	9	0.864	0.399	0.652	0.535	-0.008	0.531	1.303
$A_{\lambda}/A_{aver1128-1144}$	Original	9	0.861	0.402	0.659	0.533	0.046	0.531	1.308

ในการทดสอบปรับปรุงความแม่นยำของสมการ Calibration ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง ด้วยวิธี PLSR โดยใช้ตัวอย่างจากกลุ่มที่ได้จากการเรียงค่าเคมีโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละผลได้ผลดังในตารางที่ 20 ซึ่งพบว่าในช่วงคลื่นยาว (1100 ถึง 2500 nm) หลังจากหารด้วยการคูณกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 1128 การทำนายจะให้ค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.511 มีค่า Bias เท่ากับ -0.016 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.507 หลังจากลบด้วยการคูณกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1664 มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.513 มีค่า Bias เท่ากับ 0.009 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.509 หลังจากตัดการคูณกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1654 ถึง 1672 nm มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.535 มีค่า Bias เท่ากับ -0.008 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.531 และหลังจากหารด้วยการคูณกลืนแสงที่ความ

ยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 nm มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.533 มีค่า Bias เท่ากับ 0.046 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.531

สัณฐานน้ำผึ้งที่มีเปลือกก่อนที่จะนำปรับปรุงสมการมีค่า SEP เท่ากับ 0.538 ค่า Bias เท่ากับ -0.014 และค่า RMSEP เท่ากับ 0.533 สำหรับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหลังจากที่ทำการปรับปรุงสมการ Calibration ทั้งสามวิธีคือ การหารและการลบที่ละความยาวคลื่น และการตัดช่วงความยาวคลื่นที่มีผลทำให้ผลปอกเปลือกและเปลือกแยกออกจากกันหลังจากวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS-DA การหารด้วยความยาวคลื่นที่ 1128 nm ได้ค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.511 รองลงมาคือการลบที่ความยาวคลื่น 1664 ที่ละความยาวคลื่นได้ค่า SEP เท่ากับ 0.513 การหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 nm มีค่า SEP เท่ากับ 0.533 และการตัดช่วงความยาวคลื่น 1654 ถึง 1672 nm ได้ค่า SEP เท่ากับ 0.535

สำหรับค่า Bias การตัดช่วงความยาวคลื่น 1654 ถึง 1672 nm ได้ค่า Bias เท่ากับ -0.008 รองลงมาคือ การลบด้วยความยาวคลื่น 1664 ได้ค่า Bias เท่ากับ 0.009 การหารด้วยความยาวคลื่น 1128 ได้ค่า Bias ต่ำที่สุดคือ -0.016 และ การหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 nm ได้ค่า Bias เท่ากับ 0.046

ค่า RMSEP การหารด้วยความยาวคลื่น 1128 ได้ค่า RMSEP เท่ากับ 0.507 การลบด้วยความยาวคลื่น 1664 nm ได้ค่า RMSEP เท่ากับ 0.509 การตัดช่วงความยาวคลื่น 1654 ถึง 1672 nm และการหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 nm ได้ค่า RMSEP เท่ากับ 0.531 ตามลำดับ

ดังนั้นค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าทั้งสี่วิธีคือ การหาร การลบที่ละความยาวคลื่น การใช้ช่วงความยาวคลื่นเฉลี่ยมาหารที่ละความยาวคลื่น และการตัดช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลทำให้ผลปอกเปลือกและเปลือกแยกออกจากกันหลังจากวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS-DA ทั้งสี่วิธีสามารถทำให้ค่า RMSEP ลดลงได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบ SEP ด้วยวิธี Paired t-test แล้วทั้งสี่วิธีให้ผลการทำนายที่ไม่แตกต่างกันกับสัณฐานน้ำผึ้งทั้งผล ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตามในกรณี การใช้ค่าการดูดกลืนที่หารด้วยความยาวคลื่นที่ 1128 nm ให้ความแม่นยำที่ดีที่สุดโดยทำให้ค่า RMSEP ลดลง 4.88%

ตารางที่ 21 ผลการปรับปรุงสมการ Calibration ของค่าปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี PLSR เรียงตัวอย่างโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	RPD
A_{λ}/A_{1128}	MSC	9	0.864	0.072	0.596	0.100	-0.017	0.101	1.140
$A_{\lambda}-A_{1128}$	MSC	9	0.864	0.072	0.596	0.100	-0.017	0.101	1.140
$A_{1128-1144,1262-1278,1654-1672}$	2D	11	0.829	0.080	0.271	0.135	-0.001	0.134	0.844
$A_{\lambda}/A_{aver1128-1144}$	MSC	4	0.620	0.112	-0.119	0.140	0.009	0.139	0.814

สำหรับการทดสอบการปรับปรุงความแม่นยำในการทำนายค่าปริมาณกรดทั้งหมดด้วยวิธี PLSR โดยใช้ตัวอย่างจากกลุ่มที่ได้จากการเรียงค่าเคมีโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละผลได้ผลดังแสดงในตารางที่ 21 ซึ่งพบว่าในช่วงคลื่นยาว (1100 ถึง 2500 nm) หลังจากหารด้วยความยาวคลื่นที่ 1128 nm มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.100 มีค่า Bias เท่ากับ -0.017 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.101 หลังจากลบทุกความยาวคลื่นด้วยความยาวคลื่นที่ 1128 มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.100 มีค่า Bias เท่ากับ -0.017 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.101 การตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.135 มีค่า Bias เท่ากับ -0.001 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.134 และการหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 มีค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.140 มีค่า Bias เท่ากับ 0.009 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.139

ส้มสายน้ำผึ้งที่มีเปลือกก่อนที่จะนำไปปรับปรุงสมการมีค่า SEP เท่ากับ 0.153 ค่า Bias เท่ากับ 0.016 และค่า RMSEP เท่ากับ 0.153 สำหรับค่ากรดทั้งหมด โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหลังจากที่ทำการปรับปรุงสมการ Calibration ทั้งสี่วิธีคือ การหาร การลบที่ละความยาวคลื่น การตัดช่วงความยาวคลื่นและการหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยที่มีผลทำให้ผลปกเปลือกและเปลือกแยกออกจากกันหลังจากวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS-DA การหารและการลบที่ความยาวคลื่น 1128 ที่ละความยาวคลื่นได้ค่า SEP ต่ำที่สุดคือ 0.100 รองลงมาคือการตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm ได้ค่า SEP เท่ากับ 0.135 และการหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 nm ได้ค่า SEP เท่ากับ 0.140

สำหรับค่า Bias จากการการตัดช่วงความยาวคลื่นช่วง 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm ได้ค่า Bias ต่ำที่สุดคือ -0.001 รองลงมาคือ การหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ย

ในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 nm ได้ค่า Bias เท่ากับ 0.009 การหารและการลบด้วยความยาวคลื่น 1128 ได้ค่า Bias เท่ากับ -0.017

ในกรณีค่า RMSEP การหารและการลบด้วยความยาวคลื่น 1128 ได้ค่า RMSEP ต่ำที่สุดคือ 0.101 รองลงมาคือ การตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm ได้ค่า RMSEP เท่ากับ 0.134 และการหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 nm ได้ค่า RMSEP เท่ากับ 0.139 ตามลำดับ

ดังนั้นสำหรับค่าปริมาณกรดทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าทั้งสี่วิธีคือ การหาร การลบที่ละความยาวคลื่น การใช้ช่วงความยาวคลื่นเฉลี่ยมาหารที่ละความยาวคลื่น และการตัดช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลทำให้ผลปอกเปลือกและเปลือกแยกออกจากกันหลังจากวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS-DA ทั้งสี่วิธีที่สามารถทำให้ค่า SEP ของสมการลดลงได้ ซึ่งหลังจากนำค่าการดูดกลืนหารหรือลบด้วยความยาวคลื่น 1128 nm ทำให้ค่า RMSEP ลดลง 33.99% และเมื่อนำค่า SEP ไปเปรียบเทียบกับ Paired t-test แล้วให้ผลการทำนายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นผลการปรับปรุงสมการ Calibration ด้วยวิธี PLS-DA และการ Normalization สามารถปรับปรุงความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของส้มทั้งผลได้แม่นยำกว่าการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในการแบ่งตัวอย่างทั้งสองแบบ

สรุป

1. การสร้างสมการทำนายด้วยวิธี PLSR ใช้จำนวนตัวแปรใหม่ (factor) ในการสร้างสมการทำนายน้อยกว่าวิธี PCR ซึ่งให้ค่าความผิดพลาดในการทำนายไม่แตกต่างกัน
2. การเรียงตัวอย่างโดยนำค่าเฉลี่ยของผลมาใช้ในการเรียงตัวอย่างตามค่าทางเคมีให้ผลของการทำนายโดยภาพรวมแม่นยำต่ำกว่าการเรียงตัวอย่างของค่าทางเคมีจากน้อยไปมากที่ได้ในแต่ละด้านของผลส้ม
3. การใช้วิธี MWPLSR ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพสมการทำนายของส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้
4. การปรับปรุงสมการ Calibration โดยใช้วิธี PLS-DA หาความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับการดูดกลืนของเปลือกแล้วทำ Normalization ซึ่งการเรียงตัวอย่างในแต่ละด้านเมื่อลบด้วยค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 1660 nm และการตัดช่วงความยาวคลื่นออก 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1654 ถึง 1672 nm ให้ค่า RMSEP ลดลงเท่ากัน 3.35% สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และเมื่อหารด้วยค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 1654 nm ทำให้ RMSEP ลดลง 21.47% สำหรับปริมาณกรดทั้งหมด และในกรณีของการเรียงตัวอย่างโดยใช้ค่าเฉลี่ยแต่ละผลเมื่อหารด้วยค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 1128 nm ให้ค่า RMSEP ลดลง 4.88% สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และเมื่อหารหรือหารด้วยค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 1128 nm ทำให้ RMSEP ลดลง 33.99% สำหรับปริมาณกรดทั้งหมด และเมื่อนำค่าความผิดพลาดในการทำนาย (SEP) ไปเปรียบเทียบกับวิธี Paired t-test การทำนายปริมาณกรดทั้งหมดภายหลังปรับปรุงสมการของส้มทั้งผลให้ค่า SEP ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95% ในการแบ่งตัวอย่างทั้งสองแบบ ดังนั้นผลการปรับปรุงสมการ Calibration ด้วยวิธี PLS-DA และทำการ Normalization สามารถปรับปรุงความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดทั้งหมดของส้มทั้งผลได้แม่นยำกว่าการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในการแบ่งตัวอย่างทั้งสองแบบ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เฉลิมชัย แก้ววรชาติ. 2539. การปลูกมะม่วง. อังษณสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ชูชาติ วัฒนาวรรณ. 2537. การห่อหุ้มส้มเขียวหวานด้วยฟิล์มพลาสติกและการ curing. ข่าวสาร
ชมรมพืชสวนหลังการเก็บเกี่ยวปีที่ 4(4): 4-6

ธงชัย สุวรรณสิขณ. 2545. การวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ. การ
อบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy
เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทาง
การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ดังคนานุรักษ์. 2545. หลักพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี. น. 39-
61. ใน วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และธงชัย สุวรรณสิขณ, ผู้รวบรวม.
การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared
Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนา
ผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญเลิศ สอดสิทธิ์ศักดิ์. 2532. มะม่วง ประวัติและความสำคัญ เอกสารวิชาการที่ 1 มะม่วง.
สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. 1-7 น.

เปรมปรี ฌ สงขลา. 2537. “พันธุ์มะม่วงที่ตลาดมีความนิยมในปัจจุบัน” รวมกลยุทธ์มะม่วง. โรง
พิมพ์วารสารเคหการเกษตร, 12-15 น.

_____. 2544. คู่มือการทำสวนส้มอย่างมืออาชีพ. เคหการเกษตร. ฐานการพิมพ์จำกัด,
กรุงเทพฯ. 380 น.

รวี เสธฐักดิ์. 2541. วิทยาการส้มเขียวหวาน. เอกสารประกอบการฝึกอบรม. ศูนย์วิจัยและพัฒนา
ไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อน สถาบันวิจัยและพัฒนาฯ และภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับสำนักงานเกษตรจังหวัดปทุมธานี, กรุงเทพฯ.

วรรณกนก ทาสวรรณ์. 2546. การตรวจสอบคุณภาพของส้มเขียวหวานด้วยเทคนิคเนียร์อิน ฟาเรดสเปกโตรสโกปี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิกัณดา คงสวัสดิ์. 2541. ผลของการใช้สีกัดธรรมชาติและการเคลือบผิวต่อคุณสมบัติของ ส้มเขียวหวานหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิจิตร วังใน. 2529. มะม่วง. ศรีสมบัติการพิมพ์, 285 น.

วิชัย ธีวตระกูล, โกศลย์ คูตำราญ, พิเชษฐ์ วิริยะจิตรา, สุรัชย์ นิมจิตรวัฒน์ และ อภิชาติ สุข ตำราญ. 2527. การประยุกต์สเปกโตรสโกปีในเคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. หจก. นำอักษร การพิมพ์, 298 น.

วัฒนา สวรรณาธิบัติ. 2528. การปลูกส้ม. โครงการหนังสือคู่มือประชาชน ศูนย์ส่งเสริมและ ฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา เขตกำแพงแสน. 80 น.

ศิวพร จินตนาวงศ์. 2539. เอกสารวิชาการ: มาตรฐานพันธุ์พืชสวน. กรมวิชาการเกษตร. 98-116 น.

สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.

_____. 2530. การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติต่อผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว. ข่าวสาร เกษตรศาสตร์. 31(6): 32-37 น.

_____. 2533. การยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วง. วารสารสมาคมพืชสวน. 3(1): 34-36

สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2529. “วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บ เกี่ยวมะม่วง” การฝึกอบรมหลักสูตรมะม่วง กรมวิชาการเกษตร. 63-70 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. ปริมาณและมูลค่าสินค้าเกษตรกรรมส่งออก พ.ศ. 2548-2549. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/statistic/export/QVExp.xls>, 7 มิถุนายน 2550.

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2545. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. น.67-98. ใน วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และธงชัย สุวรรณสิขณน์, ผู้รวบรวม. การอบรมเชิงปฏิบัติ การการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรุณรัตน์ ปฏิภาณเทวา. 2529. มะม่วงไม้ผลส่งออกอันดับหนึ่งของไทยในวันพื้งนี้. *เคหการเกษตร* 10(2): 43-47 น.

Abu-Khalaf, N., B.C. Bennedsen and K.B. Bjorn. 2004. Distinguishing Carrot's Characteristics by Near Infrared (NIR) Reflectance and Multivariate Data Analysis. **Journal of Scientific Research and Development.**

Boysworth, M.K. and K.S. Booksh. 2001. Aspect of multivariate calibration applied to near-infrared spectroscopy. **In Handbook of Near-Infrared Analysis**, edited by D.A. Burns and E.W. Ciurczak, 2nd edition. Marcel Dekker, Inc., New York.

Buchi company. **Fourier-Transform Near Infrared.Spectroscopy.** Available Source: <http://www.buchi.com/buchi FT-NIR Applications Database.htm>, April 26, 2003.

Clark, C.J., V.A. McGlone, C. Requejo, A. White and A.B. Woolf. 2003. Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology.** 29: 300-307.

Cohen, E. 1978. Ethylene concentration and the duration of the degreening process in Shamouti orange fruit. **Journal of Horticultural Science.** 53(2): 139-142.

- Eileti, S.K., P. Budowski and S.P. Monselise. 1975. Coarotenold Change in the Shamouti Orange Peel during chlorophast-chromoplast transformation on and off the tree. **J. Exp. Bot.** 26: 624-632.
- Gomez, A.H., Y. He and A.G. Pereira. 2006. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. **Journal of Food Engineering.** 77: 313–319.
- Gross, J. 1987. **Pigments in Fruits.** Academic Press, London.
- Hai-qing, T., Y. Yi-bin, L. Hui-shan, F. Xia-ping and Y. Hai-yan. 2007. Measurement of soluble solids content in watermelon by Vis/NIR diffuse transmittance technique. **Journal of Zhejiang University SCIENCEB.** 8(2): 105-110.
- Harada, H., H. Mukai and T. Takagi. 2001. Effect of explant age, growth regulators and carbohydrates on sugar accumulation in *Citrus* juice vesicles cultured *in vitro*. **Sci. Hort.** 90: 109-119.
- Hruschka, W.R. 1990. Data Analysis: Wavelength Selection Methods. In P. Williams and K. Norris., eds. **Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries.** American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Hui-shan, L., X. Hui-rong, Y. Yi-bin, F. Xia-ping, Y. Hai-yan and T. Hai-qing. 2006. Application Fourier transform near infrared spectrometer in rapid estimation of soluble solids content of intact citrus fruits. **Journal of Zhejiang University SCIENCEB.** 7(10): 794-799.
- Jona, R., R. Goren and M. Marmora. 1989. Effect of gibberellin on cell-wall components of creasing peel in mature ‘Valencia’orange. **Sci. Hort.** 39: 105-115.

- Kader, A.A. 1985. "Postharvest biology and technology: An overview", In A.A. Kader, R.F. Kasmire, F.G. Mitchell, M.S. Reid, N.F. Sommer and J.E. Thompson (eds). **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. University of California, Berkley. p. 3-7.
- Kawano, S., M. Iwamoto and H. Watanabe. 1992. Determination of Sugar Content in Intact Peaches by Near Infrared Spectroscopy with Fiber Optic in Interactance Mode. **J. Japan. Soc. Hort. Sci.** 61(6): 455-451.
- _____, _____ and S.H. Abe. 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. **J. Near Infrared Spectroscopy**. 3: 211-218.
- _____ and S. Saranwong. 2004. NIR Instruments and Sample Presentation. pp.10-19. **The Second Workshop on NIR Spectroscopy in Thailand**. Edited 1. Kasetsart Agricultural and Agro-Industrail Product Improvement Institute, Kasetsart University, Bangkok.
- _____, T. Fujiwara and M. Iwamoto. 1993. Nondestructive Determination of Sugar Content in Satsuma Mandarin using Near Infrared (NIR) Transmittance. **J. Japan Soc. Hort. Sci.** 62: 465-470.
- Ketsa, S. 1990. Effect of fruit size on weight loss and shelf life of tangerines. **J. Hort. Sci.** 65(4): 485-488.
- Koch, K.E. and W.T. Avigne. 1990. Postphloem, nonvascular transfer in citrus. **Pl. Physiol.** 93: 1405-1416.
- Krivoshiev, G.P., R.P. Chalucova and M.I. Moukarev. 2000. A Possibility for Elimination of the Interference from the Peel in Nondestructive Determination of the Internal Quality of Fruit and Vegetables by VIS/NIR Spectroscopy. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.** 33: 344-353.

- Liu, Y.D., X. Chen and A. Ouyang. 2008. Nondestructive determination of pear internal quality indices by visible and near-infrared spectroscopy. **LWT**. 1–6.
- _____ and Y.B. Ying. 2005. Use of FT-NIR spectrometry in-non invasive measurements of internal quality of ‘Fuji’ apples. **Postharvest Biology and Technology**. 37: 65–71.
- Lizada, M.C.C. 1993. **Biochemistry of fruit Ripening**, G.A., Chapman&Hall, New York.
- Liu, F., Y. He and L. Wang. 2008. Determnation of effective wavelengths for discrimination of fruit vinegars using near infrared spectroscopy and multivariate analysis. **Analytica Chimica Acta**. 615: 10–17.
- Lu, R. and D.A. Ariana. 2002. Near-infrared sensing technique for measuring internal quality of apple fruit. **Applied Engineering in Agriculture**. 18(5): 585-590.
- McGlone, V.A., R.B. Jordan, R. Seelye and C.J. Clark. 2003. Drymatter a better predictor of the post-storage soluble solids in apples. **Postharvest Biol. Technol.** 28: 431–435.
- _____ and S. Kawano. 1998. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**. 13: 131–141.
- Medlicott, A.P., M. Bhogol and S.B. Reynolds. 1986. “Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkin)”, **Annals of Applied Biology**, 19: 651-656.
- Naes, T., T. Isaksson, T. Fearn and T. Davies. 2004. **Multivariate Calibration and Classification**. NIR Publications, UK. p.169.
- Ogura, N. 1987. “Studies on chlorophyllase of tea leaves. III. Properties of soluble and insoluble chlorophyllase”, **Plant and Cell Physiology**, 13: 971-979.

- Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. **Practical NIR Spectroscopy with Application in Food and Beverage Analysis**. Longman Scientific and Technical.
- Peiris, K.H.S., G.G. Dull, R.G. Leffler and S.J. Kays. 1999. Spatial variability of soluble solids or dry-matter content within individual fruits, bulbs, or tubers: implications for the development and use of NIR spectrometric techniques. **Hort Science**. 34(1): 114-118.
- Ritthiruandej, P. 2006. **Evaluation of Thai Fish Sauce Qualities by Near-Infrared Spectroscopy**. Ph.D. Thesis, Kasetsart University.
- Saranwong, S., J. Sornsivichai and S. 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.
- Schaare, P.N. and D.G. Fraser. 2000. Comparison of reflectance, interactance and transmission modes of visible-near infrared spectroscopy for measuring internal properties of kiwifruit (*Actinidia chinensis*). **Postharvest Biology and Technology**. 20: 175–184.
- Schmilovitch, Z., A. Mizrach, A. Hoffman, H. Egozi and Y. Fuch. 2000. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. **Postharvest Biology and Technology**. 19: 245–252.
- Schneider, H. 1968. The anatomy of citrus, pp. 1-85. In R. Walter, L.D. Bachelor and H.J. Webber, eds. **The Citrus Industry**. Vol. II. University of California Press, Berkeley.
- Siesler, H.W., Y. Ozaki, S. Kawata, and H.M. Heise. 2002. **Near-Infrared Spectroscopy. Principles, Instruments, Applications**. WILEY-VCH, Germany.
- Sirisomboon, P., M. Tanaka, S. Fujita and T. Kojima. 2007. Evaluation of pectin constituents of Japanese pear by near infrared spectroscopy. **Journal of Food Engineering**. 78: 701–707.

- Slaughter, D.C. 1995. Nondestructive determination of internal quality in peaches and nectarines. **Transactions of the ASAE**. 38(2): 617-623.
- 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.
- Spiegel-Roy, P. and E.E. Goldschmidt. 1996. **Biology of Horticultural Crops: Biology of Citrus**. Cambridge University Press, New York.
- Steuer, B., H. Schulz and E. Lager. 2001. Classification and analysis of citrus oils by NIR spectroscopy. **Food Chemistry**. 72: 113- 117.
- Subramanyam, H.S., A.K. Matoo and V.V. Modi. 1975. "Mitochondria enzymes in mango fruit during ripening" **Phytochemistry**. 13: 2049-2055.
- The electromagnetic spectrum. Available Source:
<http://www.theses.ulaval.ca/2005/23016/apb.html>, June 06, 2007.
- Ventura, M., A.D. Jager, H.D. Putter and F.P.M.M. Roelofs. 1998. Non-destructive determination of soluble solids in apple fruit by near infrared spectroscopy (NIRS). **Postharvest Biology and Technology**. 14: 21–27.
- Xing, J. and D. Guyer. 2008. Comparison of transmittance and reflectance to detect insect infestation in Montmorency tart cherry. **Computers and Electronics in Agriculture**. 64:194–201.
- _____ and _____. 2008. Detecting internal insect infestation in tart cherry using transmittance spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**. 49: 411–416.
- Yan-de, L., Y. Yi-bin, F. Xiaping and L. Huishan. 2007. Experiments on predicting sugar content in apples by FT-NIR Technique. **Journal of Food Engineering**. 80: 986–989.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่าทางเคมีของส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้

ตารางผนวกที่ ก1 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความหนาเปลือกของสัณฐานน้ำผึ้ง

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)	ความหนาเปลือก (mm)
1	9.60	0.82	1.90
2	9.80	0.75	2.00
3	9.40	0.71	1.90
4	9.33	0.71	1.90
5	10.13	0.59	2.00
6	10.63	0.52	2.00
7	10.43	0.63	1.80
8	10.10	0.67	1.80
9	10.20	0.57	1.80
10	9.60	0.58	1.70
11	9.70	0.54	1.80
12	10.30	0.61	1.70
13	11.00	0.39	1.60
14	10.60	0.43	1.80
15	10.80	0.44	1.90
16	10.87	0.44	1.70
17	10.50	0.85	1.90
18	10.83	0.79	1.90
19	10.50	0.90	2.00
20	10.30	0.80	2.00
21	9.60	0.80	1.70
22	9.97	0.84	1.60
23	10.63	0.73	1.70
24	10.40	0.73	1.90
25	9.80	0.53	2.00

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)	ความหนาเปลือก (mm)
26	10.20	0.40	1.80
27	11.30	0.45	2.00
28	10.60	0.45	1.90
29	9.43	0.44	1.60
30	9.30	0.46	1.70
31	9.27	0.48	1.90
32	9.45	0.52	1.80
33	9.77	0.90	1.80
34	10.10	0.88	1.80
35	9.77	0.93	1.90
36	10.03	0.98	1.90
37	10.00	0.78	1.90
38	10.60	0.81	1.80
39	11.10	0.81	1.80
40	9.47	0.82	1.80
41	9.57	0.60	1.80
42	10.00	0.66	1.90
43	9.57	0.63	1.90
44	9.60	0.63	1.80
45	9.90	0.39	2.00
46	10.20	0.41	2.00
47	10.00	0.41	1.70
48	10.00	0.48	1.70
49	11.10	0.55	1.60
50	11.10	0.55	1.50

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)	ความหนาเปลือก (mm)
51	11.30	0.57	1.50
52	11.30	0.62	1.50
53	8.97	0.52	1.70
54	8.87	0.55	1.80
55	9.30	0.53	1.70
56	9.70	0.54	1.80
57	9.60	0.54	1.60
58	9.63	0.54	1.70
59	9.40	0.52	1.80
60	9.47	0.55	1.60
61	11.33	0.64	1.80
62	10.93	0.54	1.60
63	11.10	0.51	1.80
64	11.07	0.51	1.60
65	10.43	0.52	1.40
66	11.07	0.53	1.40
67	10.37	0.43	1.40
68	10.40	0.44	1.20
69	9.60	0.62	1.60
70	9.53	0.61	1.60
71	9.67	0.57	1.50
72	9.70	0.56	1.50
73	8.53	0.46	1.60
74	9.43	0.47	1.70
75	9.30	0.45	1.90

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)	ความหนาเปลือก (mm)
76	8.97	0.45	1.80
77	10.40	0.46	1.90
78	10.70	0.51	1.80
79	10.00	0.48	1.80
80	10.33	0.45	1.80
81	10.57	0.45	1.90
82	10.70	0.46	1.90
83	10.90	0.43	1.90
84	11.60	0.43	1.90
85	11.50	0.34	1.80
86	10.90	0.41	1.70
87	10.53	0.51	1.80
88	11.17	0.43	2.00
89	9.20	0.40	2.00
90	9.40	0.40	2.00
91	9.67	0.42	2.00
92	9.87	0.41	2.20
93	10.20	0.51	1.90
94	10.90	0.53	1.90
95	10.93	0.50	1.80
96	10.30	0.50	1.70
97	10.63	0.41	2.20
98	10.57	0.40	2.20
99	10.37	0.52	2.30
100	10.60	0.52	2.30

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)	ความหนาเปลือก (mm)
101	11.43	0.56	1.70
102	11.33	0.58	1.70
103	11.27	0.58	1.70
104	11.87	0.59	1.50
105	10.40	0.54	2.00
106	10.53	0.53	2.20
107	9.90	0.51	2.10
108	9.97	0.48	2.00
109	10.17	0.48	2.00
110	10.17	0.49	2.00
111	9.83	0.54	1.90
112	9.60	0.61	2.00
113	11.27	0.69	1.40
114	11.10	0.78	1.40
115	11.90	0.75	1.60
116	10.50	0.71	1.60
117	12.10	0.70	1.50
118	11.73	0.57	1.60
119	11.67	0.45	1.90
120	10.40	0.55	1.80
121	10.33	0.59	1.50
122	10.40	0.63	1.30
123	10.23	0.56	1.60
124	10.53	0.61	1.60
125	11.03	0.48	1.80

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)	ความหนาเปลือก (mm)
126	10.10	0.45	1.80
127	10.87	0.37	1.90
128	11.27	0.40	1.90
129	11.23	0.74	1.60
130	11.20	0.76	1.50
131	10.90	0.83	1.30
132	10.87	0.86	1.40
133	11.00	0.60	1.00
134	11.10	0.56	1.30
135	11.30	0.62	1.60
136	11.43	0.58	1.80
137	12.17	0.49	1.70
138	11.80	0.53	1.70
139	11.90	0.53	1.40
140	12.80	0.47	1.70
141	11.67	0.43	1.70
142	11.20	0.60	1.90
143	10.47	0.61	1.90
144	11.07	0.56	1.70
145	10.63	0.74	1.50
146	10.63	0.71	1.60
147	11.30	0.58	2.00
148	11.00	0.69	1.90
149	10.47	0.44	2.30
150	10.10	0.41	2.10

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)	ความหนาเปลือก (mm)
151	11.17	0.37	1.90
152	11.07	0.34	2.10
153	10.40	0.44	1.90
154	10.67	0.37	1.90
155	10.63	0.41	1.90
156	10.70	0.43	1.90
157	11.93	0.77	1.90
158	11.50	0.71	1.70
159	11.50	0.71	1.90
160	12.10	0.74	1.90
161	11.30	0.50	2.00
162	11.43	0.50	2.00
163	11.45	0.53	2.10
164	11.63	0.50	2.00
165	11.80	0.48	1.40
166	11.90	0.48	1.40
167	11.10	0.48	1.60
168	10.97	0.49	1.50
169	10.27	0.61	1.60
170	11.10	0.63	1.60
171	11.23	0.56	1.60
172	11.07	0.57	1.60
173	10.70	0.42	1.90
174	10.83	0.45	1.50
175	12.00	0.50	1.70

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)	ความหนาเปลือก (mm)
176	10.93	0.46	1.90
177	9.60	0.31	1.90
178	10.30	0.49	1.90
179	11.43	0.48	1.90
180	10.50	0.45	2.00
181	10.97	0.47	1.30
182	11.87	0.48	1.40
183	11.40	0.53	1.80
184	11.23	0.53	1.60
185	9.90	0.41	1.80
186	10.20	0.46	1.50
187	10.90	0.40	1.80
188	11.10	0.40	1.80
189	10.33	0.49	2.40
190	10.87	0.46	2.40
191	10.90	0.43	2.30
192	10.60	0.46	2.20
193	9.93	0.36	2.10
194	10.20	0.41	2.20
195	10.50	0.34	1.90
196	10.60	0.32	2.20
197	10.90	0.51	1.60
198	10.80	0.49	1.60
199	11.40	0.54	1.60
200	11.60	0.52	1.80

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)	ความหนาเปลือก (mm)
201	10.70	0.36	2.10
202	11.20	0.41	2.10
203	11.13	0.47	2.10
204	10.90	0.47	2.20
ค่าเฉลี่ย	10.58	0.54	1.74
SD	0.76	0.13	0.23

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าทางสถิติปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดของผลส้มสายน้ำผึ้งในกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction โดยเรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผล

	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)		ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	
	กลุ่ม Calibration	กลุ่ม Prediction	กลุ่ม Calibration	กลุ่ม Prediction
จำนวนตัวอย่าง	140	64	140	64
ค่าต่ำสุด	8.533	9.267	0.310	0.385
ค่าสูงสุด	12.800	11.900	0.928	0.860
ค่าเฉลี่ย	10.592	10.563	0.549	0.533
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.792	0.697	0.143	0.114

ตารางผนวกที่ ก3 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดของมะม่วงน้ำดอกไม้

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)
1	12.50	0.98
2	13.20	1.07
3	12.80	1.00
4	12.30	1.14
5	12.00	1.35
6	12.50	1.07
7	12.40	0.98
8	12.60	1.16
9	14.90	1.07
10	15.50	1.11
11	15.70	1.04
12	14.60	1.00
13	16.70	0.61
14	16.40	0.55
15	16.40	1.20
16	16.10	1.06
17	17.90	1.01
18	17.40	0.79
19	17.20	0.75
20	16.90	0.88
21	20.60	0.66
22	21.30	0.57
23	20.90	0.52
24	20.40	0.68
25	18.10	1.07

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)
26	17.90	0.82
27	17.00	0.79
28	16.80	0.90
29	17.20	0.79
30	17.00	1.00
31	17.50	1.16
32	17.00	0.87
33	16.00	0.71
34	15.50	0.81
35	16.10	0.51
36	15.40	0.82
37	18.90	0.84
38	19.00	0.77
39	18.20	0.76
40	18.00	0.61
41	19.20	0.63
42	18.80	0.66
43	18.40	0.70
44	17.70	0.71
45	13.50	0.72
46	13.30	0.90
47	13.80	1.37
48	13.20	0.88
49	18.90	0.94
50	18.80	0.73

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)
51	18.50	0.54
52	19.40	1.08
53	11.90	1.23
54	11.20	1.22
55	10.30	1.45
56	10.70	1.23
57	11.30	1.19
58	13.70	1.07
59	10.70	1.61
60	10.60	1.05
61	12.50	1.20
62	12.20	1.85
63	11.20	1.95
64	10.80	2.32
65	12.00	1.12
66	11.90	1.11
67	10.20	1.70
68	10.40	1.94
69	10.20	1.11
70	10.10	2.06
71	10.00	1.97
72	10.00	2.02
73	11.40	1.53
74	10.90	1.65
75	10.90	1.55

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)
76	10.30	1.96
77	11.80	1.71
78	11.50	2.17
79	11.00	2.02
80	11.40	1.98
81	11.00	1.06
82	11.40	1.31
83	10.90	1.17
84	10.50	1.21
85	12.90	0.98
86	12.70	1.05
87	12.20	1.62
88	12.40	1.30
89	13.40	1.11
90	13.50	1.12
91	12.30	1.64
92	13.10	1.39
93	15.40	1.17
94	14.50	1.55
95	13.00	1.48
96	13.80	1.50
97	11.50	1.55
98	12.20	1.26
99	11.20	1.73
100	11.50	1.30

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)
101	14.10	1.21
102	13.90	1.52
103	13.30	1.70
104	13.10	1.78
105	11.90	1.42
106	12.40	1.46
107	11.80	1.65
108	11.90	1.92
109	11.60	1.71
110	11.30	1.55
111	10.50	1.68
112	10.50	1.93
113	16.60	0.92
114	16.30	1.10
115	15.60	1.33
116	16.00	1.19
117	12.60	1.31
118	12.70	1.27
119	12.40	1.40
120	12.60	1.40
121	19.90	0.42
122	20.60	0.35
123	19.60	0.35
124	19.60	0.51
125	16.70	0.99

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)
126	16.50	0.92
127	16.20	0.91
128	16.80	1.07
129	16.80	0.26
130	17.00	0.25
131	16.00	0.91
132	15.90	0.96
133	16.10	0.97
134	16.30	0.89
135	15.60	0.92
136	15.20	1.04
137	13.40	1.33
138	13.30	1.81
139	12.80	1.24
140	12.00	1.99
141	15.70	0.32
142	16.10	0.26
143	15.90	0.85
144	15.70	0.97
145	15.70	0.55
146	16.40	0.24
147	14.70	0.25
148	15.70	0.23
149	16.70	0.22
150	17.10	0.22

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)
151	16.30	0.19
152	16.80	0.22
153	17.00	0.60
154	18.00	0.26
155	17.40	0.27
156	17.20	0.25
157	13.80	1.24
158	14.70	1.25
159	13.70	1.03
160	14.40	1.55
161	14.30	1.13
162	14.60	1.06
163	13.60	1.79
164	13.90	1.96
165	16.90	0.49
166	17.30	0.25
167	16.50	0.49
168	17.40	0.51
169	17.50	0.22
170	17.50	0.84
171	17.00	0.85
172	18.30	0.89
173	15.80	0.90
174	16.00	0.90
175	15.30	0.98

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)
176	16.00	1.08
177	16.70	0.59
178	17.00	0.66
179	16.00	0.26
180	16.30	0.21
181	16.40	0.90
182	16.90	1.00
183	15.40	1.06
184	16.40	1.12
185	17.10	0.50
186	17.10	0.51
187	16.80	0.59
188	17.70	0.27
189	17.40	0.91
190	17.30	0.23
191	16.40	0.87
192	16.90	0.97
193	15.70	0.78
194	15.90	0.90
195	15.60	0.33
196	15.10	0.94
197	12.90	0.39
198	13.20	0.28
199	12.90	0.92
200	12.20	1.17

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)
201	16.70	0.24
202	17.90	0.72
203	16.90	0.55
204	17.30	0.16
ค่าเฉลี่ย	14.90	1.00
SD	2.72	0.49

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์หาค่าทางเคมี

การหาปริมาณกรดทั้งหมด (Total Acidity, %w/v)

การหาปริมาณกรดทั้งหมด ในน้ำผลไม้โดยการไทเทรต ตามวิธี A.O.A.C (1990) มีวิธีการดังต่อไปนี้

1. ใส่น้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่
2. บีบน้ำคั้นผลไม้ (ส้ม, มะม่วง) 2 มิลลิลิตร ใสลงในขวดรูปชมพู่ที่ใส่น้ำกลั่นไว้
3. หยดฟีนอล์ฟทาไลน์ เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ ให้เห็นจุดยุติไป 2 หยด
4. นำไปไทเทรตกับ 0.1 N. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จนกระทั่งถึงจุดยุติ คือ ตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน
5. อ่านปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ แล้วคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดทั้งหมด จากสูตร

$$Acidity = \frac{C \times T \times 0.064 \times 100}{V}$$

C = ความเข้มข้นของ NaOH (0.1 N)

T = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

V = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (2 มิลลิลิตร)

ภาคผนวก ค

การใช้โปรแกรม Unscrambler

1. การปรับแต่งสเปกตรัม (Data Pretreatment)

1.1 Multiplicative Scattering Correction (MSC)

1.1.1 เลือก Modify – Transform – MSC

1.1.2 หน้าจอจะปรากฏ Multiplicative Scattering Correction

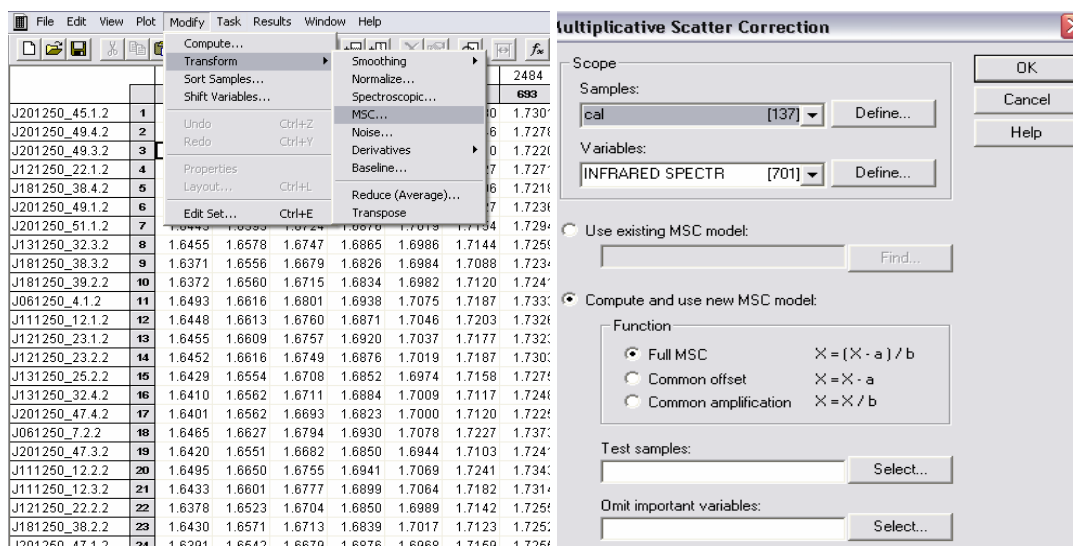
ก. Sample: ตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการ

ข. Variables: ตัวแปรต้นที่ใช้ในการสร้างสมการ

ค. Compute and use now MSC เลือก Full MSC แล้ว OK

1.1.3 Save model เพื่อใช้ในการปรับแต่งสเปกตรัมสำหรับกลุ่ม Prediction

1.1.4 เลือก Modify – Transform – MSC เหมือนเดิม แต่เปลี่ยน Sample เป็นตัวอย่างในกลุ่ม Prediction เลือก Use existing MSC model ที่สร้างไว้แล้ว OK



(ก)

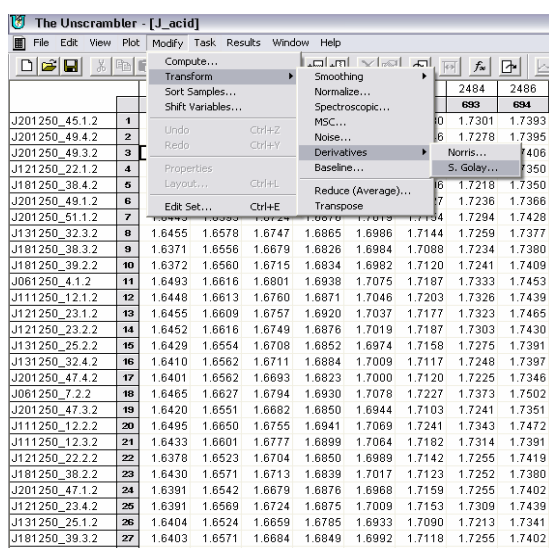
(ข)

ภาพผนวกที่ ค1 (ก) และ (ข) การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Multiplicative Scattering Correction (MSC)

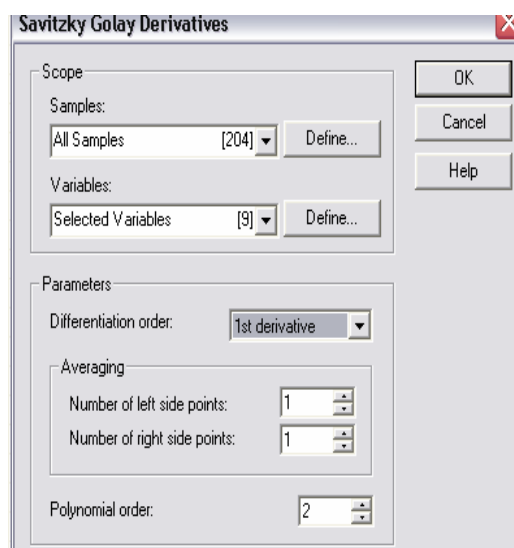
1.2 การหาอนุพันธ์ (Derivatives)

1.2.1 เลือก Modify – Transform – Derivatives – Savitzky Golay

- ก. Sample: ตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการ
- ข. Variables: ตัวแปรต้นที่ใช้ในการสร้างสมการ
- ค. Parameter: ระดับการหาอนุพันธ์ (Derivative) ที่ต้องการ
- ง. Averaging: ช่วงที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อทำ Derivative
- จ. Polynomial Order: 2 แล้ว OK



(ก)



(ข)

ภาพผนวกที่ ค2 (ก) และ (ข) การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Derivatives

2. การสร้างสมการ Calibration และการ Prediction

2.1 การสร้างสมการทำนาย (Calibration)

2.1.1 เลือก Task – Regression จะปรากฏหน้าต่าง Regression

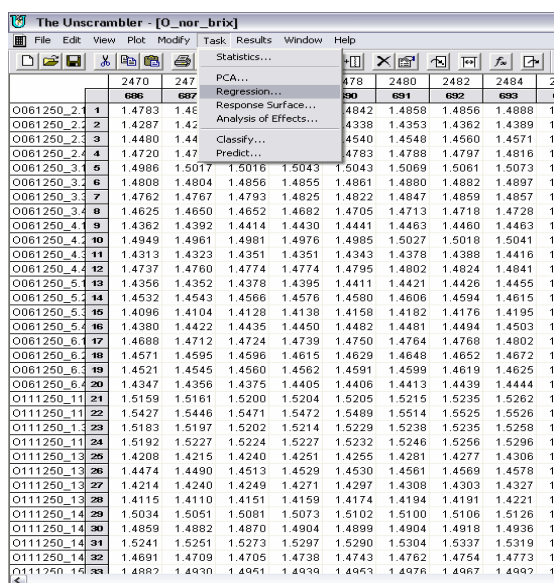
ก. Method: PLS1, PLS2, PCR และ MLR เลือกตามการใช้งาน

ข. Sample set: ตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการ, X-variable: จำนวนตัวแปรต้น (Wavelength), Y-variable: ค่าตัวแปรตาม (ค่าทางเคมี)

ค. Validation Method: เลือก Cross Validation ใช้ Full Cross Validation

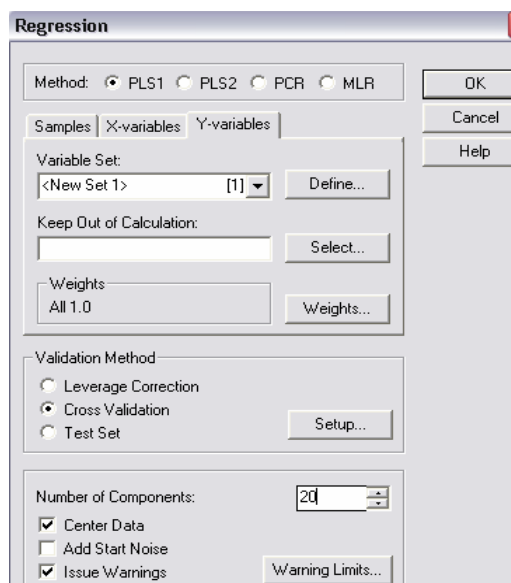
ง. Number of Component: จำนวน PC สูงสุดที่ใช้สร้างสมการ

จ. Save as เพื่อเก็บสมการไว้ทำนาย



The screenshot shows the 'The Unscrambler' software window. The main data table has columns for sample ID (e.g., O061250_2_1), wavelength (e.g., 2470, 247), and chemical values (e.g., 1.4783, 1.42). The 'Task' menu is open, showing options like PCA, Regression, Response Surface, Analysis of Effects, Classify, and Predict. The 'Regression' option is selected.

(ก)



The screenshot shows the 'Regression' dialog box. The 'Method' section has radio buttons for PLS1, PLS2, PCR, and MLR. The 'Samples' tab is selected. The 'Variable Set' section shows '<New Set 1>' with a dropdown menu and a 'Define...' button. The 'Keep Out of Calculation' section has a text box and a 'Select...' button. The 'Weights' section has a text box set to 'All 1.0' and a 'Weights...' button. The 'Validation Method' section has radio buttons for Leverage Correction, Cross Validation (selected), and Test Set, with a 'Setup...' button. The 'Number of Components' section has a text box set to '20'. The 'Center Data' checkbox is checked. The 'Add Start Noise' checkbox is unchecked. The 'Issue Warnings' checkbox is checked. There are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons on the right.

(ข)

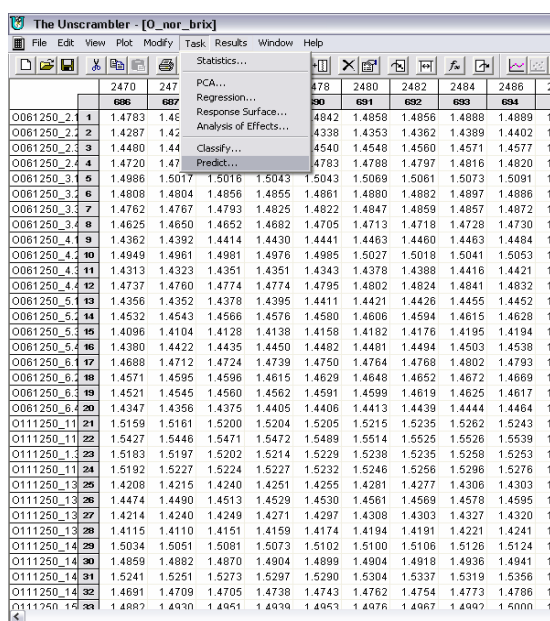
ภาพผนวกที่ 3 (ก) และ (ข) การสร้างสมการทำนาย (Calibration)

2.2 การทำนาย (Prediction)

2.2.1 เลือก Task –Prediction จะปรากฏหน้าต่าง Prediction

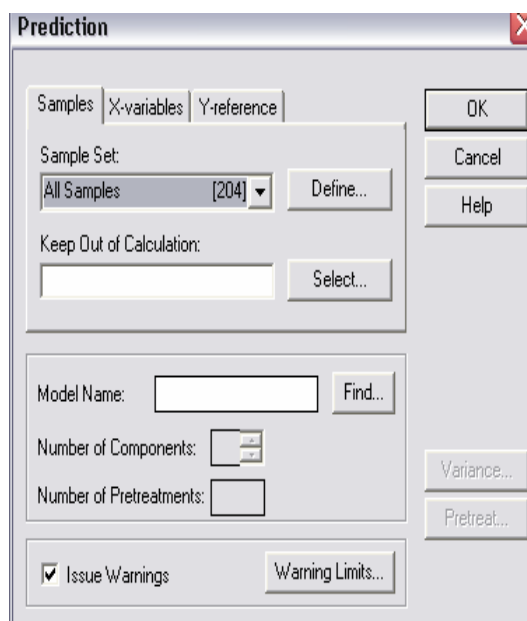
ก. Sample set: ตัวอย่างที่ใช้ทำนาย, X-variable: จำนวนตัวแปรต้น (Wavelength), Y-variable: ค่าตัวแปรตาม (ค่าทางเคมี)

ข. Model Name: Find เลือกสมการ Calibration ที่สร้างไว้ OK



The screenshot shows the 'The Unscrambler - [O_nor_brix]' window. The 'Task' menu is open, and 'Predict...' is selected. The main window displays a data table with columns for sample IDs (e.g., O061250_2_1, O061250_2_2) and numerical values. The 'Predict...' option is highlighted in the Task menu.

(ก)



The screenshot shows the 'Prediction' dialog box. The 'Samples' tab is selected. The 'Sample Set' is set to 'All Samples' with a dropdown menu showing '[204]'. The 'Keep Out of Calculation' field is empty. The 'Model Name' field is empty, and the 'Find...' button is visible. The 'Number of Components' and 'Number of Pretreatments' fields are also visible. The 'Issue Warnings' checkbox is checked, and the 'Warning Limits...' button is visible.

(ข)

ภาพผนวกที่ 4 (ก) และ (ข) การทำนาย (Prediction)

2.3 การแสดงค่าทางสถิติจากการ Prediction

ก. เลือก Plot – Prediction แล้วเลือก Predicted and Reference

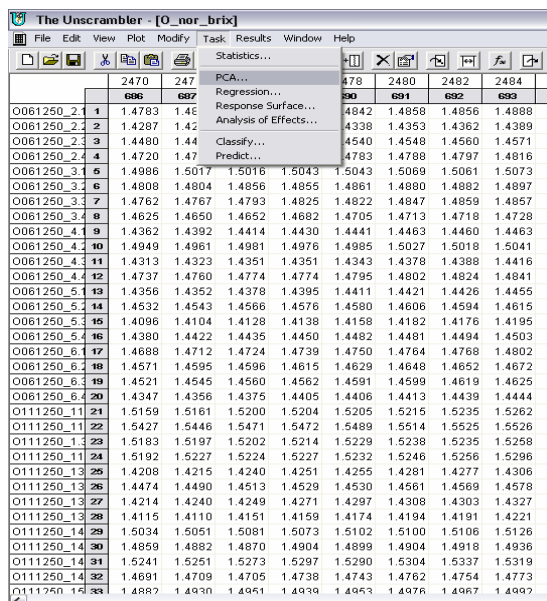
ข. เลือก View – Plot Statistics จะปรากฏค่าทางสถิติขึ้นมาทางด้านซ้ายมือ

ค. Save as เพื่อเก็บค่าที่ทำนายได้

3. การทำแบ่งกลุ่ม (Classification Methods)

3.1 Principle Component Analysis (PCA)

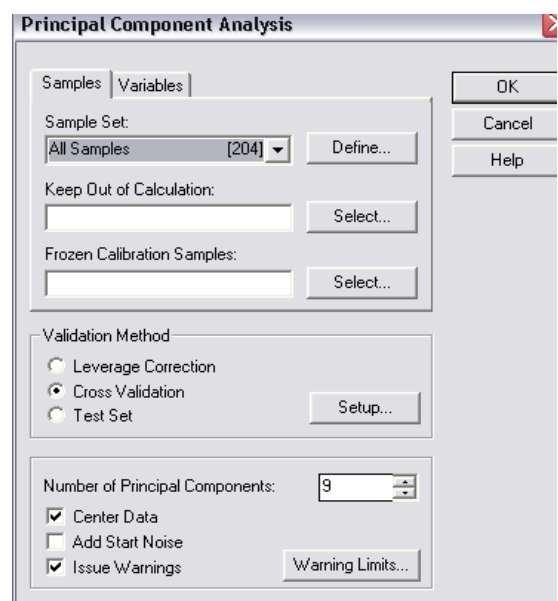
เลือก Task – PCA จะปรากฏหน้าต่าง Principle Component Analysis Samples: ตัวอย่างที่ใช้แบ่งกลุ่ม, Variables: จำนวนตัวแปรต้น (Wavelength) แล้ว OK ในส่วนของหน้าต่าง PC scores จะแสดงความคล้ายหรือความแตกต่างของตัวอย่าง



The screenshot shows the 'The Unscrambler' software window. The main data table has columns for sample ID, wavelength, and PCA results. The sample IDs are listed in the first column, and the PCA results are in the last column. The table contains 32 rows of data.

Sample ID	Wavelength	PCA Results
O061250_2_1	1	1.4783
O061250_2_2	2	1.4287
O061250_2_3	3	1.4480
O061250_2_4	4	1.4720
O061250_3_1	5	1.4986
O061250_3_2	6	1.4809
O061250_3_3	7	1.4762
O061250_3_4	8	1.4625
O061250_4_1	9	1.4362
O061250_4_2	10	1.4949
O061250_4_3	11	1.4313
O061250_4_4	12	1.4737
O061250_5_1	13	1.4356
O061250_5_2	14	1.4532
O061250_5_3	15	1.4096
O061250_5_4	16	1.4380
O061250_6_1	17	1.4888
O061250_6_2	18	1.4571
O061250_6_3	19	1.4521
O061250_6_4	20	1.4347
O111250_11_1	21	1.5159
O111250_11_2	22	1.5427
O111250_11_3	23	1.5183
O111250_11_4	24	1.5192
O111250_13_1	25	1.4208
O111250_13_2	26	1.4474
O111250_13_3	27	1.4214
O111250_13_4	28	1.4115
O111250_14_1	29	1.5034
O111250_14_2	30	1.4859
O111250_14_3	31	1.5241
O111250_14_4	32	1.4891
O111250_14_5	33	1.4887

(ก)



The screenshot shows the 'Principal Component Analysis' dialog box. The 'Variables' tab is selected. The 'Sample Set' is set to 'All Samples' with a count of 204. The 'Keep Out of Calculation' and 'Frozen Calibration Samples' fields are empty. The 'Validation Method' is set to 'Cross Validation'. The 'Number of Principal Components' is set to 9. The 'Center Data' checkbox is checked, and the 'Add Start Noise' checkbox is unchecked. The 'Issue Warnings' checkbox is checked. The 'Warning Limits...' button is visible.

(ข)

ภาพผนวกที่ ๕ (ก) และ (ข) การแบ่งกลุ่มแบบ Principle Component Analysis (PCA)

3.2 Partial Least Squares Discrimination Analysis (PLS-DA)

การแบ่งกลุ่มด้วยวิธีนี้ต้องกำหนดค่าอ้างอิงให้กับค่าอ้างอิง (Reference) คือ 0 และ 1 ตามกลุ่มของข้อมูล จากนั้นทำการสร้างสมการทำนายเช่นเดียวกับวิธี Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยเลือกตัวแปรตามเป็นค่าอ้างอิงที่กำหนดขึ้น แต่ถ้ามีมากกว่าสองกลุ่มข้อมูลให้ทำการกำหนดแบบสลับกันดังภาพผนวกที่ ค6 แสดงการกำหนดค่าตัวแปรตามสำหรับสามกลุ่มข้อมูล จากนั้นสร้างสมการด้วย PLSR2 ในการสร้างสมการ Calibration โดยเลือก Sample set: ตัวอย่างที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม, X-variable: จำนวนตัวแปรต้น (Wavelength), Y-variable: ค่าอ้างอิงที่กำหนดขึ้น (Reference) เป็นค่าที่กำหนดขึ้น ในส่วนของหน้าต่าง PC Scores จะแสดงความคล้ายหรือความแตกต่างของตัวอย่างเช่นเดียวกับการทำ PCA

		2476	2478	2480	2482	2484	2486	2488	2490	2492	2494	2496	2498	2500	group	group	group
		689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704
intact	1	1.4624	1.4636	1.4652	1.4658	1.4675	1.4682	1.4695	1.4705	1.4708	1.4719	1.4727	1.4735	1.4744	1.0000	0.0000	0.0000
intact	2	1.4705	1.4718	1.4735	1.4741	1.4756	1.4763	1.4774	1.4785	1.4797	1.4800	1.4804	1.4814	1.4821	1.0000	0.0000	0.0000
intact	3	1.4788	1.4799	1.4813	1.4823	1.4836	1.4844	1.4857	1.4867	1.4874	1.4884	1.4894	1.4902	1.4909	1.0000	0.0000	0.0000
intact	4	1.4999	1.5018	1.5022	1.5037	1.5048	1.5060	1.5074	1.5080	1.5085	1.5096	1.5105	1.5113	1.5120	1.0000	0.0000	0.0000
intact	5	1.4991	1.5005	1.5013	1.5023	1.5039	1.5050	1.5061	1.5068	1.5073	1.5084	1.5092	1.5096	1.5105	1.0000	0.0000	0.0000
intact	6	1.4897	1.4911	1.4923	1.4932	1.4945	1.4959	1.4963	1.4976	1.4987	1.4994	1.5006	1.5006	1.5017	1.0000	0.0000	0.0000
intact	7	1.4808	1.4821	1.4833	1.4844	1.4856	1.4870	1.4880	1.4893	1.4896	1.4906	1.4915	1.4917	1.4932	1.0000	0.0000	0.0000
intact	8	1.4793	1.4805	1.4812	1.4829	1.4840	1.4854	1.4860	1.4871	1.4879	1.4889	1.4896	1.4906	1.4913	1.0000	0.0000	0.0000
Peel Citrus	9	1.3796	1.3813	1.3824	1.3839	1.3849	1.3858	1.3867	1.3880	1.3884	1.3895	1.3900	1.3905	1.3907	0.0000	1.0000	0.0000
Peel Citrus	10	1.3960	1.3980	1.3992	1.4005	1.4023	1.4038	1.4044	1.4050	1.4066	1.4072	1.4079	1.4088	1.4091	0.0000	1.0000	0.0000
Peel Citrus	11	1.4010	1.4024	1.4037	1.4048	1.4059	1.4070	1.4079	1.4088	1.4095	1.4104	1.4110	1.4115	1.4116	0.0000	1.0000	0.0000
Peel Citrus	12	1.3571	1.3582	1.3592	1.3605	1.3612	1.3623	1.3632	1.3638	1.3645	1.3652	1.3657	1.3661	1.3664	0.0000	1.0000	0.0000
Peel Citrus	13	1.3834	1.3850	1.3860	1.3872	1.3880	1.3890	1.3902	1.3906	1.3916	1.3919	1.3920	1.3926	1.3928	0.0000	1.0000	0.0000
Peel Citrus	14	1.3396	1.3408	1.3418	1.3431	1.3443	1.3452	1.3463	1.3468	1.3474	1.3478	1.3484	1.3486	1.3490	0.0000	1.0000	0.0000
Peel Citrus	15	1.3483	1.3495	1.3505	1.3517	1.3528	1.3539	1.3545	1.3553	1.3558	1.3564	1.3566	1.3569	1.3567	0.0000	1.0000	0.0000
Peel Citrus	16	1.3593	1.3607	1.3616	1.3631	1.3637	1.3648	1.3660	1.3661	1.3672	1.3674	1.3680	1.3682	1.3683	0.0000	1.0000	0.0000
Peel Citrus	17	1.2931	1.2945	1.2958	1.2965	1.2975	1.2986	1.2991	1.3005	1.3009	1.3017	1.3023	1.3030	1.3030	0.0000	0.0000	1.0000
Peel	18	1.2887	1.2898	1.2908	1.2917	1.2928	1.2936	1.2942	1.2955	1.2961	1.2965	1.2973	1.2976	1.2986	0.0000	0.0000	1.0000
Peel	19	1.0907	1.0914	1.0921	1.0926	1.0933	1.0936	1.0941	1.0947	1.0951	1.0956	1.0963	1.0968	1.0971	0.0000	0.0000	1.0000
Peel	20	1.2323	1.2332	1.2340	1.2349	1.2359	1.2366	1.2376	1.2383	1.2386	1.2396	1.2401	1.2407	1.2414	0.0000	0.0000	1.0000
Peel	21	1.2504	1.2516	1.2523	1.2532	1.2540	1.2550	1.2557	1.2562	1.2568	1.2573	1.2582	1.2587	1.2595	0.0000	0.0000	1.0000
Peel	22	1.3264	1.3276	1.3287	1.3293	1.3305	1.3310	1.3320	1.3324	1.3332	1.3338	1.3350	1.3352	1.3359	0.0000	0.0000	1.0000
Peel	23	1.2562	1.2573	1.2583	1.2591	1.2599	1.2607	1.2613	1.2620	1.2628	1.2633	1.2640	1.2644	1.2651	0.0000	0.0000	1.0000
Peel	24	1.2920	1.2931	1.2941	1.2947	1.2958	1.2966	1.2972	1.2981	1.2985	1.2991	1.2997	1.3004	1.3010	0.0000	0.0000	1.0000

ภาพผนวกที่ ค6 การแบ่งกลุ่มแบบ Partial Least Squares Discrimination Analysis (PLS-DA)

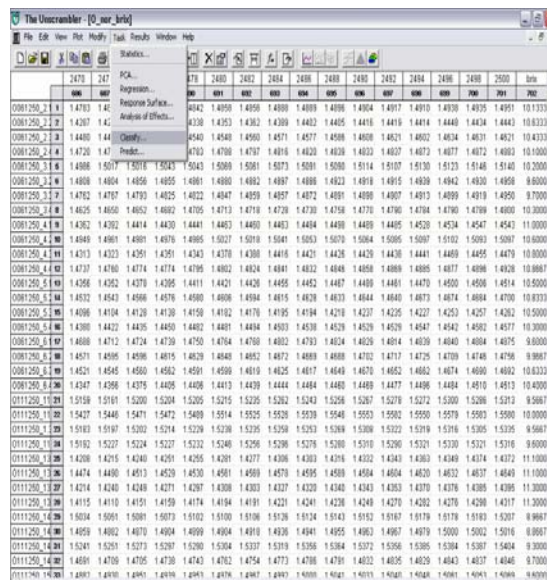
3.3 Soft Independent Modeling of Class Analog (SIMCA)

3.3.1 สร้าง PCA ในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง แล้ว Save เก็บไว้

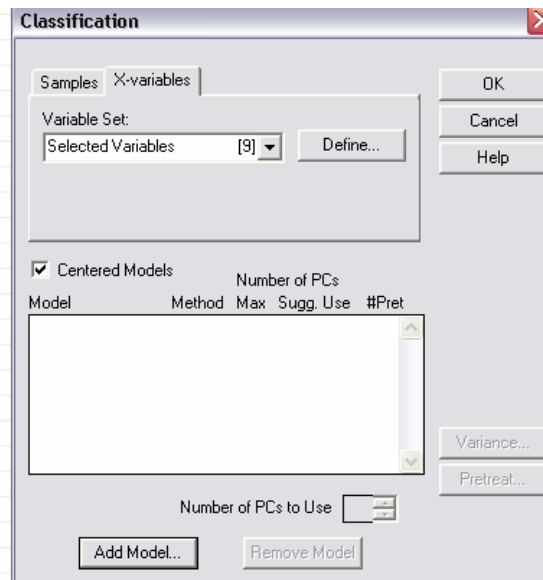
3.3.2 เลือก Task – Classification

ก. โดย Sample: เลือกตัวอย่างที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม, X-variable: เลือกจำนวนตัวแปรต้น (Wavelength)

ข. Add Model เพื่อเลือก PCA Model ทั้งหมดที่เราสร้างขึ้นมาด้วยวิธี PCA แล้ว OK ข้อมูลที่นำมาทำนายจะถูกแบ่งกลุ่มว่าเป็นข้อมูลในกลุ่มไหน โดยตัวอย่างที่นำมาสร้าง PCA Model จะต้องครอบคลุมตัวอย่างที่ถูกทำนายวิธีนี้จึงสามารถนำมาแบ่งกลุ่มได้



(ก)



(ข)

ภาพผนวกที่ ๗ (ก) และ (ข) การแบ่งกลุ่มแบบ Soft Independent Modeling of Class Analog (SIMCA)

ภาคผนวก ง

ค่าทางสถิติจากสมการทำนายของส้มสายน้ำผึ้งและมะม่วงน้ำดอกไม้

ตารางผนวกที่ ง1 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้
ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของสั้มน้ำฝั้งที่ความยาวคลื่น
1100 ถึง 2500 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP
P L S R	ทั้งผล	Original	10	0.8447	0.4161	0.7680	0.4786	0.4779
		2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	-0.0273	0.5093
		MSC	8	0.8355	0.4173	0.7648	0.4844	0.4832
	ปอกเปลือก	Original	4	0.5668	0.6405	0.5428	-0.0301	0.6141
		2D	6	0.6307	0.6034	0.5571	-0.0323	0.6102
		MSC	4	0.5689	0.6394	0.7151	-0.0077	0.6058
	เปลือก	Original	13	0.8238	0.4407	0.5291	0.0343	0.5262
		2D	10	0.8011	0.4664	0.5424	0.0559	0.5413
		MSC	5	0.6926	0.5608	0.7052	0.0387	0.5189
P C R	น้ำคั้น	Original	3	0.9623	0.212	0.9481	0.0678	0.2435
		2D	4	0.9602	0.2178	0.9464	0.0398	0.2405
		MSC	2	0.9615	0.2135	0.9524	0.0933	0.2437
	ทั้งผล	Original	13	0.8241	0.4404	0.7736	0.0345	0.4678
		2D	7	0.7162	0.5426	0.7125	0.0698	0.5163
		MSC	11	0.8046	0.4617	0.7698	0.0285	0.4713
	ปอกเปลือก	Original	4	0.5429	0.6529	0.5323	-0.0285	0.6181
		2D	9	0.6094	0.6164	0.5383	-0.0338	0.6205
		MSC	6	0.5621	0.6430	0.5335	-0.0220	0.6194
	เปลือก	Original	11	0.7223	0.5377	0.7044	0.0174	0.5223
		2D	19	0.7010	0.5599	0.7372	0.0183	0.5046
		MSC	15	0.7634	0.5022	0.7326	0.0172	0.5009
	น้ำคั้น	Original	4	0.9582	0.2232	0.9427	0.0600	0.2526
		2D	5	0.9563	0.2280	0.9463	0.0383	0.2405
		MSC	3	0.9624	0.2111	0.9557	0.08670	0.2332

ตารางผนวกที่ ๖2 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้
ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาว
คลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
P L S R	ทั้งผล	Original	14	0.9646	0.7294	0.8934	1.1936	-0.3258	1.2286
		2D	10	0.9361	0.9724	0.8991	1.1629	-0.2335	1.1776
		MSC	13	0.9682	0.6920	0.8803	1.2602	-0.2418	1.2739
	ปอก	Original	8	0.9089	1.1526	0.7961	1.6098	-0.3656	1.639
		2D	9	0.9320	1.0019	0.8859	1.2456	-0.1765	1.2488
		MSC	9	0.9307	1.0109	0.8786	1.2787	-0.1873	1.2745
	เปลือก	Original	16	0.9320	1.0016	0.8261	1.5022	-0.1064	1.4947
		2D	10	0.8712	1.357	0.8046	1.5774	0.0703	1.5672
		MSC	15	0.9341	0.9870	0.8135	1.5672	0.0809	1.5576
	น้ำคั้น	Original	4	0.9851	0.4754	0.9863	0.4383	-0.0028	0.435
		2D	5	0.9905	0.3793	0.9916	0.3447	-0.1134	0.3604
		MSC	4	0.9810	0.5357	0.9854	0.4553	-0.0456	0.4542
P C R	ทั้งผล	Original	19	0.9096	1.1482	0.8500	1.3990	-0.3444	1.4318
		2D	17	0.9067	1.1655	0.8816	1.2597	-0.1862	1.2597
		MSC	20	0.9206	0.9206	0.8508	1.3958	-0.3002	1.4175
	ปอก	Original	15	0.9129	1.1281	0.8356	1.4605	-0.3035	1.481
		2D	13	0.9025	1.1902	0.8457	1.4218	-0.0666	1.4127
		MSC	13	0.8989	1.2109	0.8583	1.3672	-0.1767	1.3684
	เปลือก	Original	8	0.7196	1.9194	0.6075	2.1430	0.3846	2.1614
		2D	15	0.8092	1.6238	0.7037	1.8889	0.1499	1.8808
		MSC	8	0.7300	1.8890	0.5855	2.1880	0.3099	2.188
	น้ำคั้น	Original	5	0.9845	0.4840	0.9857	0.4474	-0.0054	0.4441
		2D	6	0.9874	0.4366	0.9861	0.4404	-0.1348	0.44574
		MSC	4	0.9833	0.5031	0.9867	0.4352	-0.0140	0.4321

ตารางผนวกที่ 33 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดยของทั้งผล
 ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดย
 เรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
P L S R	ทั้งผล	Original	14	0.8388	0.0748	0.5651	0.1131	0.1134
		2D	10	0.7444	0.0918	0.6621	0.0966	0.0964
		MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	0.1019
	ปอก	Original	8	0.6275	0.1070	0.2836	0.1282	0.1294
		2D	2	0.4814	0.1204	0.0100	0.1383	0.1375
		MSC	1	0.4563	0.1218	0.0066	0.1397	0.1387
	เปลือก	Original	6	0.4284	0.1242	0.3287	0.1255	0.1251
		2D	4	0.3782	0.1272	0.3354	0.1212	0.1204
		MSC	1	0.1939	0.1348	0.1970	0.1255	0.1248
P C R	น้ำคั้น	Original	11	0.9729	0.0319	0.8134	0.0838	0.0838
		2D	12	0.9416	0.0464	0.7102	0.0946	0.0946
		MSC	11	0.833	0.0251	0.8185	0.0851	0.0847
	ทั้งผล	Original	4	0.4034	0.1257	0.3242	0.1197	0.1188
		2D	20	0.6543	0.1039	0.5887	0.1048	0.1044
		MSC	20	0.6229	0.0991	0.5993	0.1035	0.1037
	ปอก	Original	3	0.4513	0.1226	0.0411	0.1377	0.1367
		2D	3	0.4777	0.1207	0.0001	0.1405	0.1396
		MSC	1	0.4622	0.1219	0.0056	0.1398	0.1388
	เปลือก	Original	1	0.0406	0.1373	-0.0502	0.1285	0.1276
		2D	1	0.0521	0.1372	0.0542	0.1277	0.1268
		MSC	1	0.0618	0.1372	0.0957	0.1274	0.1265
	น้ำคั้น	Original	8	0.7959	0.0834	0.7146	0.0985	0.0985
		2D	4	0.4164	0.1252	0.2247	0.1287	0.1278
		MSC	16	0.8421	0.0742	0.7311	0.0933	0.0932

ตารางผนวกที่ ๔4 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล
 ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm
 โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP	
P L S R	ทั้งผล	Original	10	0.7554	0.3252	0.6558	0.3618	.0027	0.3591	
		2D	8	0.7660	0.3191	0.6802	0.3486	0.0477	0.3492	
		MSC	11	0.8236	0.2815	0.6445	0.3729	0.0219	0.3707	
	ปอก	Original	7	0.7276	0.3405	0.6532	0.3610	-.0054	0.3583	
		เปลือก	2D	8	0.7760	0.3131	0.6876	0.3529	0.0357	0.3521
		MSC	10	0.8521	0.2598	0.6719	0.3550	0.0404	0.3547	
	เปลือก	Original	8	0.6598	0.3730	0.4008	0.4769	0.0334	0.4746	
		2D	9	0.7415	0.3330	0.5474	0.4171	0.0471	0.4167	
		MSC	5	0.6026	0.3961	0.4336	0.4392	0.0236	0.4365	
	น้ำคั้น	Original	7	0.8719	0.2430	0.8094	0.2799	-0.0040	0.2779	
		2D	4	0.8227	0.2822	0.7458	0.3185	0.0033	0.3161	
		MSC	7	0.8919	0.2244	0.6629	0.4000	-0.0256	0.3978	
P C R	ทั้งผล	Original	20	0.7209	0.3440	0.6207	0.3730	0.0094	0.3704	
		2D	16	0.7222	0.3433	0.6674	0.3534	0.0694	0.3575	
		MSC	18	0.6898	0.3898	0.6092	0.3784	-0.0022	0.3756	
	ปอก	Original	16	0.7498	0.3284	0.7180	0.3296	0.0359	0.3291	
		เปลือก	2D	12	0.7331	0.3376	0.7009	0.3400	0.0367	0.3395
		MSC	10	0.6323	0.3845	0.6206	0.3724	0.0142	0.3699	
	เปลือก	Original	10	0.6110	0.3929	0.3790	0.4725	0.0217	0.4694	
		2D	14	0.6981	0.3553	0.5460	0.4116	0.0298	0.4096	
		MSC	1	0.4562	0.4417	0.3310	0.4498	0.0278	0.4473	
	น้ำคั้น	Original	10	0.8544	0.2579	0.7972	0.2873	-0.0088	0.2853	
		2D	5	0.8124	0.2894	0.7434	0.3192	-0.0067	0.3169	
		MSC	7	0.8244	0.2809	0.7872	0.2937	-0.0132	0.2918	

ตารางผนวกที่ 5 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้
ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609
ถึง 1066 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

		Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP
P L S R	ทั้งผล	Original	7	0.7624	0.5031	0.7031	0.5341	-0.0247	0.5207
		2D	7	0.8116	0.4542	0.7882	0.4526	-0.0195	-0.4496
		MSC	8	0.8029	0.4635	0.7375	0.4958	0.0090	0.4922
	ปอก	Original	14	0.8545	0.4039	0.7233	0.5165	0.0637	0.5166
		2D	11	0.8472	0.4131	0.7551	0.4848	0.0605	0.4849
		MSC	12	0.8586	0.4051	0.7194	0.5186	0.0587	0.5181
	เปลือก	Original	7	0.7665	0.5028	0.7183	0.5095	0.0630	0.5096
		2D	7	0.8065	0.4628	0.7348	0.4994	0.0900	0.5038
		MSC	8	0.8035	0.4660	0.7244	0.5048	0.0612	0.5048
P C R	ทั้งผล	Original	12	0.7781	0.4884	0.7361	0.4969	-0.0099	0.4933
		2D	13	0.8098	0.4561	0.7904	0.4514	-0.0079	0.4481
		MSC	13	0.8026	0.4638	0.7368	0.4963	0.0240	0.4932
	ปอก	Original	20	0.8358	0.4253	0.7115	0.5230	0.0546	0.5219
		2D	14	0.8232	0.4414	0.7231	0.5135	0.0638	0.5137
		MSC	18	0.8356	0.4271	0.7124	0.5218	0.0504	0.5204
	เปลือก	Original	14	0.8047	0.4647	0.7340	0.4856	0.0784	0.4981
		2D	9	0.7820	0.4878	0.7309	0.5007	0.0735	0.5024
		MSC	9	0.7823	0.4876	0.7316	0.4963	0.0427	0.4945

ตารางผนวกที่ ๖ ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้
ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น
609 ถึง 1066 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

		Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP
P L S R	ทั้งผล	Original	9	0.8944	1.2362	0.8581	1.3799	-0.0385	1.3701
		2D	10	0.9128	1.1286	0.8722	1.3188	-0.1364	1.3160
		MSC	9	0.8969	1.2221	0.8239	1.5695	-0.0681	1.5592
	ปอก	Original	7	0.9114	1.1376	0.9033	1.1404	0.0315	1.1323
		2D	9	0.9268	1.0379	0.8852	1.2598	-0.1549	1.2599
		MSC	3	0.8848	1.2880	0.8741	1.2922	-0.0258	1.2827
	เปลือก	Original	16	0.9206	1.0797	0.8537	1.4556	-0.2245	1.4621
		2D	13	0.8954	1.2306	0.8326	1.5050	-0.0246	1.5139
		MSC	16	0.9131	1.1268	0.8193	1.5485	-0.2037	1.5504
P C R	ทั้งผล	Original	11	0.8898	1.2615	0.8674	1.3281	-0.0199	1.3183
		2D	16	0.9150	1.1153	0.8814	1.2713	-0.1310	1.2686
		MSC	12	0.8924	1.2471	0.8327	1.5335	-0.0448	1.5226
	ปอก	Original	9	0.9053	1.1739	0.8937	1.1923	0.0376	1.1840
		2D	14	0.9283	1.0274	0.8988	1.1669	-0.0870	1.1614
		MSC	4	0.8853	1.2855	0.8807	1.2604	-0.0396	1.2515
	เปลือก	Original	10	0.8400	1.4998	0.7672	1.7539	0.0638	1.7420
		2D	18	0.8897	1.2617	0.8343	1.4915	-0.1488	1.4878
		MSC	5	0.6976	1.9803	0.5885	2.2134	0.0548	2.1975

ตารางผนวกที่ 7 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล
 ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดยเรียง
 ตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
P L S R	ทั้งผล	Original	12	0.6963	0.0986	0.6041	0.1026	0.0191	0.1036
		2D	4	0.5219	0.1172	0.2914	0.1265	0.0058	0.1257
		MSC	10	0.6695	0.1021	0.5310	0.1093	0.0153	0.1096
	ปอก	Original	11	0.5995	0.1100	0.3857	0.1206	0.0105	0.1202
		2D	7	0.5854	0.1114	0.4827	0.1124	0.0119	0.1123
		MSC	6	0.4347	0.1238	0.3699	0.1193	0.0009	0.1185.
	เปลือก	Original	12	0.7235	0.0949	0.5423	0.1204	-0.0194	0.1210
		2D	6	0.6599	0.1032	0.5312	0.1132	-0.0118	0.1130
		MSC	8	0.6468	0.1048	0.5415	0.1141	-0.0230	0.1156
P C R	ทั้งผล	Original	3	0.3997	0.1260	0.2932	0.1236	0.0033	0.1227
		2D	5	0.5081	0.1184	0.2853	0.1266	0.0045	0.1257
		MSC	16	0.6490	0.1045	0.5191	0.1105	0.0102	0.1101
	ปอก	Original	1	0.1034	0.1367	-0.2679	0.1330	0.0039	0.1321
		2D	12	0.5676	0.1131	0.4758	0.1130	0.0140	0.1131
		MSC	1	0.1743	0.1353	0.1984	0.1254	0.0039	0.1245
	เปลือก	Original	15	0.7001	0.0981	0.5340	0.1191	-0.0190	0.1196
		2D	10	0.6445	0.1054	0.5195	0.1143	-0.0220	0.1141
		MSC	2	0.4289	0.1241	0.4270	0.1163	-0.0003	0.1154

ตารางผนวกที่ 8 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR และวิธี PCR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล
 ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดย
 เรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

		Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
P L S R	ทั้งผล	Original	8	0.7202	0.3443	0.6846	0.3452	0.0346	0.3443
		2D	8	0.7299	0.3393	0.6567	0.3573	0.0415	0.3570
		MSC	5	0.6779	0.3649	0.6098	0.3764	0.0383	0.3755
	ปอก	Original	4	0.7189	0.3450	0.7200	0.3286	0.0334	0.3279
		2D	2	0.6898	0.3593	0.6448	0.3641	0.0241	0.3621
		MSC	2	0.7128	0.3481	0.6865	0.3446	0.0340	0.3437
	เปลือก	Original	7	0.6714	0.6714	0.5329	0.4077	0.0141	0.4049
		2D	7	0.7066	0.7066	0.5645	0.4020	0.0109	0.3992
		MSC	13	0.7552	0.7552	0.6653	0.3571	-0.0029	0.3544
	ทั้งผล	Original	10	0.7202	0.3443	0.6765	0.3488	0.0310	0.3475
		2D	9	0.7129	0.3481	0.6517	0.3599	0.0439	0.3599
		MSC	6	0.6656	0.3704	0.6071	0.3769	0.0395	0.3761
P C R	ปอก	Original	4	0.7163	0.3463	0.7201	0.3286	0.0333	0.3279
		2D	2	0.6873	0.3605	0.6398	0.3664	0.0232	0.3644
		MSC	4	0.7267	0.3410	0.7192	0.3290	0.0380	0.3287
	เปลือก	Original	9	0.6901	0.3592	0.5815	0.3903	0.0097	0.3875
		2D	3	0.6041	0.3955	0.4122	0.4436	-0.0115	0.4404
		MSC	5	0.5740	0.4064	0.3740	0.4582	-0.0115	0.4549

ตารางผนวกที่ ๑๑ ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสาย
น้ำผึ้ง หลังจากการดูดด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง
1672 nm ที่ละความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128	Original	10	0.8559	0.420	0.7632	0.4853	0.0305	0.4827
	2D	14	0.9145	0.3147	0.7751	0.5097	-0.0525	0.5086
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1130	Original	10	0.8552	0.4030	0.7645	0.4840	0.0299	0.4813
	2D	14	0.9144	0.3147	0.7749	0.5099	-0.0521	0.5087
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1132	Original	8	0.8232	0.4414	0.7403	0.5100	0.0271	0.5069
	2D	14	0.9143	0.3147	0.7748	0.5099	-0.0520	0.5088
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1134	Original	8	0.8257	0.4386	0.7414	0.5092	0.0294	0.5062
	2D	14	0.9144	0.3147	0.7747	0.5099	-0.0517	0.5087
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1136	Original	8	0.8282	0.4357	0.7426	0.5081	0.0322	0.5053
	2D	14	0.9144	0.3147	0.7744	0.5101	-0.0515	0.5089
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1138	Original	8	0.8304	0.4332	0.7436	0.5072	0.0347	0.5046
	2D	14	0.9144	0.3147	0.7741	0.5103	-0.0510	0.5091
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1140	Original	8	0.8319	0.4315	0.7448	0.5057	0.0371	0.5033
	2D	14	0.9145	0.3146	0.7736	0.5106	-0.0506	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1142	Original	8	0.8328	0.4304	0.7461	0.5043	0.0379	0.5020
	2D	14	0.9145	0.3145	0.7735	0.5108	-0.0503	0.5095
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1144	Original	8	0.8328	0.4304	0.7462	0.5045	0.0357	0.5020
	2D	14	0.9145	0.3144	0.7734	0.5109	-0.0498	0.5095
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832

ตารางผนวกที่ ๑๑ (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1262	Original	8	0.8290	0.4348	0.7413	0.5087	0.0339	0.5060
	2D	14	0.9148	0.3140	0.7726	0.5121	-0.0486	0.5106
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1264	Original	8	0.8290	0.4348	0.7419	0.5076	0.0334	0.5049
	2D	14	0.9148	0.3140	0.7726	0.5121	-0.0485	0.5105
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1266	Original	8	0.8293	0.4344	0.7426	0.5074	0.0331	0.5046
	2D	14	0.9148	0.3140	0.7726	0.5122	-0.0485	0.5106
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1268	Original	8	0.8294	0.4343	0.7432	0.5068	0.0338	0.5041
	2D	14	0.9148	0.3140	0.7725	0.5122	-0.0484	0.5106
	MSC	6	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1270	Original	8	0.8296	0.4341	0.7437	0.5062	0.0335	0.5035
	2D	14	0.9148	0.3141	0.7725	0.5122	-0.0484	0.5107
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1272	Original	8	0.8295	0.4343	0.7440	0.5058	0.0325	0.5031
	2D	14	0.9148	0.3140	0.7725	0.5123	-0.0483	0.5107
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1274	Original	8	0.8296	0.4341	0.7441	0.5058	0.0323	0.5031
	2D	14	0.9148	0.3140	0.7724	0.5124	-0.0483	0.5109
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1276	Original	8	0.8294	0.4343	0.7439	0.5059	0.0330	0.5032
	2D	14	0.9148	0.3140	0.7724	0.5124	-0.0483	0.5108
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1278	Original	8	0.8291	0.4347	0.7441	0.5057	0.0316	0.5029
	2D	14	0.9149	0.3139	0.7724	0.5125	-0.0483	0.5109
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832

ตารางผนวกที่ ๑๑ (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1654	Original	12	0.9028	0.3378	0.7370	0.5298	0.0792	0.5318
	2D	13	0.9206	0.3068	0.7234	0.5653	0.0138	0.5613
	MSC	11	0.9024	0.3385	0.7274	0.541	0.0711	0.5416
1656	Original	10	0.8579	0.3995	0.7581	0.4895	0.0362	0.4871
	2D	14	0.9163	0.3114	0.7706	0.5146	-0.0450	0.5127
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1658	Original	10	0.8588	0.3983	0.7521	0.4975	0.0364	0.4951
	2D	14	0.9163	0.3114	0.7707	0.5145	-0.0451	0.5126
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0488	0.4832
1660	Original	10	0.8437	0.4174	0.7438	0.5083	0.0372	0.5058
	2D	14	0.9163	0.3114	0.7706	0.5146	-0.0451	0.5127
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1662	Original	10	0.8397	0.4223	0.7460	0.5052	0.0392	0.5029
	2D	14	0.9163	0.3114	0.7706	0.5146	-0.0449	0.5128
	MSC	8	0.8355	0.4272	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1664	Original	10	0.8390	0.4231	0.7466	0.5042	0.0401	0.5020
	2D	14	0.9163	0.3113	0.7706	0.5146	-0.0451	0.5127
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1666	Original	10	0.8390	0.4230	0.7471	0.5035	0.0409	0.5014
	2D	14	0.9164	0.3113	0.7706	0.5146	-0.0451	0.5127
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1668	Original	8	0.8208	0.4442	0.7590	0.4875	0.0140	0.4840
	2D	14	0.9163	0.3113	0.7707	0.5146	-0.0450	0.5127
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1670	Original	8	0.8233	0.44113	0.7587	0.4881	0.0187	0.4848
	2D	14	0.9164	0.3112	0.7707	0.5127	-0.0452	0.5127
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1672	Original	8	0.8254	0.4390	0.7599	0.4869	0.0231	0.4838
	2D	14	0.9164	0.3111	0.7707	0.5146	-0.0450	0.5127
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832

ตารางผนวกที่ 10 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสาย
น้ำผึ้ง หลังจากลบด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144 , 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง
1672 nm ที่ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP
1128	Original	12	0.8843	0.3630	0.7535	0.4985	0.0543	0.4977
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1130	Original	12	0.8844	0.3628	0.7536	0.4984	0.0536	0.4975
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5240	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1132	Original	9	0.8350	0.4278	0.7718	0.4734	0.0652	0.4743
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4257	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1134	Original	8	0.8257	0.4386	0.7414	0.5092	0.0294	0.5062
	2D	14	0.9144	0.3147	0.7747	0.5099	-0.0517	0.5087
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1136	Original	12	0.8839	0.3636	0.7557	0.4923	0.0544	0.4956
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1138	Original	12	0.8834	0.3643	0.7574	0.4944	0.0546	0.4938
	2D	13	0.9101	0.3222	0.7756	0.5066	-0.0185	0.5032
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1140	Original	12	0.8823	0.3659	0.7599	0.4913	0.0565	0.4909
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4832	0.0487	0.4832
1142	Original	12	0.8816	0.367	0.7615	0.4895	0.0565	0.4891
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0272	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1144	Original	12	0.8806	0.3684	0.7641	0.4865	0.0599	0.4866
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP
1262	Original	5	0.7756	0.4908	0.7419	0.4936	0.0479	0.4922
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7689	0.5123	-0.0272	0.5092
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1264	Original	5	0.7758	0.4906	0.7420	0.4935	0.0478	0.4922
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7689	0.5123	-0.0272	0.5092
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1266	Original	5	0.7754	0.4909	0.74426	0.4929	0.0480	0.4916
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7689	0.5123	-0.0272	0.5092
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1268	Original	5	0.7750	0.4913	0.7421	0.4933	0.0487	0.4920
	2D	12	0.9045	0.3304	0.7688	0.5123	-0.0271	0.5092
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1270	Original	5	0.7747	0.4916	0.7420	0.4934	0.0491	0.4922
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7689	0.5123	-0.0271	0.5092
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1272	Original	5	0.7749	0.4915	0.7420	0.4934	0.0488	0.4921
	2D	12	0.9045	0.3116	0.7688	0.5124	-0.0270	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1274	Original	5	0.7743	0.4920	0.7417	0.4937	0.0494	0.4924
	2D	12	0.9045	0.3315	0.7688	0.5124	-0.0270	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4272	0.7648	0.4844	-0.0487	0.4832
1276	Original	5	0.7740	0.4923	0.7408	0.4944	0.0499	0.4932
	2D	12	0.9045	0.3315	0.7688	0.5124	-0.0270	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1278	Original	5	0.7738	0.4925	0.7403	0.4948	0.0499	0.4937
	2D	12	0.9026	0.3315	0.7688	0.5125	-0.0270	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1654	Original	10	0.8422	0.4192	0.7819	0.4643	0.0608	0.4648
	2D	13	0.9206	0.3068	0.7234	0.5653	0.0138	0.5613
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1656	Original	10	0.8579	0.3995	0.7581	0.4895	0.0362	0.4871
	2D	14	0.9163	0.3103	0.7706	0.5146	-0.0450	0.5127
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1658	Original	10	0.8588	0.3983	0.7521	0.4975	0.0364	0.4951
	2D	14	0.9163	0.3113	0.7707	0.5145	-0.0451	0.5126
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1660	Original	10	0.8446	0.4163	0.7784	0.4616	0.0605	0.4621
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1662	Original	10	0.8434	0.4177	0.7718	0.4675	0.0584	0.4676
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1664	Original	12	0.8834	0.3643	0.7563	0.4952	0.0495	0.4940
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1666	Original	12	0.8835	0.3642	0.7561	0.4955	0.0489	0.4942
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1668	Original	12	0.8855	0.3612	0.7561	0.4958	0.0477	0.4944
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1670	Original	12	0.8837	0.3639	0.7575	0.4939	0.0459	0.4924
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1672	Original	12	0.8842	0.3632	0.7566	0.4952	0.0428	0.4933
	2D	12	0.9045	0.3316	0.7688	0.5124	-0.0273	0.5093
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832

ตารางผนวกที่ 11 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสาย
น้ำผึ้ง หลังจากตัด 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ทุกความ
ยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128-1144	Original	10	0.8450	0.4158	0.7690	0.4776	0.0519	0.4768
	2D	13	0.9112	0.3202	0.7658	0.5209	-0.0228	0.5175
	MSC	10	0.8625	0.3935	0.7799	0.4672	0.0432	0.4657
1262-1278	Original	10	0.8450	0.4158	0.7682	0.4785	0.0526	0.4778
	2D	12	0.9040	0.3323	0.7696	0.5109	-0.0235	0.5076
	MSC	8	0.8356	0.4270	0.7651	0.4842	0.0492	0.4831
1654-1672	Original	10	0.8445	0.4163	0.7673	0.4792	0.0532	0.4786
	2D	13	0.9113	0.3201	0.7778	0.5057	-0.0133	0.5021
	MSC	10	0.867	0.3901	0.7674	0.4706	0.1160	0.4813
1128-1144 และ	Original	10	0.8448	0.4145	0.7683	0.4782	0.0527	0.4775
1654-1672	2D	14	0.9167	0.3106	0.7665	0.5255	-0.0162	0.5218
	MSC	10	0.8602	0.3965	0.7821	0.4647	0.0382	0.4628
1128-1144,	Original	10	0.8451	0.4157	0.7685	0.4781	0.0530	0.4775
1262-1278 และ	2D	14	0.9164	0.3112	0.7643	0.5280	-0.0123	0.5241
1654-1672	MSC	10	0.8605	0.3961	0.7828	0.4640	0.0379	0.4621

ตารางผนวกที่ 12 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจากหารด้วยค่าความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ค่าความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128-1144	Original	10	0.8449	0.4159	0.7692	0.4772	0.0525	0.4766
	2D	17	0.9481	0.2471	0.7173	0.6232	-0.0747	0.6230
	MSC	9	0.8457	0.4150	0.7664	0.4798	0.0458	0.4784
1262-1278	Original	8	0.8294	0.4344	0.7432	0.5066	0.0330	0.5039
	2D	14	0.9148	0.3140	0.7724	0.5124	-0.0485	0.5108
	MSC	8	0.8355	0.4273	0.7648	0.4844	0.0487	0.4832
1654-1672	Original	10	0.8446	0.4163	0.7673	0.4792	0.0532	0.4786
	2D	13	0.9106	0.3214	0.7825	0.4919	-0.0284	0.4890
	MSC	9	0.8452	0.4156	0.7636	0.4832	0.0444	0.4817
1128-1144 และ 1654-1672	Original	10	0.8444	0.4166	0.7685	0.4777	0.0548	0.4772
	2D	15	0.9186	0.3073	0.7628	0.5264	-0.0451	0.5244
	MSC	8	0.8372	0.4252	0.7564	0.4895	0.0416	0.4876

ตารางผนวกที่ 13 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี
หลังจากหารด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672
nm ที่ละความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128	Original	13	0.8810	0.0650	0.7439	0.0869	-0.0026	0.0863
	2D	14	0.9045	0.0586	0.8078	0.0790	-0.0070	0.0787
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1130	Original	13	0.8832	0.0644	0.7480	0.0864	-0.0027	0.0858
	2D	14	0.9044	0.0586	0.8077	0.0790	-0.0070	0.0787
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1132	Original	13	0.8833	0.0644	0.7508	0.0860	-0.0036	0.0855
	2D	14	0.9044	0.0587	0.8075	0.0790	-0.0070	0.0788
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0761	-0.0048	0.8056
1134	Original	8	0.7782	0.0863	0.7016	0.0926	0.0029	0.0919
	2D	14	0.9044	0.0586	0.8073	0.0791	-0.0070	0.0788
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1136	Original	13	0.8836	0.0643	0.7697	0.0828	-0.0048	0.0823
	2D	14	0.9043	0.0586	0.8070	0.0791	-0.0070	0.0788
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1138	Original	13	0.8794	0.0654	0.7601	0.0845	-0.0034	0.0839
	2D	14	0.9044	0.0586	0.8067	0.0792	-0.0070	0.0789
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1140	Original	8	0.8187	0.0789	0.6118	0.1086	0.0069	0.1080
	2D	14	0.9063	0.0581	0.6542	0.1086	-0.0106	0.1083
	MSC	10	0.8473	0.0730	0.6548	0.1006	0.0063	0.1001
1142	Original	13	0.8780	0.0658	0.7555	0.0854	-0.0035	0.0849
	2D	14	0.9044	0.0586	0.8064	0.0792	-0.0070	0.0789
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1144	Original	13	0.8767	0.0661	0.7469	0.0868	-0.0028	0.0862
	2D	14	0.9044	0.0586	0.8062	0.0792	-0.0070	0.0789
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0048	0.0856

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1262	Original	13	0.8416	0.0742	0.5959	0.1086	-0.0148	0.1088
	2D	10	0.7674	0.0881	0.6542	0.0995	-0.0162	0.1000
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1264	Original	13	0.8404	0.0745	0.5834	0.1099	-0.0148	0.1101
	2D	10	0.7675	0.0881	0.6543	0.0995	-0.0162	0.1000
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1266	Original	13	0.8413	0.0743	0.5860	0.1095	-0.0150	0.1097
	2D	10	0.7675	0.0881	0.6543	0.0995	-0.0162	0.1000
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1268	Original	13	0.8401	0.0745	0.5888	0.1091	-0.0149	0.1093
	2D	10	0.7675	0.0881	0.6541	0.0995	-0.0162	0.1001
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1270	Original	13	0.8416	0.0742	0.5885	0.1089	-0.0143	0.1090
	2D	10	0.7674	0.0881	0.6543	0.0995	-0.0162	0.1001
	MSC	14	0.8745	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1272	Original	13	0.8394	0.0747	0.5857	0.1092	-0.0150	0.1094
	2D	10	0.7674	0.0881	0.6541	0.0995	-0.0162	0.1001
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1274	Original	13	0.8405	0.0745	0.5899	0.1086	-0.0141	0.1087
	2D	10	0.7675	0.0881	0.6542	0.0995	-0.0162	0.1001
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6358	0.1024	-0.0070	0.1019
1276	Original	13	0.8395	0.0747	0.5853	0.1090	-0.0143	0.1091
	2D	10	0.7675	0.0881	0.6542	0.0995	-0.0162	0.1001
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1278	Original	14	0.8628	0.0695	0.5836	0.1111	-0.0121	0.1110
	2D	10	0.7675	0.0881	0.6543	0.0995	-0.0162	0.1000
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP
1654	Original	13	0.8820	0.0648	0.7463	0.0863	-0.0039	0.0858
	2D	14	0.9123	0.0563	0.8228	0.0759	-0.0074	0.0757
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0048	0.0856
1656	Original	13	0.8821	0.0647	0.7479	0.0861	-0.0040	0.0855
	2D	14	0.9118	0.0564	0.8220	0.0761	-0.0074	0.0759
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0048	0.0856
1658	Original	13	0.8814	0.0649	0.7437	0.0867	-0.0037	0.0862
	2D	14	0.9116	0.0565	0.8213	0.0762	-0.0074	0.0760
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0046	0.0856
1660	Original	13	0.8813	0.0649	0.7448	0.0865	-0.0037	0.0859
	2D	14	0.9112	0.0566	0.8205	0.0763	-0.0074	0.0761
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0048	0.0856
1662	Original	13	0.8811	0.0650	0.7448	0.0865	-0.0038	0.0859
	2D	14	0.9112	0.0566	0.8205	0.0763	-0.0074	0.0761
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0048	0.0856
1664	Original	13	0.8809	0.0650	0.7415	0.0870	-0.0038	0.0864
	2D	14	0.9108	0.0567	0.8195	0.0765	-0.0073	0.0763
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0048	0.0856
1666	Original	13	0.8811	0.0650	0.7436	0.0867	-0.0036	0.0861
	2D	14	0.9107	0.0567	0.8195	0.0765	-0.0073	0.0763
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0047	0.0856
1668	Original	13	0.8812	0.0650	0.7419	0.0870	-0.0034	0.0864
	2D	14	0.9105	0.0568	0.8187	0.0767	-0.0073	0.0765
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0047	0.0856
1670	Original	14	0.9069	0.0579	0.7587	0.0846	-0.0027	0.0840
	2D	14	0.9104	0.0569	0.8182	0.0768	-0.0073	0.0766
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0047	0.0856
1672	Original	14	0.9063	0.0581	0.7631	0.0838	-0.0017	0.0832
	2D	14	0.9103	0.0569	0.8178	0.0769	-0.0072	0.0766
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7439	0.0861	-0.0047	0.0856

ตารางผนวกที่ 14 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจาก
ลบด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ละ
ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128	Original	13	0.8973	0.0607	0.7488	0.0879	0.0008	0.0873
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1130	Original	13	0.8985	0.0603	0.7573	0.0865	0.0002	0.0858
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1132	Original	13	0.8972	0.0607	0.7617	0.0857	-0.0009	0.0850
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1134	Original	12	0.8711	0.0675	0.6345	0.1042	0.0088	0.1037
	2D	12	0.8887	0.0630	0.6419	0.1099	-0.0027	0.1091
	MSC	10	0.8473	0.0730	0.6548	0.1006	0.0064	0.1001
1136	Original	13	0.8945	0.0614	0.7834	0.0813	-0.0033	0.0808
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1138	Original	12	0.8658	0.0688	0.7516	0.0858	-0.0015	0.0852
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1140	Original	12	0.8679	0.0683	0.7553	0.0853	-0.0015	0.0847
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1142	Original	12	0.8659	0.0687	0.7512	0.0861	-0.0018	0.0855
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1144	Original	12	0.8647	0.0690	0.7479	0.0865	-0.0013	0.0859
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP
1262	Original	14	0.8521	0.0719	0.6227	0.1051	-0.0040	0.1044
	2D	10	0.7444	0.0918	0.6621	0.0967	-0.0094	0.0964
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1264	Original	14	0.8506	0.0723	0.6086	0.1069	-0.0042	0.1062
	2D	10	0.7441	0.0918	0.6620	0.0967	-0.0094	0.0964
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1266	Original	14	0.8515	0.0721	0.6144	0.1059	-0.0044	0.1052
	2D	10	0.7442	0.0918	0.6621	0.0966	-0.0094	0.0964
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1268	Original	14	0.8500	0.0724	0.6158	0.1058	-0.0046	0.1051
	2D	10	0.7442	0.0918	0.6621	0.0966	-0.0094	0.0964
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1270	Original	14	0.8508	0.0722	0.6147	0.1058	-0.0046	0.1051
	2D	10	0.7442	0.0918	0.6621	0.0966	-0.0094	0.0964
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1272	Original	14	0.8496	0.0725	0.6147	0.1058	-0.0050	0.1051
	2D	10	0.7443	0.0918	0.6620	0.0966	-0.0094	0.0964
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1274	Original	14	0.8501	0.0724	0.6164	0.1054	-0.0044	0.1047
	2D	10	0.7443	0.0918	0.6621	0.0966	-0.0094	0.0964
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1276	Original	14	0.8495	0.0725	0.6155	0.1054	-0.0048	0.1047
	2D	10	0.7443	0.0918	0.6621	0.0966	-0.0094	0.0964
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1278	Original	14	0.8489	0.0726	0.6161	0.1052	-0.0048	0.1045
	2D	10	0.7444	0.0918	0.6621	0.0966	-0.0094	0.0964
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1654	Original	13	0.8932	0.0618	0.7404	0.0893	0.0021	0.0887
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1656	Original	13	0.8928	0.0619	0.7420	0.0889	0.0020	0.0883
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1658	Original	13	0.8936	0.0617	0.7398	0.0894	0.0023	0.0888
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1660	Original	13	0.8935	0.0617	0.7400	0.0893	0.0024	0.0886
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1662	Original	13	0.8936	0.0617	0.7419	0.0890	0.0021	0.0884
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1664	Original	11	0.8290	0.0769	0.7523	0.0854	-0.0023	0.0848
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0759	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1666	Original	13	0.8958	0.0611	0.7435	0.0888	0.0022	0.0882
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1668	Original	13	0.8969	0.0608	0.7465	0.0882	0.0019	0.0876
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1670	Original	12	0.8667	0.0686	0.7480	0.0862	-0.0022	0.0856
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856
1672	Original	12	0.8670	0.0685	0.7490	0.0861	-0.0019	0.0855
	2D	14	0.9172	0.0548	0.8150	0.0785	-0.0065	0.0782
	MSC	10	0.8322	0.0762	0.7440	0.0861	-0.0048	0.0856

ตารางผนวกที่ 15 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจากตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128-1144	Original	11	0.8549	0.0713	0.6458	0.1022	0.0064	0.1016
	2D	12	0.8924	0.0620	0.6409	0.1109	-0.0046	0.1102
	MSC	10	0.8502	0.0724	0.6520	0.1010	0.0071	0.1005
1262-1278	Original	3	0.4134	0.1251	0.3793	0.1184	-0.0015	0.1175
	2D	10	0.7434	0.0919	0.6625	0.0966	-0.0088	0.0963
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6354	0.1024	-0.0072	0.1019
1654-1672	Original	14	0.9011	0.0596	0.7576	0.0855	-0.0051	0.0850
	2D	14	0.9161	0.0551	0.8192	0.0772	-0.0065	0.0769
	MSC	9	0.8220	0.0783	0.7623	0.0830	-0.0030	0.0825
1128-1144, และ 1654- 1672	Original	11	0.8524	0.0718	0.6494	0.1017	0.0063	0.1012
	2D	13	0.8973	0.0607	0.6446	0.1116	-0.0046	0.1108
	MSC	10	0.8471	0.0730	0.6557	0.1005	0.0063	0.0999
1128-1144, 1262-1278 และ 1654- 1672	Original	14	0.8747	0.0666	0.6348	0.1025	-0.0071	0.1020
	2D	12	0.8364	0.0753	0.6172	0.1050	-0.0024	0.1043
	MSC	14	0.8749	0.0666	0.6347	0.1025	-0.0070	0.1020

ตารางผนวกที่ 16 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจาก
 การด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672
 nm ที่ละความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128-1144	Original	3	0.3637	0.1281	0.3671	0.1190	-0.0012	0.1181
	2D	11	0.7666	0.0882	0.6196	0.1061	-0.0153	0.1064
	MSC	14	0.8703	0.0677	0.6178	0.1060	-0.0101	0.1057
1262-1278	Original	13	0.8404	0.0745	0.5868	0.1092	-0.0146	0.1093
	2D	10	0.7675	0.0881	0.6542	0.0995	-0.0162	0.1001
	MSC	14	0.8744	0.0667	0.6359	0.1024	-0.0070	0.1019
1654-1672	Original	14	0.8384	0.0749	0.5638	0.1131	-0.0162	0.1134
	2D	11	0.7634	0.0888	0.6124	0.1067	-0.0146	0.1069
	MSC	15	0.9054	0.0583	0.5576	0.1154	-0.0100	0.1149
1128-1144	Original	14	0.8412	0.0740	0.5348	0.1188	-0.0174	0.1191
และ 1654-	2D	11	0.7626	0.0889	0.6285	0.1034	-0.0128	0.1034
1672	MSC	12	0.7745	0.0869	0.5118	0.1158	-0.0241	0.1174

ตารางผนวกที่ 17 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล
 ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm
 โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	9	0.8614	0.4022	0.6544	0.5335	0.0446	0.5335
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
ปอก เปลือก	Original	15	0.9108	0.3269	0.6628	0.5282	0.0761	0.5296
	2D	12	0.8384	0.4315	0.5872	0.5939	0.1093	0.5993
	MSC	15	0.9322	0.2864	0.6297	0.5606	0.0817	0.5622
เปลือก	Original	13	0.8473	0.4206	0.5395	0.6194	-0.0444	0.6161
	2D	11	0.7496	0.5298	0.5888	0.5801	-0.0385	0.5769
	MSC	10	0.8157	0.4581	0.4603	0.6533	0.0394	0.6494
น้ำ	Original	3	0.9624	0.2152	0.9594	0.2009	0.0142	0.1998
	2D	4	0.9598	0.2224	0.9499	0.2188	0.0609	0.2254
	MSC	3	0.9644	0.2095	0.9583	0.2014	0.0239	0.2013

ตารางผนวกที่ 18 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล
 ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500
 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	14	0.9628	0.784	0.8823	1.1533	-0.0483	1.1453
	2D	9	0.9305	1.0420	0.8832	1.1615	0.2054	1.1705
	MSC	12	0.9577	0.8183	0.8707	1.2046	-0.0204	1.1954
ปอก เปลือก	Original	10	0.9339	1.0171	0.8159	1.5050	-0.0627	1.4945
	2D	8	0.9274	1.0647	0.8492	1.3010	0.0447	1.2916
	MSC	9	0.9393	0.9765	0.8170	1.5059	-0.2031	1.5078
เปลือก	Original	17	0.9455	0.9262	0.8295	1.3752	0.4086	1.4242
	2D	12	0.9085	1.1888	0.8347	1.4223	0.4670	1.4865
	MSC	16	0.9482	0.9036	0.7912	1.5372	0.5046	1.6065
น้ำ	Original	4	0.9876	0.4473	0.9818	0.4701	0.1467	0.4889
	2D	4	0.9905	0.3910	0.9830	0.4750	0.1787	0.5040
	MSC	2	0.9809	0.5538	0.9680	0.6150	0.1592	0.6306

ตารางผนวกที่ 19 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียง ตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	6	0.6420	0.1093	-0.2420	0.1533	0.0158	0.1529
	2D	8	0.7229	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
ปอกเปลือก	Original	12	0.7865	0.0880	0.0004	0.1466	-0.0114	0.1459
	2D	7	0.6322	0.1104	-0.1516	0.1483	0.0192	0.1484
	MSC	8	0.6626	0.1068	0.0280	0.1394	0.0090	0.1386
เปลือก	Original	7	0.6017	0.1139	-0.3679	0.1824	0.0128	0.1814
	2D	7	0.6280	0.1109	-0.2496	0.1868	-0.0024	0.1854
	MSC	7	0.5809	0.1160	-0.2613	0.1761	0.0133	0.1752
น้ำ	Original	9	0.9372	0.0497	0.7742	0.0762	-0.0428	0.0869
	2D	12	0.9416	0.0480	0.4600	0.1089	-0.0055	0.1082
	MSC	5	0.8610	0.0725	0.6810	0.0926	-0.0353	0.0984

ตารางผนวกที่ ง20 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm โดยเรียง ตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	11	0.7762	0.3214	0.3629	0.4205	0.0157	0.4175
	2D	7	0.7738	0.3229	0.4729	0.4021	0.0110	0.3991
	MSC	8	0.7180	0.3548	0.4334	0.3976	0.0567	0.3985
ปอกเปลือก	Original	12	0.8733	0.2484	0.4393	0.4117	0.0713	0.4146
	2D	8	0.7945	0.3096	0.5464	0.3726	0.0506	0.3731
	MSC	11	0.8923	0.2301	0.3556	0.4400	0.0627	0.4410
เปลือก	Original	17	0.8677	0.2541	0.2581	0.4843	0.1170	0.4945
	2D	13	0.8519	0.2676	0.3984	0.4381	0.0910	0.4409
	MSC	3	0.5288	0.4338	0.4567	0.4039	0.0546	0.4045
น้ำ	Original	7	0.8857	0.2367	0.7690	0.2811	-0.0250	0.2801
	2D	4	0.8317	0.2830	0.6804	0.3226	0.0890	0.3322
	MSC	6	0.8793	0.2428	0.7600	0.2852	0.0011	0.2830

ตารางผนวกที่ ง21 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดย เรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	10	0.8242	0.4484	0.6377	0.5396	0.0109	0.5355
	2D	7	0.8247	0.4478	0.7047	0.4958	0.0088	0.4920
	MSC	11	0.8597	0.4045	0.6327	0.5511	0.0960	0.5552
ปอกเปลือก	Original	15	0.8779	0.3791	0.6974	0.5128	-0.1160	0.5219
	2D	11	0.8621	0.4013	0.6988	0.5106	-0.0564	0.5097
	MSC	13	0.8754	0.3827	0.6814	0.5174	-0.1002	0.5230
เปลือก	Original	8	0.7645	0.5104	0.7266	0.4801	-0.1058	0.4886
	2D	7	0.7899	0.4856	0.7553	0.4568	-0.0437	0.4553
	MSC	8	0.7846	0.4910	0.7672	0.4476	-0.0654	0.4489

ตารางผนวกที่ 22 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล
 ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm
 โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	8	0.8941	1.2741	0.8158	1.4194	0.4143	1.4679
	2D	10	0.9237	1.0898	0.7906	15032	0.5977	1.6067
	MSC	9	0.9001	1.2353	0.7197	1.7257	0.2608	1.7319
ปอก เปลือก	Original	6	0.9106	1.1762	0.8685	1.2209	0.4901	1.3067
	2D	9	0.9310	1.0389	0.8763	1.1806	0.5232	1.2829
	MSC	4	0.9064	1.2016	0.8349	1.3513	0.4620	1.4181
เปลือก	Original	8	0.8550	1.4754	0.6471	1.9492	0.1643	1.9409
	2D	7	0.8491	1.5028	0.6553	1.9056	0.3489	1.9226
	MSC	7	0.8179	1.6369	0.2234	3.7065	0.2550	3.6863

ตารางผนวกที่ 23 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก
 และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดยเรียงตัวอย่าง
 จากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	6	0.5502	0.1190	-0.0498	0.1285	0.0005	0.1274
	2D	3	0.5143	0.1223	0.0961	0.1338	0.0061	0.1329
	MSC	4	0.5313	0.1208	-0.1109	0.1328	0.0006	0.1318
ปอก เปลือก	Original	5	0.3896	0.1313	0.0286	0.1202	0.0455	0.1276
	2D	8	0.5413	0.1199	0.5464	0.0965	0.0195	0.0977
	MSC	1	0.1910	0.1399	0.2434	0.1103	0.0272	0.1128
เปลือก	Original	11	0.7409	0.0957	0.3522	0.1232	0.0392	0.1284
	2D	8	0.7221	0.0986	0.2317	0.1281	0.0370	0.1324
	MSC	8	0.6997	0.1018	0.2961	0.1297	0.0469	0.1369

ตารางผนวกที่ 24 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm โดยเรียง ตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	7	0.7460	0.3395	0.4668	0.3919	0.0974	0.4008
	2D	7	0.7526	0.3357	0.5115	0.3960	0.1316	0.4144
	MSC	5	0.7075	0.3603	0.4934	0.3839	0.1425	0.4067
ปอกเปลือก	Original	4	0.7415	0.3421	0.6571	0.3316	0.0817	0.3390
	2D	3	0.7114	0.3583	0.6114	0.3475	0.0950	0.3576
	MSC	3	0.7502	0.3371	0.6154	0.3459	0.0838	0.3533
เปลือก	Original	17	0.8490	0.2694	0.3105	0.4774	0.0376	0.4752
	2D	8	0.7540	0.3349	0.4001	0.4209	0.0568	0.4215
	MSC	14	0.8123	0.2973	0.3837	0.4416	0.0441	0.4404

ตารางผนวกที่ 25 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	10	0.8447	0.4161	0.7680	0.4786	0.0524	0.4779
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
ปอกเปลือก	MSC	4	0.5689	0.6394	0.7151	0.6103	-0.0077	0.6058
	MSC	15	0.9322	0.2864	0.6297	0.5606	0.0817	0.5622
เปลือก	MSC	5	0.6926	0.5608	0.5213	0.5213	0.0387	0.5189
	2D	11	0.7496	0.5298	0.5888	0.5801	-0.0385	0.5769
น้ำคั้น	2D	4	0.9602	0.2178	0.9464	0.239	0.0398	0.2405
	Original	3	0.9624	0.2152	0.9594	0.2009	0.0142	0.1998

หมายเหตุ ด้านบนนำตัวอย่างทั้งหมดเรียงค่าจากน้อยไปมาก และด้านล่างแบ่งตัวอย่างโดยคิดค่าเฉลี่ยแต่ละผลจากนั้นเรียงค่าทางเคมีจากน้อยไปมาก

ตารางผนวกที่ ง26 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	2D	10	0.9361	0.9724	0.8991	1.1629	-0.2335	1.1776
	Original	14	0.9628	0.784	0.8823	1.1533	-0.0483	1.1453
ปอกเปลือก	2D	9	0.9320	1.0019	0.8859	1.2456	-0.1765	1.2488
	2D	8	0.9274	1.0647	0.8492	1.3010	0.0447	1.2916
เปลือก	Original	16	0.9300	1.0016	0.8261	1.5022	-0.1064	1.4947
	Original	17	0.9455	0.9262	0.8295	1.3752	0.4086	1.4242
น้ำ	2D	5	0.9905	0.3793	0.9916	0.3447	-0.1134	0.3604
	Original	4	0.9876	0.4473	0.9818	0.4701	0.1467	0.4889

ตารางผนวกที่ ง27 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 1100 ถึง 2500 nm

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	2D	10	0.7444	0.0918	0.6621	0.0966	-0.0094	0.0964
	Original	6	0.6420	0.1093	-0.2420	0.1533	0.0158	0.1529
ปอกเปลือก	Original	8	0.6275	0.1070	0.2836	0.1282	-0.0239	0.1294
	MSC	8	0.6626	0.1068	0.0280	0.1394	0.0090	0.1386
เปลือก	2D	4	0.3782	0.1272	0.3354	0.1212	-0.0055	0.1204
	MSC	7	0.5809	0.1160	-0.2613	0.1761	0.0133	0.1752
น้ำ	Original	11	0.9729	0.0319	0.8134	0.0838	-0.0097	0.0838
	Original	9	0.9372	0.0497	0.7742	0.0762	-0.0428	0.0869

ตารางผนวกที่ ง28 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรด
ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก เปลือก และน้ำ ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาว
คลื่น 1100 ถึง 2500 nm

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	2D	8	0.7660	0.3191	0.6802	0.3486	0.0477	0.3492
	MSC	8	0.7180	0.3548	0.4334	0.3976	0.0567	0.3985
ปอกเปลือก	2D	8	0.7760	0.3131	0.6876	0.3529	0.0357	0.3521
	2D	8	0.7945	.3096	0.5464	0.3726	0.0506	0.3731
เปลือก	2D	9	0.7415	0.3330	0.5474	0.4171	0.0471	0.4167
	MSC	3	0.5288	0.4338	0.4567	0.4039	0.0546	0.4045
น้ำคั้น	Original	7	0.8719	0.2430	0.8094	0.2799	0.2799	0.2779
	Original	7	0.8857	0.2367	0.7690	0.2811	-0.0250	0.2801

ตารางผนวกที่ ง29 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่
ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาว
คลื่น 609 ถึง 1066 nm

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	2D	7	0.8116	0.4542	0.7882	0.4526	-0.0195	-0.4496
	2D	7	0.8247	0.4478	0.7047	0.4958	0.0088	0.4920
ปอกเปลือก	2D	11	0.8472	0.4131	0.7551	0.4848	0.0605	0.4849
	2D	11	0.8621	0.4013	0.6988	0.5106	-0.0564	0.5097
เปลือก	2D	7	0.8065	0.4628	0.7348	0.4994	0.0900	0.5038
	MSC	8	0.7846	0.4910	0.7672	0.4476	-0.0654	0.4489

ตารางผนวกที่ ง30 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	2D	10	0.9128	1.1286	0.8722	1.3188	-0.1364	1.3160
	Original	8	0.8941	1.2741	0.8158	1.4194	0.4143	1.4679
ปอกเปลือก	Original	7	0.9114	1.1376	0.9033	1.1404	0.0315	1.1323
	2D	9	0.9310	1.0389	0.8763	1.1806	0.5232	1.2829
เปลือก	Original	16	0.9206	1.0797	0.8537	1.4556	-0.2245	1.4621
	2D	7	0.8491	1.5028	0.6553	1.9056	0.3489	1.9226

ตารางผนวกที่ ง31 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของส้มสายน้ำผึ้งที่ความยาวคลื่น 609 ถึง 1066 nm

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	12	0.6963	0.0986	0.6041	0.1026	0.0191	0.1036
	Original	6	0.5502	0.1190	-0.0498	0.1285	0.0005	0.1274
ปอกเปลือก	2D	7	0.5854	0.1114	0.4827	0.1124	0.0119	0.1123
	2D	8	0.5413	0.1199	0.5464	0.0965	0.0195	0.0977
เปลือก	2D	6	0.6599	0.1032	0.5312	0.1132	-0.0118	0.1130
	Original	11	0.7409	0.0957	0.3522	0.1232	0.0392	0.1284

ตารางผนวกที่ ง32 ค่าทางสถิติเปรียบเทียบการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรด
ทั้งหมดแบบทั้งผล ปอกเปลือก และเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ความยาวคลื่น
609 ถึง 1066 nm

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
ทั้งผล	Original	8	0.7202	0.3443	0.6846	0.3452	0.0346	0.3443
	Original	7	0.7460	0.3395	0.4668	0.3919	0.0974	0.4008
ปอกเปลือก	Original	4	0.7189	0.3450	0.7200	0.3286	0.0334	0.3279
	Original	4	0.7415	0.3421	0.6571	0.3316	0.0817	0.3390
เปลือก	MSC	13	0.7552	0.7552	0.6653	0.3571	-0.0029	0.3544
	2D	8	0.7540	0.3349	0.4001	0.4209	0.0568	0.4215

ตารางผนวกที่ ง33 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR ของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสาย
น้ำผึ้ง หลังจากการหาค่าความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง
1672 nm ที่ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการหาค่าเฉลี่ย
ของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP
1128	Original	8	0.8398	0.4299	0.6915	0.5110	-0.0160	0.5072
	2D	14	0.9277	0.2957	0.5950	0.5651	0.0082	0.5607
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1130	Original	8	0.8407	0.4288	0.6882	0.5128	-0.0182	0.5091
	2D	14	0.9276	0.2957	0.5948	0.5653	0.0083	0.5609
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1132	Original	8	0.8419	0.4273	0.6833	0.5156	-0.0211	0.5120
	2D	14	0.9276	0.2959	0.5945	0.5655	0.0084	0.5611
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1134	Original	8	0.8433	0.4255	0.6764	0.5197	0.0243	0.5163
	2D	14	0.9276	0.2959	0.5944	0.5656	0.0084	0.5613
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1136	Original	8	0.8450	0.4234	0.6662	0.5259	-0.0282	0.5225
	2D	14	0.9275	0.2960	0.5941	0.5659	0.0087	0.5615
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	0.0143	0.5334
1138	Original	8	0.8466	0.4214	0.6498	0.5358	-0.0314	0.5326
	2D	14	0.9275	0.2960	0.5938	0.5662	0.0088	0.5618
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1140	Original	8	0.8475	0.4203	0.6346	0.5448	-0.0338	0.5416
	2D	14	0.9275	0.2960	0.5937	0.5633	0.0090	0.5620
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1142	Original	8	0.8477	0.4200	0.6271	0.5491	-0.0349	0.5459
	2D	14	0.9275	0.2961	0.5939	0.5663	0.0089	0.5619
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1144	Original	8	0.8474	0.4204	0.6261	0.5493	-0.0364	0.5463
	2D	14	0.9275	0.2960	0.5941	0.5663	0.0089	0.5619
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334

ตารางผนวกที่ 33 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1262	Original	8	0.8465	0.4216	0.6316	0.5462	-0.0380	0.5432
	2D	14	0.9278	0.2954	0.5966	0.5647	0.0055	0.5603
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1264	Original	8	0.8463	0.4218	0.6364	0.5433	-0.0371	0.5403
	2D	14	0.9278	0.2954	0.5967	0.5647	0.0056	0.5603
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1266	Original	8	0.8461	0.4220	0.6378	0.5426	-0.0374	0.5396
	2D	14	0.9278	0.2954	0.5966	0.5648	0.0056	0.5603
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1268	Original	8	0.8459	0.4223	0.6406	0.5412	-0.0365	0.5382
	2D	14	0.9278	0.2954	0.5966	0.5647	0.0055	0.5603
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1270	Original	8	0.8454	0.4229	0.6439	0.5391	-0.0355	0.5361
	2D	14	0.9278	0.2954	0.5964	0.5648	0.0055	0.5604
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1272	Original	8	0.8454	0.4230	0.6444	0.5390	-0.0346	0.5359
	2D	14	0.9278	0.2954	0.5966	0.5647	0.0056	0.5603
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1274	Original	8	0.8451	0.4234	0.6456	0.5385	-0.0337	0.5354
	2D	14	0.9278	0.2955	0.5965	0.5648	0.0055	0.5604
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1276	Original	8	0.8448	0.4238	0.6494	0.5362	-0.0324	0.5330
	2D	14	0.9278	0.2955	0.5965	0.5648	0.0055	0.5604
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1278	Original	8	0.8447	0.4239	0.6478	0.5375	-0.0322	0.5343
	2D	14	0.9278	0.2955	0.5965	0.5648	0.0056	0.5604
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334

ตารางผนวกที่ 33 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1654	Original	9	0.8501	0.4170	0.5772	0.5808	-0.0183	0.5765
	2D	14	0.9311	0.2889	0.6099	0.5554	-0.0077	0.5511
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1656	Original	9	0.8505	0.4165	0.5795	0.5791	-0.0205	0.5749
	2D	14	0.9311	0.2889	0.6098	0.5555	-0.0076	0.5512
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1658	Original	10	0.8537	0.4123	0.6323	0.5451	-0.0377	0.5421
	2D	14	0.9311	0.2889	0.6097	0.5555	-0.0076	0.5512
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6465	0.5375	-0.0143	0.5334
1660	Original	9	0.8516	0.4151	0.5767	0.5802	-0.0217	0.5761
	2D	14	0.9310	0.2890	0.6098	0.5555	-0.0075	0.5512
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1662	Original	9	0.8505	0.4105	0.5795	0.5789	-0.0220	0.5748
	2D	14	0.9310	0.2890	0.6098	0.5555	-0.0074	0.5512
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1664	Original	9	0.8501	0.4171	0.5848	0.5758	-0.0224	0.5717
	2D	14	0.9310	0.2890	0.6097	0.5555	-0.0073	0.5512
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	0.0143	0.5334
1666	Original	8	0.8408	0.4286	0.6333	0.5516	0.0010	0.5473
	2D	14	0.9310	0.2891	0.6098	0.5555	-0.0071	0.5512
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1668	Original	8	0.8417	0.4276	0.6380	0.5479	-0.0030	0.5436
	2D	14	0.9310	0.2891	0.6097	0.5556	-0.0074	0.5512
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1670	Original	8	0.8418	0.4274	0.6482	0.5407	-0.0070	0.5365
	2D	14	0.6097	0.5556	0.9310	0.5556	-0.0071	0.5512
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1672	Original	10	0.8530	0.4132	0.6404	0.5402	-0.0366	0.5372
	2D	14	0.9309	0.2892	0.6097	0.5556	-0.0071	0.5512
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334

ตารางผนวกที่ ง34 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสาย
น้ำผึ้ง หลังจากลบด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง
1672 nm ที่ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ย
ของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP
1128	Original	8	0.8452	0.4232	0.6834	0.5205	0.0261	0.5171
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1130	Original	10	0.8369	0.4193	0.6587	0.5437	0.2371	0.5893
	2D	12	0.9271	0.2870	0.7074	0.5080	0.1571	0.5279
	MSC	9	0.8417	0.4136	0.6551	0.5475	0.2101	0.5825
1132	Original	8	0.8468	0.4212	0.6759	0.5240	0.0234	0.5204
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5592	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1134	Original	8	0.8472	0.4206	0.6712	0.5261	0.0214	0.5224
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0009	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1136	Original	8	0.8482	0.4195	0.6644	0.5294	0.0175	0.5255
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1138	Original	8	0.8487	0.4188	0.6558	0.5337	0.0156	0.5298
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1140	Original	8	0.8486	0.4189	0.6484	0.5376	0.0144	0.5336
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1142	Original	8	0.8488	0.4187	0.6473	0.5380	0.0131	0.5339
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1144	Original	8	0.8474	0.4204	0.6261	0.5493	-0.0364	0.5463
	2D	14	0.9275	0.2960	0.5941	0.5663	0.0089	0.5619
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334

ตารางผนวกที่ 34 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1262	Original	8	0.8508	0.4162	0.6601	0.5328	0.0105	0.5288
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1264	Original	8	0.8508	0.4162	0.6600	0.5330	0.0117	0.5290
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1266	Original	8	0.8509	0.4159	0.6601	0.5330	0.0109	0.5289
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1268	Original	8	0.8508	0.4162	0.6609	0.5328	0.0106	0.5287
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1270	Original	8	0.8504	0.4166	0.6627	0.5314	0.0102	0.5273
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1272	Original	8	0.8505	0.4165	0.6629	0.5316	0.0114	0.5276
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1274	Original	8	0.8505	0.4165	0.6633	0.5316	0.0110	0.5275
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1276	Original	8	0.8500	0.4171	0.6662	0.5295	0.0112	0.5255
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1278	Original	8	0.8504	0.4167	0.6644	0.5315	0.0118	0.5274
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334

ตารางผนวกที่ 34 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1654	Original	10	0.8624	0.4008	0.6559	0.5293	-0.0033	0.5252
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1656	Original	10	0.8624	0.4009	0.6569	0.5287	-0.0042	0.5246
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1658	Original	10	0.8623	0.4010	0.6568	0.5288	-0.0035	0.5246
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1660	Original	10	0.8637	0.3991	0.6530	0.5309	-0.0029	0.5267
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1662	Original	8	0.8480	0.4197	0.6917	0.5132	0.0119	0.5093
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1664	Original	8	0.8488	0.4186	0.6912	0.5129	0.0094	0.5089
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1666	Original	8	0.8493	0.4181	0.6898	0.5137	0.0089	0.5097
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1668	Original	8	0.8508	0.4165	0.6861	0.5155	0.0073	0.5115
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1670	Original	8	0.8516	0.4150	0.6847	0.5156	0.0034	0.5116
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1672	Original	8	0.8523	0.4142	0.6822	0.5169	0.0024	0.5128
	2D	13	0.9255	0.2998	0.6111	0.5591	0.0003	0.5547
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334

ตารางผนวกที่ 35 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจากตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128-1144	Original	9	0.8620	0.4014	0.6539	0.5361	0.0426	0.5336
	2D	12	0.9202	0.3099	0.5622	0.5895	0.0312	0.5857
	MSC	9	0.8623	0.4010	0.6441	0.5380	-0.0211	0.5342
1262-1278	Original	9	0.8615	0.4021	0.6553	0.5352	0.0448	0.5329
	2D	12	0.9199	0.3106	0.5976	0.5656	0.0164	0.5614
	MSC	9	0.8634	0.3995	0.6463	0.5376	-0.0140	0.5336
1654-1672	Original	9	0.8614	0.4022	0.6539	0.5361	0.0437	0.5337
	2D	13	0.9241	0.3027	0.6193	0.5551	0.0094	0.5509
	MSC	9	0.8635	0.3994	0.6522	0.5352	-0.0084	0.5311
1128-1144 และ 1654-1672	Original	9	0.8120	0.4014	0.6534	0.5364	0.0420	0.5338
	2D	13	0.9263	0.2984	0.5893	0.5695	0.0096	0.5651
	MSC	9	0.8636	0.3992	0.6477	0.5370	-0.0126	0.5329
1128-1144, 1262-1278 และ 1654-1672	Original	9	0.8620	0.4013	0.6538	0.5361	0.0422	0.5336
	2D	14	0.9293	0.2924	0.5966	0.5701	0.0100	0.5657
	MSC	9	0.8639	0.3988	0.6478	0.5371	-0.0115	0.5330

ตารางผนวกที่ ง36 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส้มสาย
น้ำผึ้ง หลังจากหารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ
1645 ถึง 1672 nm ที่ละความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิด
ค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128-1144	Original	9	0.8613	0.4023	0.6593	0.5331	0.0456	0.5309
	2D	14	0.9367	0.2772	0.5616	0.5794	0.0313	0.5757
	MSC	8	0.8615	0.4020	0.6460	0.5397	0.0311	0.5364
1262-1278	Original	8	0.8455	0.4228	0.6430	0.5397	-0.0355	0.5367
	2D	14	0.9278	0.2954	0.5965	0.5648	0.0055	0.5604
	MSC	9	0.8632	0.3998	0.6466	0.5375	-0.0143	0.5334
1654-1672	Original	9	0.8614	0.4022	0.6540	0.5361	0.0438	0.5337
	2D	13	0.9282	0.2947	0.6054	0.5613	0.0391	0.5583
	MSC	8	0.8607	0.4031	0.6376	0.5447	0.0294	0.5412
1128-1144 และ	Original	9	0.8622	0.4011	0.6517	0.5375	0.0388	0.5347
1654-1672	2D	8	0.8172	0.4564	0.5530	0.5933	0.0809	0.5942
	MSC	8	0.8605	0.4034	0.6446	0.5394	0.0288	0.5360

ตารางผนวกที่ 37 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจาก
 การด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ละ
 ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128	Original	13	0.9015	0.0619	0.5822	0.1047	-0.0085	0.1042
	2D	13	0.9236	0.0548	0.5081	0.1228	-0.0283	0.1251
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1130	Original	14	0.9306	0.0523	0.6051	0.1098	0.0008	0.1089
	2D	13	0.9236	0.0548	0.5080	0.1229	-0.0283	0.1252
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1132	Original	14	0.9313	0.0521	0.6002	0.1098	0.0029	0.1090
	2D	13	0.9236	0.0548	0.5081	0.1230	-0.0283	0.1252
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1134	Original	10	0.8660	0.0715	0.5462	0.1058	-0.0049	0.1051
	2D	13	0.9236	0.0548	0.5082	0.1230	-0.0282	0.1253
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1136	Original	13	0.9117	0.0588	0.5684	0.1063	-0.0071	0.1057
	2D	13	0.9236	0.0548	0.5086	0.1231	-0.0282	0.1253
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1044	-0.0171	0.1011
1138	Original	13	0.9241	0.0547	0.5720	0.1104	0.0056	0.1097
	2D	12	0.9174	0.0569	0.4757	0.1305	-0.0353	0.1342
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1140	Original	5	0.6411	0.1094	-0.3009	0.1566	0.0129	0.1559
	2D	9	0.7977	0.0860	0.1154	0.1489	-0.0115	0.1482
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1142	Original	13	0.9243	0.0546	0.5950	0.1134	0.0093	0.1129
	2D	12	0.9175	0.0569	0.4766	0.1304	-0.0350	0.1341
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1144	Original	11	0.8723	0.0699	0.5440	0.1086	-0.0030	0.1078
	2D	12	0.9175	0.0569	0.4769	0.1304	-0.0349	0.1340
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011

ตารางผนวกที่ 37 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1262	Original	4	0.6360	0.1100	-0.1917	0.1472	0.0139	0.1467
	2D	7	0.6894	0.1033	-0.2094	0.1710	0.0022	0.1696
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1264	Original	4	0.6355	0.1100	-0.1885	0.1469	0.0139	0.1467
	2D	9	0.7977	0.0860	0.1240	0.1481	-0.0114	0.1474
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1266	Original	4	0.6351	0.1101	-0.1859	0.1465	0.0139	0.1461
	2D	9	0.7977	0.0860	0.1238	0.1481	-0.0114	0.1474
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1268	Original	4	0.6349	0.1101	-0.1837	0.1465	0.0139	0.1459
	2D	9	0.7977	0.0860	0.1241	0.1481	-0.0114	0.1474
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1270	Original	4	0.6344	0.1102	-0.1805	0.1460	0.0139	0.1455
	2D	9	0.7977	0.0860	0.1240	0.1481	-0.0114	0.1474
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1272	Original	4	0.6337	0.1103	-0.1779	0.1456	0.0138	0.1451
	2D	9	0.7977	0.0860	0.1243	0.1481	-0.0114	0.1474
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1274	Original	4	0.6331	0.1103	-0.1748	0.1452	0.0138	0.1448
	2D	9	0.7977	0.0860	0.1244	0.1481	-0.0113	0.1474
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1276	Original	4	0.6320	0.1105	-0.1722	0.1447	0.0138	0.1442
	2D	9	0.7977	0.0860	0.1245	0.1481	-0.0114	0.1474
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1278	Original	4	0.6310	0.1106	-0.1709	0.1443	0.0137	0.1439
	2D	9	0.7977	0.0860	0.1244	0.1481	-0.0113	0.1474
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598

ตารางผนวกที่ 37 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1654	Original	13	0.9009	0.0621	0.5899	0.1052	-0.0104	0.1049
	2D	13	0.9254	0.0542	0.5299	0.1218	-0.0251	0.1236
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1656	Original	13	0.9007	0.0621	0.5914	0.1046	-0.0110	0.1044
	2D	13	0.9254	0.0542	0.5299	0.1218	-0.0260	0.1236
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1658	Original	13	0.8997	0.0624	0.5888	0.1045	-0.0101	0.1042
	2D	13	0.9254	0.0542	0.5297	0.1219	-0.0259	0.1237
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1660	Original	13	0.8998	0.0624	0.5902	0.1042	-0.0109	0.1040
	2D	13	0.9254	0.0542	0.5299	0.1218	-0.0260	0.1236
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1662	Original	13	0.8994	0.0625	0.5881	0.1041	-0.0106	0.1039
	2D	13	0.9254	0.0542	0.5297	0.1219	-0.0260	0.1237
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1664	Original	13	0.8989	0.0627	0.5867	0.1039	-0.0109	0.1037
	2D	13	0.9254	0.0542	0.5298	0.1218	-0.0260	0.1236
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1666	Original	13	0.8993	0.0625	0.5836	0.1042	-0.0108	0.1039
	2D	13	0.9254	0.0542	0.5296	0.1219	-0.0260	0.1237
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1668	Original	13	0.8986	0.0627	0.5829	0.1036	-0.0104	0.1033
	2D	13	0.9254	0.0542	0.5299	0.1218	-0.0261	0.1237
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5815	0.1019	-0.0173	0.1026
1670	Original	13	0.9005	0.0622	0.5830	0.1038	-0.0124	0.1037
	2D	13	0.9254	0.0542	0.5299	0.1218	-0.0261	0.1236
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1672	Original	13	0.9202	0.0560	0.5893	0.1063	-0.0079	0.1058
	2D	13	0.9294	0.0542	0.5299	0.1218	-0.0261	0.1237
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011

ตารางผนวกที่ 38 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจาก
ลบด้วยความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm ที่ละ
ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128	Original	13	0.9152	0.0576	0.6366	0.1040	-0.0072	0.1034
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1130	Original	13	0.9170	0.0571	0.6415	0.1034	-0.0066	0.1028
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1132	Original	13	0.9183	0.0566	0.6417	0.1033	-0.0053	0.1027
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0721	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1134	Original	6	0.6338	0.1103	-0.2602	0.1587	0.0268	0.1597
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1136	Original	14	0.9395	0.0490	0.6092	0.1035	0.0125	0.1035
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0721	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1138	Original	14	0.9349	0.0508	0.6129	0.1055	0.0096	0.1051
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1140	Original	11	0.8786	0.0683	0.5790	0.1033	-0.0114	0.1031
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1142	Original	11	0.8787	0.0688	0.574	0.1042	-0.0127	0.1041
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1144	Original	11	0.8671	0.0690	0.6298	0.1046	-0.0143	0.1047
	2D	13	0.9310	0.0506	0.6182	0.1179	-0.0329	0.1215
	MSC	9	0.8605	0.0706	0.6381	0.1028	-0.0205	0.1040

ตารางผนวกที่ 38 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1262	Original	6	0.6360	0.1100	-0.2656	0.1596	0.0269	0.1606
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1264	Original	6	0.6358	0.1100	-0.2651	0.1595	0.0269	0.1605
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1266	Original	6	0.6355	0.1101	-0.2647	0.1595	0.0269	0.1605
	2D	8	0.7229	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1268	Original	6	0.6357	0.1100	-0.2644	0.1595	0.0268	0.1605
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1270	Original	6	0.6356	0.1101	-0.2642	0.1595	0.0268	0.1605
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1272	Original	6	0.6353	0.1101	-0.2649	0.1595	0.0268	0.1605
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1274	Original	6	0.6353	0.1101	-0.2644	0.1595	0.0268	0.1605
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1276	Original	6	0.6352	0.1101	-0.2650	0.1594	0.0267	0.1604
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1278	Original	6	0.6350	0.1101	-0.2655	0.1595	0.0268	0.1605
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598

ตารางผนวกที่ 38 (ต่อ)

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1654	Original	13	0.9188	0.0564	0.6328	0.1042	-0.0033	0.1034
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1656	Original	13	0.9202	0.0560	0.6355	0.1032	-0.0042	0.1024
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1199
1658	Original	13	0.9207	0.0558	0.6286	0.1028	-0.0024	0.1021
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8636	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1660	Original	6	0.6357	0.1100	-0.2260	0.1591	0.0269	0.1602
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.1750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1662	Original	11	0.8705	0.0704	0.5907	0.1033	-0.0169	0.1039
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0721	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1664	Original	11	0.8713	0.0702	0.5918	0.1034	0.0162	0.1038
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1666	Original	11	0.8716	0.0701	0.5951	0.1033	-0.0164	0.1038
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0721	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1668	Original	11	0.8717	0.0701	0.5891	0.1038	-0.0155	0.0142
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011
1670	Original	11	0.8676	0.0719	0.6152	0.1006	-0.0078	0.1006
	2D	13	0.9271	0.0542	0.5951	0.1130	-0.0110	0.1127
	MSC	9	0.8600	0.0738	0.6215	0.0968	-0.0084	0.0965
1672	Original	11	0.8722	0.0700	0.6048	0.1031	-0.0137	0.1032
	2D	13	0.9343	0.0510	0.5581	0.1183	-0.0244	0.1199
	MSC	9	0.8638	0.0720	0.5964	0.1004	-0.0171	0.1011

ตารางผนวกที่ 39 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจากตัดช่วงความยาวคลื่น 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละผล

	Pretreatment	F	R [*]	SEC	R ^{**}	SEP	BIAS	RMSEP
1128-1144	Original	6	0.6425	0.1092	-0.2435	0.1536	0.0161	0.1533
	2D	9	0.7867	0.0880	0.0190	0.1554	0.0020	0.1542
	MSC	4	0.6301	0.1107	-0.2829	0.1595	0.0225	0.1599
1262-1278	Original	6	0.6420	0.1093	-0.2422	0.1533	0.0159	0.1529
	2D	8	0.7273	0.0975	-0.0964	0.1743	0.0133	0.1734
	MSC	4	0.6296	0.1107	-0.2807	0.1594	0.0225	0.1598
1654-1672	Original	6	0.6412	0.1094	-0.2468	0.1533	0.0158	0.1529
	2D	10	0.8000	0.0855	0.0850	0.1492	0.0060	0.1482
	MSC	4	0.6286	0.1109	-0.2803	0.1590	0.0224	0.1594
1128-1144 และ 1654-1672	Original	6	0.6417	0.1093	0.2482	0.1536	0.0160	0.1532
	2D	11	0.8302	0.0795	0.2660	0.1369	-0.0005	0.1359
	MSC	4	0.6291	0.1108	0.2827	0.1592	0.0224	0.1595
1128-1144, 1262-1278 และ 1654-1672	Original	6	0.6416	0.1093	-0.2484	0.1536	0.0160	0.1532
	2D	11	0.8288	0.0798	0.2706	0.1352	-0.0011	0.1341
	MSC	4	0.6290	0.1108	-0.2832	0.1591	0.0224	0.1595

ตารางผนวกที่ 40 ค่าทางสถิติจากวิธี PLSR เพื่อทำนายปริมาณกรดทั้งหมดในส้มสายน้ำผึ้ง หลังจาก
 หารด้วยความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ 1128 ถึง 1144, 1262 ถึง 1278 และ 1645 ถึง 1672 nm
 ที่ความยาวคลื่น โดยเรียงตัวอย่างจากน้อยไปมากจากการคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละ
 ผล

	Pretreatment	F	R*	SEC	R**	SEP	BIAS	RMSEP
1128-1144	Original	6	0.6418	0.1093	-0.2390	0.1532	0.0156	0.1528
	2D	8	0.7179	0.0992	-0.1213	0.1733	0.0018	0.1719
	MSC	4	0.6199	0.1119	-0.1193	0.1401	0.0087	0.1393
1262-1278	Original	6	0.6355	0.1101	-0.2647	0.1595	0.0268	0.1605
	2D	8	0.7230	0.0985	-0.1108	0.750	0.0135	0.1742
	MSC	4	0.6297	0.1107	-0.2803	0.1594	0.0225	0.1598
1654-1672	Original	6	0.6413	0.1094	-0.2467	0.1533	0.0157	0.1529
	2D	10	0.7935	0.0867	0.0452	0.1588	-0.0071	0.1577
	MSC	4	0.6306	0.1106	-0.2244	0.1505	0.0122	0.1498
1128-1144 และ 1654-1672	Original	6	0.6433	0.1091	-0.2576	0.1547	0.0170	0.1544
	2D	11	0.8099	0.0836	0.0897	0.1521	-0.0084	0.1511
	MSC	5	0.6392	0.1096	-0.2862	0.1583	0.0141	0.1577

ภาคผนวก จ

การเปรียบเทียบค่าทางเคมีในแต่ละด้านของส้มสายน้ำผึ้ง ด้วยวิธี One Way ANOVA และ
การเปรียบเทียบค่า SEP ด้วยวิธี Paired t-test ของการวัดแบบทั้งผลกับการวัดแบบปอกเปลือก

ตารางผนวกที่ จ1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในแต่ละด้านของส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี One Way ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.1720	3	0.391	0.663	0.576
Within Groups	117.928	200	0.590		
Total	119.101	203			

ตารางผนวกที่ จ2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณกรดทั้งหมดในแต่ละด้านของส้มสายน้ำผึ้งด้วยวิธี One Way ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.002	3	0.001	0.033	0.992
Within Groups	3.647	200	0.018		
Total	3.649	203			

ตารางผนวกที่ จ3 การเปรียบเทียบค่า SEP ด้วยวิธี Paired t-test ของการวัดแบบทั้งผลกับการวัดแบบปอกเปลือกที่วิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR ของส้มและมะม่วงในช่วงความเชื่อมั่น 95% โดยกลุ่มตัวอย่างที่เรียงตัวอย่างค่าทางเคมีจากน้อยไปมากของแต่ละด้าน

Pre treatment	Orange				Mango			
	TA		SSC		TA		SSC	
	LWNIR	SWNIR	LWNIR	SWNIR	LWNIR	SWNIR	LWNIR	SWNIR
Abs.-Abs.	ns	sig	sig	ns	ns	ns	sig	ns
Abs.-2D	ns	ns	sig	ns	ns	ns	ns	ns
Abs.-MSC	sig	ns	sig	ns	ns	ns	ns	ns
2D-Abs.	sig	ns	ns	ns	ns	ns	sig	ns
2D-2D	sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2D-MSC	sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MSC-Abs.	sig	ns	sig	ns	ns	Sig	sig	sig
MSC-2D	sig	ns	sig	ns	ns	ns	ns	sig
MSC-MSC	sig	ns	sig	ns	ns	ns	ns	ns