



การพัฒนาสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับตรวจวัดอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสใน
ชิ้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่เย็นก่อนการทำแห้งด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่าน

ใกล้

โดย

นางสาวหทัยชนก พวงจันทร์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร









การพัฒนาสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับตรวจวัดอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาล
ซูโครสในชิ้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอเชื่อมก่อนการทำแห้งด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี
อินฟราเรดย่านใกล้



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร



DEVELOPMENT OF COMMON CALIBRATION MODEL FOR DETERMINING TOTAL
SUGARS TO SUCROSE RATIO OF OSMOTIC DEHYDRATED MANGO PINEAPPLE
AND PAPAYA PRIOR TO DRYING USING NEAR INFRARED SPECTROSCOPY



By

MISS Hathaichanok POONGJUN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (FOOD TECHNOLOGY)
Department of FOOD TECHNOLOGY
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2017
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

57403222 : เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

คำสำคัญ : ผลไม้แช่อิ่ม, อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส, วิธีตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

นางสาว หทัยชนก พวงจันทร์: การพัฒนาสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับตรวจวัดอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในขึ้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่มก่อนการทำแห้งด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี

ประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกผลไม้เขตร้อนแช่อิ่มอบแห้งในปริมาณสูงติดอันดับ 1 ใน 10 ของโลก โดยผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่ส่งออกมากได้แก่ มะละกอ มะม่วงและสับปะรด เป็นต้น ดัชนีคุณภาพที่สำคัญในการตรวจสอบผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคือ อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส (total sugars to sucrose ratio, TS.S⁻¹) โดยขึ้นผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้งที่มีค่า TS.S⁻¹ ที่สูงมากเกินไปจะส่งผลให้ขึ้นผลไม้อบแห้งมีลักษณะเหนียวเยิ้ม อบรมแห้งหรือใช้เวลาในการอบ ในขณะที่ขึ้นผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้งที่มีค่า TS.S⁻¹ ต่ำมากเกินไปจะส่งผลให้ขึ้นผลไม้อบแห้งมีลักษณะแตกผลึกและแห้ง ในปัจจุบันการตรวจสอบค่า TS.S⁻¹ ใช้วิธีการไทเทรตร้อน (Lane Eynon method) หรือวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ซึ่งเป็นวิธีที่ทำลายตัวอย่าง ไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพได้ครบทุกชิ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared spectroscopy, NIRS) ในการทำนายค่า TS.S⁻¹ ในขึ้นผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้ง และการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับใช้ในการทำนายค่า TS.S⁻¹ ของผลไม้ทั้งสามชนิดที่ศึกษา โดยนำขึ้นมะม่วง สับปะรดและมะละกอ จำนวนชนิดละ 200 ชิ้น ไปทำการแช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลที่สถานะต่างๆ เพื่อให้มีค่า TS.S⁻¹ ในขึ้นผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้งที่แตกต่างกันในช่วง 1.03-3.99 จากนั้นนำขึ้นผลไม้ที่ผ่านการแช่อิ่มรวม 600 ชิ้น ไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงเลขคลื่น 12500-4000 cm⁻¹ ที่ความถี่ในการวัด 32 cm⁻¹ และจำนวนครั้งในการสแกนตัวอย่าง 64 ครั้ง ในโหมดการวัดแบบสะท้อนกลับ แล้วสร้างสมการทำนายค่าด้วยเทคนิคการทดสอบสมการภายนอกใช้สัดส่วน 70:30 สร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยกับค่าทางเคมีด้วยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) พบว่าสมการทำนาย TS.S⁻¹ ที่เหมาะสมในขึ้นมะม่วงและสับปะรดแช่อิ่มมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficients of determination, R²) เท่ากับ 0.77 และ 0.82 และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบสมการ (SEP) เท่ากับ 0.31 และ 0.10 และความผิดพลาดในการทำนาย (bias) เท่ากับ 0.02 และ -0.002 ตามลำดับ ในขณะที่สมการทำนาย TS.S⁻¹ ที่เหมาะสมในขึ้นมะละกอแช่อิ่มมีค่า R²

เท่ากับ 0.91 ค่า SEP เท่ากับ 0.17 และ bias เท่ากับ 0.01 สำหรับสมการทำนายทั่วไป สำหรับ $TS.S^{-1}$ ที่สร้างจากผลไม้แช่อิ่มสามชนิดมีค่า R^2 เท่ากับ 0.76 ค่า SEP เท่ากับ 0.27 และ bias เท่ากับ 0.03 จากนั้นทดสอบการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ด้วยตัวอย่างกลุ่มนอกโดยใช้มะม่วงแช่อิ่ม จำนวน 20 ชิ้น เพื่อทำนาย $TS.S^{-1}$ ด้วยสมการของมะม่วงแช่อิ่ม สับปะรดแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น เพื่อทำนายด้วยสมการของสับปะรดแช่อิ่ม และมะละกอแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น เพื่อทำนายด้วยสมการของมะละกอแช่อิ่มพบว่าร้อยละความถูกต้องโดยเฉลี่ยของการทำนายเท่ากับ 80, 70 และ 75 ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อใช้สมการทำนาย $TS.S^{-1}$ ทั่วไปที่สร้างจากข้อมูลของผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิดทดสอบ ตัวอย่างกลุ่มนอกของผลไม้ทั้งสามชนิดจำนวน 60 ชิ้นข้างต้นพบว่ามีร้อยละความถูกต้องโดยเฉลี่ยของการทำนายเท่ากับ 81.6 ดังนั้นเทคนิค NIRS สามารถใช้ติดตาม $TS.S^{-1}$ ในชิ้นผลไม้แช่อิ่มก่อนทำแห้งได้



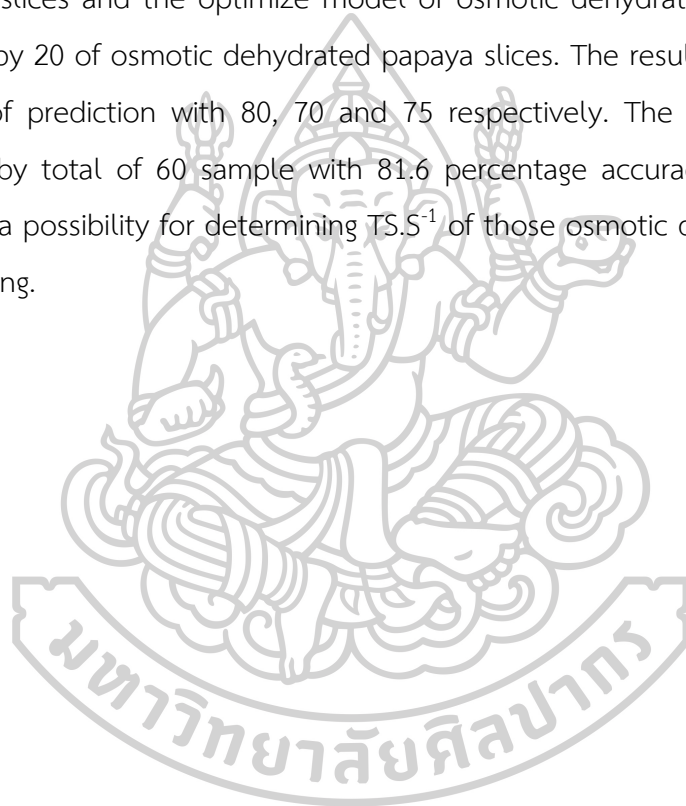
57403222 : Major (FOOD TECHNOLOGY)

Keyword : osmotic dehydrated fruits, total sugars to sucrose ratio, nondestructive

MISS HATHAICHANOK POONGJUN : DEVELOPMENT OF COMMON CALIBRATION MODEL FOR DETERMINING TOTAL SUGARS TO SUCROSE RATIO OF OSMOTIC DEHYDRATED MANGO PINEAPPLE AND PAPAYA PRIOR TO DRYING USING NEAR INFRARED SPECTROSCOPY THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR BUSARAKORN MAHAYOTHEE, Ph.D.

Thailand is a major manufacturer and exporter of dried tropical fruits especially papaya mango and pineapple. The total sugars to sucrose ratio ($TS.S^{-1}$) of osmotic dehydrated fruit is a crucial parameter, and it has been currently used for process quality control prior to convective drying by the industry. If the $TS.S^{-1}$ of osmotic dehydrated fruit slice is too high, the surface of dried product will be too sticky. On the other hand, if the $TS.S^{-1}$ is too low, the sugar crystallization can occur during storing. Generally, this ratio is being checked by using a conventional Lane-Eynon method and high performance liquid chromatography, which is invasive sample, the time consuming and has a high cost for the chemicals. The objective of this study was to destructive the possibility of using near infrared spectroscopy (NIRS) for determining $TS.S^{-1}$ of osmotic dehydrated mango, pineapple and papaya slices before drying. The total of 600 fruit slices were immersed in sugar solutions under different conditions for obtaining the $TS.S^{-1}$ in the ranges of 1.03-3.99. The fruit samples were rinsed by distill water before spectral measurement. The samples were measured diffuse reflectance spectra in the range of 12500-4000 cm^{-1} using FT-NIR spectrometer with resolution of 32 cm^{-1} and 64 number of scanning. Calibration and validation models were built by external group in 70:30. Moreover, calibration model was developed by applying partial least squares (PLS) regression using the average spectra data and reference measurement of $TS.S^{-1}$. The optimize model of osmotic dehydrated mango and pineapple slices showed satisfactory predictions as measured by coefficients of determination (R^2) = 0.77 and 0.82, standard error of prediction (SEP) = 0.31 and 0.10 and bias = 0.02 and -0.002 respectively. On the other hand the model in osmotic dehydrated papaya slices had R^2 = 0.91, SEP = 0.17

and bias = 0.01. The common calibration model developed from the combined sample set predicted $TS.S^{-1}$ in osmotic dehydrated mango pineapple and papaya slices with $R^2 = 0.76$, SEP = 0.27 and bias = 0.03. The best models were predicted by new sample including osmotic dehydrated mango pineapple and papaya slices of 20 slices per each. Calibration model of osmotic dehydrated mango was predicted by a total of 20 osmotic dehydrated mango slices. As same as calibration model of osmotic dehydrated pineapple slices was predicted by 20 of osmotic dehydrated pineapple slices and the optimize model of osmotic dehydrated papaya slices was predicted by 20 of osmotic dehydrated papaya slices. The result showed percentage accuracy of prediction with 80, 70 and 75 respectively. The common model was predicted by total of 60 sample with 81.6 percentage accuracy of prediction. The NIRS have a possibility for determining $TS.S^{-1}$ of those osmotic dehydrated fruit slices before drying.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ต้องกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี ผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาที่ดี แนวความคิดและแนวทางในการทำวิจัย ตรวจสอบเล่มวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ และดูแลในหลายๆด้านจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้ได้รับการจัดสรรทุนวิจัย จากโครงการส่งเสริมการวิจัยในระดับอุดมศึกษา (HERP) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ชื่อโครงการ “การพัฒนาสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับตรวจวัดอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในซีรัมมะม่วง สับปะรดและมะละกอแช่แข็งก่อนการทำแห้งด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านไกล์” ผ่านสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คุวิจิตรจารุ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำและความกรุณาในการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

หทัยชนก พวงจันทร์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	1
สารบัญภาพ.....	1
บทที่ 1 บทนำ.....	4
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	4
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	6
1.3 สมมุติฐาน.....	6
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	8
2.1 การผลิตผลไม้แช่อิ่ม.....	8
2.2 เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared spectroscopy, NIRS).....	14
2.3 การประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS ในการตรวจวัดคุณภาพและน้ำตาล.....	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 วัตถุประสงค์.....	28
3.2 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติก.....	29
3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	30
3.5 วิธีการทดลอง.....	32
3.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบสด.....	32

3.5.2 การเตรียมตัวอย่างผลไม้แช่อิ่ม	33
3.5.3 การเตรียมสารมาตรฐานและวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติก เพื่อวัดการ ดูดกลืนแสงขององค์ประกอบ.....	40
3.5.4 การศึกษาตำแหน่งการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานและวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียม สารละลายออสโมติก	40
3.5.5 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการติดตาม คุณภาพของผลไม้ภายหลังแช่อิ่ม	41
3.5.5.1 การวัดสเปกตรัมของมะม่วง สับปะรดและมะละกอภายหลังแช่อิ่ม	41
3.5.5.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่อิ่ม	42
3.5.5.3 การปรับแต่งสเปกตรัม.....	43
3.5.5.4 การสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายคุณภาพในชั้นมะม่วง สับปะรดและ มะละกอภายหลังแช่อิ่ม	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	49
4.1 คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบ.....	49
4.2 คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่อิ่ม.....	52
4.3 ผลการศึกษาตำแหน่งการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานและวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียม สารละลายออสโมติก.....	54
4.4 ผลของใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการติดตามคุณภาพของผลไม้ภายหลัง แช่อิ่ม	58
4.4.1 ลักษณะเส้นสเปกตรัมและการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมของมะม่วง สับปะรด และมะละกอ ภายหลังแช่อิ่ม.....	58
4.4.2 ผลการสร้างสมการเทียบมาตรฐานของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่อิ่ม	63
4.4.2.1 ปริมาณความชื้น (MC).....	63
● การสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณความชื้นด้วยวิธี PLSR.....	63
4.4.2.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด (TA).....	74

- การสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดด้วยวิธี PLSR..... 74
- 4.4.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS)..... 84
- การสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยวิธี PLSR..... 84
- 4.4.2.4 อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส (TS.S⁻¹)..... 95
- การสร้างสมการเทียบมาตรฐานอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยวิธี PLSR 95
- การสร้างสมการเทียบมาตรฐานอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยวิธี MLR..... 110
- บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 122
- รายการอ้างอิง 124
- ภาคผนวก ก..... 133
- การวิเคราะห์และคำนวณความถูกต้องของสมการมาตรฐาน..... 133
- ภาคผนวก ข..... 136
- ตรวจสอบความถูกต้องของสมการเทียบมาตรฐาน..... 136
- ภาคผนวก ค..... 151
- การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี 151
- ภาคผนวก ง 158
- ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสในผลไม้แช่อิ่ม..... 158
- ภาคผนวก จ..... 170
- ลักษณะมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง..... 170
- ภาคผนวก ฉ..... 183
- คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบสด..... 183
- ประวัติผู้เขียน..... 187

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 การดูดกลืนแสงของสสาร ที่ความยาวคลื่นต่างๆ	15
ตารางที่ 1 การดูดกลืนแสงของสสาร ที่ความยาวคลื่นต่างๆ (ต่อ).....	16
ตารางที่ 1 การดูดกลืนแสงของสสาร ที่ความยาวคลื่นต่างๆ (ต่อ).....	17
ตารางที่ 2 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R ²).....	20
ตารางที่ 3 งานวิจัยที่แสดงถึงความสามารถของเทคนิค NIRS ในการติดตามและตรวจสอบน้ำตาล และองค์ประกอบอื่นๆของผัก และผลไม้	25
ตารางที่ 4 จำนวนรุ่น และเวลาที่ซื้อผลไม้ที่ใช้ในการศึกษา	28
ตารางที่ 5 สภาวะของสารละลายออสโมติกสำหรับการแช่ส้มมะม่วงจำนวน 200 ชิ้น	37
ตารางที่ 6 สภาวะของสารละลายออสโมติกสำหรับการแช่ส้มสับปะรดจำนวน 200 ชิ้น.....	38
ตารางที่ 7 สภาวะของสารละลายออสโมติกสำหรับการแช่ส้มมะละกอจำนวน 200 ชิ้น	39
ตารางที่ 8 สมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายคุณภาพในชั้นผลไม้ภายหลังแช่ส้ม.....	45
ตารางที่ 9 คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอสตจำนวนอย่างละ 20 ชิ้น	50
ตารางที่ 10 คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้ม.....	53
ตารางที่ 11 ค่าสถิติของปริมาณความชื้นของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้มสำหรับสร้างสมการเทียบมาตรฐานและทวนสอบสมการด้วยเทคนิค NIRS.....	66
ตารางที่ 12 ค่าทางสถิติของสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบปริมาณความชื้นของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้ม	68
ตารางที่ 13 การทดสอบสมการเทียบมาตรฐานการทำนายปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน ISO 12099.....	73
ตารางที่ 14 ค่าสถิติของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้มสำหรับสร้างสมการเทียบมาตรฐาน และทวนสอบสมการด้วยเทคนิค NIRS.....	76
ตารางที่ 15 ค่าทางสถิติของสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด (ร้อยละ) ของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้ม.....	78

ตารางที่ 16 การทดสอบสมการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดตามมาตรฐาน ISO 12099.83	
ตารางที่ 17 ค่าสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วง สับปะรด และมะละกอ ภายหลังแช่ส้ม.....	87
ตารางที่ 18 ค่าทางสถิติของสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทั้งหมดของมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่ส้มภายหลังแช่ส้ม	89
ตารางที่ 19 การทดสอบสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดตามมาตรฐาน ISO 12099	94
ตารางที่ 20 ค่าสถิติของปริมาณอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสของมะม่วง สับปะรด และ มะละกอภายหลังแช่ส้มสำหรับสร้างสมการเทียบมาตรฐานและทวนสอบสมการด้วยเทคนิค NIRS..	98
ตารางที่ 21 ค่าทางสถิติของสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อ น้ำตาลซูโครส ของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้ม.....	100
ตารางที่ 22 การทดสอบสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสตามมาตรฐาน ISO 12099.....	109
ตารางที่ 23 ค่าทางสถิติของสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อ น้ำตาลซูโครสของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้ม	112
ตารางที่ 24 การทดสอบสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสตามมาตรฐาน ISO 12099.....	121
ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ใน สมการรวมผลไม้สามชนิดแช่ส้ม.....	137
ตารางที่ 26 สรุปการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ในสมการมะม่วงแช่ส้มจำนวน 20 ชิ้น	138
ตารางที่ 27 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาล ซูโครสในสมการมะม่วงแช่ส้มจำนวน 20 ชิ้น ด้วย paired t-test	139
ตารางที่ 28 การเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ใน สมการของสับปะรดแช่ส้มจำนวน 20 ชิ้น.....	140
ตารางที่ 29 สรุปการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ในสมการสับปะรดแช่ส้มจำนวน 20 ชิ้น	141

ตารางที่ 30 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการสับประรดแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น ด้วย paired t-test	142
ตารางที่ 31 การเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการของขึ้นมะละกอแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น	143
ตารางที่ 32 สรุปการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการมะละกอแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น	144
ตารางที่ 33 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการมะละกอแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น ด้วย paired t-test	145
ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการของขึ้นผลไม้แช่อิ่มสามชนิดจำนวน 60 ชิ้น	146
ตารางที่ 35 สรุปการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการผลไม้แช่อิ่มสามชนิดจำนวน 60 ชิ้น	150
ตารางที่ 36 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการผลไม้แช่อิ่มสามชนิดจำนวน 60 ชิ้นด้วย paired t-test	150
ตารางที่ 37 พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานของน้ำตาลที่ความเข้มข้นต่างๆสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในชิ้นสับประรดแช่อิ่ม	153
ตารางที่ 38 พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานของน้ำตาลที่ความเข้มข้นต่างๆสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในชิ้นมะม่วงและมะละกอแช่อิ่ม	155
ตารางที่ 39 ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และ ฟรุคโตสในชิ้นมะม่วงแช่อิ่มจำนวน 200 ชิ้น	158
ตารางที่ 40 ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสในชิ้นสับประรดแช่อิ่มจำนวน 200 ชิ้น	162
ตารางที่ 41 ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสในชิ้นมะละกอแช่อิ่มจำนวน 200 ชิ้น	166
ตารางที่ 42 ลักษณะของขึ้นมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งจำนวน 20 สภาวะ	170
ตารางที่ 43 ลักษณะของชิ้นสับประรดแช่อิ่มอบแห้งจำนวน 20 สภาวะ	175
ตารางที่ 44 ลักษณะของขึ้นมะละกอแช่อิ่มอบแห้งจำนวน 20 สภาวะ	179
ตารางที่ 45 คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับประรด และมะละกอสด จำนวนชนิดละ 20 ชิ้น	183

ตารางที่ 46 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่า TSS/TA ของมะม่วงสดและสับปะรดสดจำนวน 20 ชิ้น ด้วย paired t-test	186
ตารางที่ 47 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่า TSS/TA ของมะม่วงสดและมะละกอสดจำนวน 20 ชิ้น ด้วย paired t-test	186

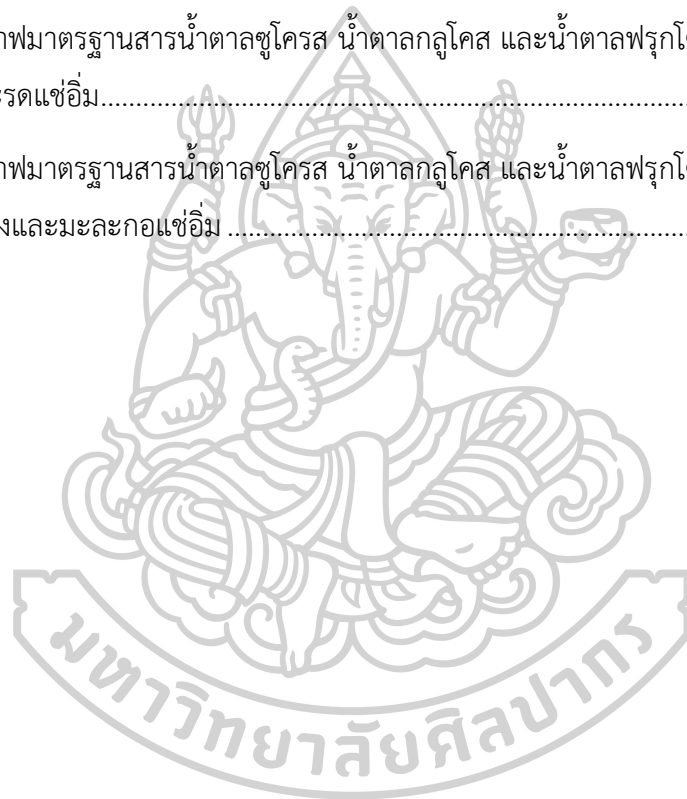


สารบัญญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ปริมาณการส่งออกมะม่วงและสับปะรดอบแห้งในปี พ.ศ.2555-2560	8
ภาพที่ 2 กระบวนการแช่อบผลไม้	9
ภาพที่ 3 การไฮโดรไลซิสของน้ำตาลซูโครส	12
ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์แช่อบแห้งที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค	13
ภาพที่ 5 องค์ประกอบของเครื่อง FT-NIR spectrometer (รุ่น MPA S/N2197, Bruker Optics, Germany)	18
ภาพที่ 6 ขั้นตอนการเตรียมผลไม้แช่อบ	36
ภาพที่ 7 การวัดสเปกตรัมตัวอย่างมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อบก่อนการทำแห้งด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer	42
ภาพที่ 8 ขั้นตอนการสร้างสมการเทียบมาตรฐานคุณภาพผลไม้แช่อบก่อนการทำแห้งด้วยเทคนิค NIRS	48
ภาพที่ 9 การกระจายตัวคุณภาพของมะม่วง สับปะรด และมะละกอ	51
ภาพที่ 10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIRS ของตัวอย่างสารมาตรฐานน้ำตาลซูโครสความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 สารมาตรฐานน้ำตาลกลูโคสความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 และสารมาตรฐานน้ำตาลฟรุกโตสความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.0	55
ภาพที่ 11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIRS ของตัวอย่างสารมาตรฐานน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตสแบบผงที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสอง	55
ภาพที่ 12 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIRS ของวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในสารละลายออสโมติก ...	57
ภาพที่ 13 เส้นสเปกตรัมเฉลี่ยของมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อบก่อนการทำแห้งที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิค NIR	60
ภาพที่ 14 เส้นสเปกตรัมของมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อบก่อนการทำแห้งที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิค NIRS และปรับแต่งด้วยวิธีการคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับสอง	62
ภาพที่ 15 การกระจายตัวของปริมาณความชื้นของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่อบ (ง)	67

ภาพที่ 16 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายปริมาณความชื้นของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่เย็น (ง)	70
ภาพที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐานสำหรับการทำนายปริมาณความชื้นของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่เย็น (ง).....	72
ภาพที่ 18 การกระจายตัวของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่เย็น (ง)	77
ภาพที่ 19 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่เย็น (ง).....	80
ภาพที่ 20 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่เย็น (ง).....	82
ภาพที่ 21 การกระจายตัวของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่เย็น (ง)	88
ภาพที่ 22 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่เย็น (ง).....	91
ภาพที่ 23 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่เย็น (ง).....	93
ภาพที่ 24 การกระจายตัวของอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่เย็น (ง)	99
ภาพที่ 25 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยเทคนิค PLS ของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ(ค) ผลไม้รวมทั้ง 3 ชนิด (ง) สับปะรดและมะละกอ (จ) มะม่วงและมะละกอ (ฉ) และมะม่วงและสับปะรดภายหลังแช่เย็น (ช).....	104
ภาพที่ 26 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยเทคนิค PLS ของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ(ค) ผลไม้รวมทั้ง 3 ชนิด (ง) สับปะรดและมะละกอ (จ) มะม่วงและมะละกอ (ฉ) และมะม่วงและสับปะรดภายหลังแช่เย็น (ช).....	108
ภาพที่ 27 สัมประสิทธิ์การถดถอยอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสของสเปกตรัมผลไม้ภายหลังแช่เย็นทั้งสามชนิด.....	111

ภาพที่ 28 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ด้วยเทคนิค MLR ของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ(ค) ผลไม้รวมทั้ง 3 ชนิด (ง) สับปะรดและมะละกอ (จ) มะม่วงและมะละกอ (ฉ) และมะม่วงและสับปะรดภายหลังแช่อิ่ม (ช).....	116
ภาพที่ 29 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยเทคนิค MLR ของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ(ค) ผลไม้รวมทั้ง 3 ชนิด (ง) สับปะรดและมะละกอ (จ) มะม่วงและมะละกอ (ฉ) และมะม่วงและสับปะรดภายหลังแช่อิ่ม (ช).....	120
ภาพที่ 30 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส	152
ภาพที่ 30 กราฟมาตรฐานสารน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุคโตสสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างสับปะรดแช่อิ่ม.....	154
ภาพที่ 31 กราฟมาตรฐานสารน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุคโตสสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างมะม่วงและมะละกอแช่อิ่ม	157



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีอัตราการส่งออกมะม่วงและสับปะรดอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2560 มีการส่งออกมะม่วงและสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งเป็นจำนวน 1,603 ตัน และ 592 ตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นสูงกว่าปี พ.ศ. 2559 มากถึงร้อยละ 54.83 และ 38.25 ตามลำดับ ประเทศไทยส่งออกมะม่วงอบแห้งไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือสาธารณรัฐประชาชนจีน ในขณะที่ส่งออกสับปะรดอบแห้งไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีนมากที่สุด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561)

การผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจะนำขึ้นผลไม้ไปแช่ในสารละลายออสโมติกซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลจนได้ผลไม้แช่อิ่มจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการอบแห้งขึ้นผลไม้แช่อิ่ม (Amami และคณะ, 2017; da Costa Ribeiro และคณะ, 2016) จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 15-17 (Karathanos และ Belessiotis, 1999) และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.6 (Bruijn และคณะ, 2015) เรียกผลิตภัณฑ์สุดท้ายว่าผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้น้ำตาลเช่น น้ำตาลทราย น้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลกลูโคส กลีเซอรินและซอร์บิทอล (Barman และ Badwaik, 2017; Torres และคณะ, 2015) ในการเตรียมสารละลายออสโมติกและยังมีการปรับกรด (Contreras และ Smyrl, 1981) และให้ความร้อนซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของสารละลายออสโมติกและขึ้นผลไม้แช่อิ่ม (Ahmed และคณะ, 2016; Gamboa-Santos และคณะ, 2014) อัตราส่วนของน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส (total sugars to sucrose ratio, TS.S⁻¹) เป็นดัชนีที่สำคัญที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง เพราะสามารถบ่งชี้คุณภาพของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งได้ เช่นการตกผลึกของน้ำตาลและความเหนียวเยิ้มบริเวณผิวหน้าของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค วิธีการวิเคราะห์ค่า TS.S⁻¹ ทั่วไปได้แก่ การไทเทรตร้อน (Lane Eynon method) ตามวิธี (A.O.A.C, 2000) ซึ่งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการไทเทรตสารเคมีขณะต้ม

เดือด ใช้ระยะเวลาานาน มีการเตรียมตัวอย่างและสารเคมี และเทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography, HPLC) มีค่าใช้จ่ายของสารเคมีและเครื่องมือราคาสูง ไม่สามารถตรวจสอบได้ครบทุกชิ้น

เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared spectroscopy, NIRS) เป็นเทคนิคตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายตัวอย่างที่ถูกนำมาศึกษาเพื่อใช้ในการติดตามปริมาณน้ำตาล เช่น Niu และคณะ (2012) ใช้เทคนิค NIRS ในการติดตามปริมาณน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาล ฟรุคโตส ในผงรากบัวที่เลขคลื่น $12432-4000\text{ cm}^{-1}$ ด้วยรูปแบบการวัดแบบสะท้อนกลับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) ของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสและปริมาณน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 0.977 และ 0.829 และค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (root mean square error of prediction, RMSEP) เท่ากับร้อยละ 0.115 และ 0.812 เช่นเดียวกับ Simeone และคณะ (2017) ทำการติดตามน้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุคโตสและน้ำตาลกลูโคสในน้ำข้าวฟ่างหวานที่เลขคลื่น $10000-4000\text{ cm}^{-1}$ ด้วยรูปแบบการวัดส่องผ่านสะท้อนกลับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficients of determination, R^2) ของสมการทำนายน้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุคโตสและน้ำตาลกลูโคสในน้ำข้าวเท่ากับ 0.98, 0.94 และ 0.94 และค่า RMSEP เท่ากับ 4, 1 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีความสามารถในการทำนายค่าที่ดี นอกจากนี้ยังมีการติดตามปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในกีวีแช่ด้วยเทคนิค NIRS พบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.91 และค่า RMSEP เท่ากับ 1.28 อังศาบริกซ์ (Santagapita และคณะ, 2016) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการการใช้เทคนิค NIRS ในการติดตามปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลไม้จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ แอปเปิล ลูกแพร์ และลูกพลับ (Jannok และคณะ, 2014) และในแอปเปิล ลูกพีช และลูกแพร์ (Liu และคณะ, 2015) ดังนั้นจะเห็นว่าเทคนิค NIRS มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ตรวจสอบค่า $\text{TS}\cdot\text{S}^{-1}$ ในมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่ก่อนการทำแห้ง และหากสามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานทั่วไป โดยรวมข้อมูลของผลไม้ทั้งสามชนิดที่ศึกษาสำหรับทำนายค่า $\text{TS}\cdot\text{S}^{-1}$ ได้ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อภาคอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจวัดอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณความชื้นในชั้นมะม่วง สับปะรดและมะละกอแช่ห่อก่อนการทำแห้ง

1.2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปที่สร้างจากข้อมูลของผลไม้แช่ห่อสามชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรดและมะละกอ ในการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณความชื้นของผลไม้แต่ละชนิด

1.3 สมมุติฐาน

น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสประกอบด้วยโมเลกุล C, H และ O ซึ่งมีความจำเพาะต่อการดูดกลืนของรังสีสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคนิคดังกล่าว ในการติดตามอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณความชื้นของผลไม้แช่ห่อก่อนการทำแห้ง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้คือมะม่วงพันธุ์แก้วขมิ้น สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียเนื้อ 2 และมะละกอพันธุ์แขกดำ

1.4.2 ดัชนีคุณภาพของผลไม้แช่ห่อก่อนการทำแห้งที่ศึกษาคือ อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณความชื้น

1.4.3 วัดสเปกตรัม NIRS ด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในช่วงเลขคลื่น 12500-4000 cm^{-1} และรูปแบบการวัดคือแบบสะท้อนกลับ

1.4.4 วิเคราะห์มาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส เพื่อคำนวณค่าอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสได้แก่การใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

1.4.5 พัฒนาสมการเทียบมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัดอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณความชื้นในชั้นผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้งสำหรับผลไม้แต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอ

1.4.6 พัฒนาสมการเทียบมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัดอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณความชื้นในชั้นผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้ง โดยใช้ข้อมูลจากผลไม้ทั้งสามชนิด

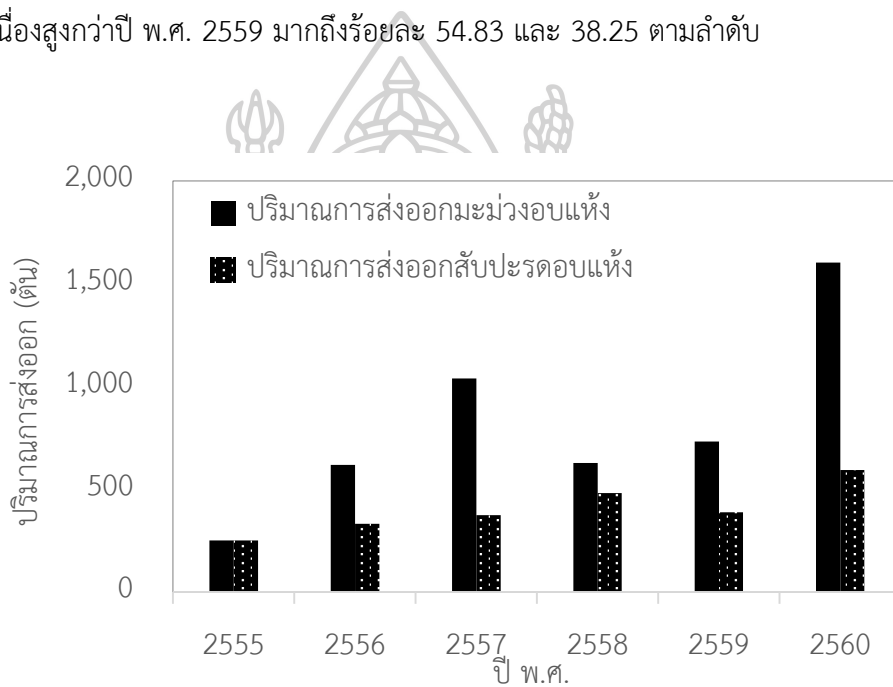
1.4.7 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สมการทำนายที่ดีที่สุดจากข้อมูลผลไม้รวมทั้งสามชนิดในการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณความชื้นของมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

สถิติการส่งออกผลไม้อบแห้งในปี พ.ศ. 2560 มีอัตราการส่งออกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2559 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) โดยเฉพาะมะม่วงและสับปะรดอบแห้งที่มีปริมาณการส่งออกดังภาพที่ 1 ที่พบว่าปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีการส่งออกมะม่วงและสับปะรดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสูงกว่าปี พ.ศ. 2559 มากถึงร้อยละ 54.83 และ 38.25 ตามลำดับ

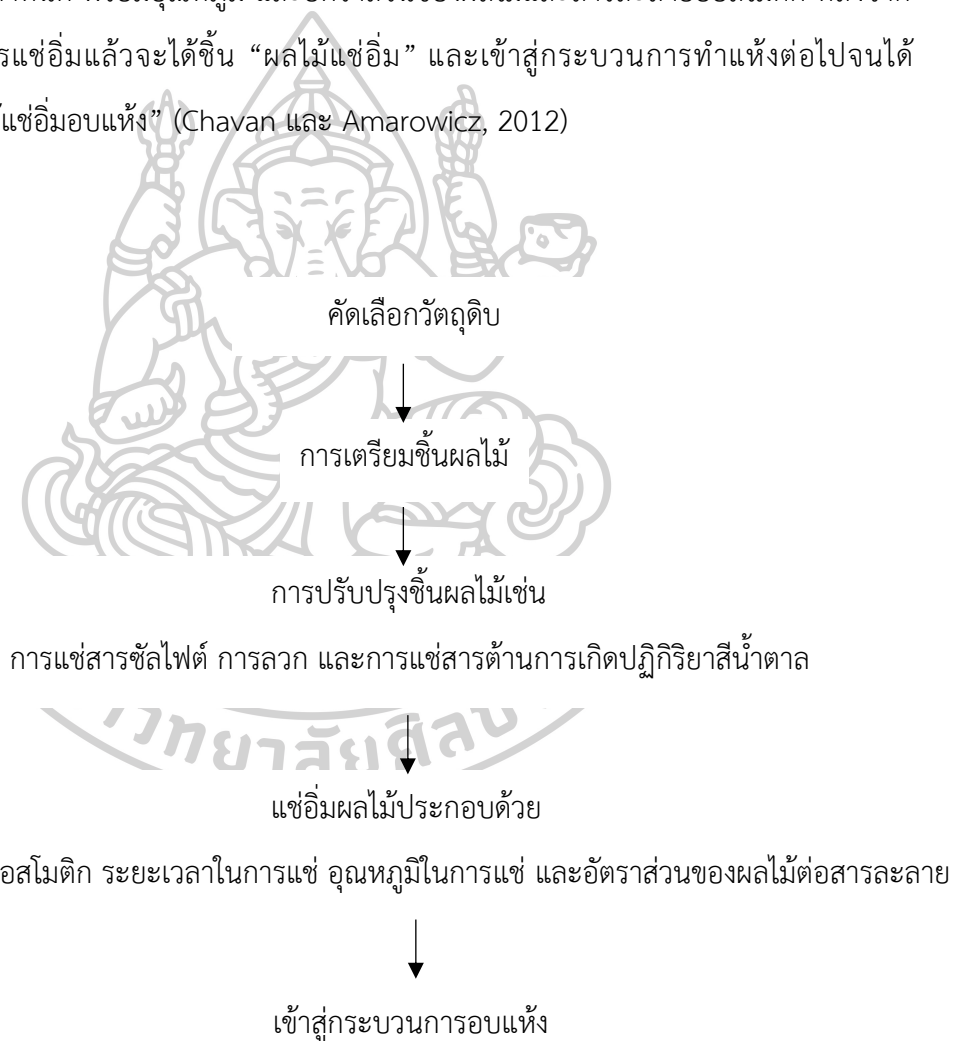


ภาพที่ 1 ปริมาณการส่งออกมะม่วงและสับปะรดอบแห้งในปี พ.ศ.2555-2560
ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561)

2.1 การผลิตผลไม้แช่อิ่ม

การแช่อิ่มเป็นการแช่ชิ้นผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีน้ำตาล กรดและสารให้ความหวานเป็นองค์ประกอบ จากนั้นจะเกิดความแตกต่างของแรงดันระหว่างชิ้นผลไม้และสารละลาย

ออสโมติกงานทำให้ชั้นผลไม้เกิดการสูญเสียน้ำจนกระทั่งผลไม้มีปริมาณน้ำตาลหรือของแข็งที่ได้รับเพิ่มขึ้น (Ahmed และคณะ, 2016) ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการแช่อิ่มผลไม้โดยเริ่มจากการคัดเลือกผลไม้ที่มีระดับการสุกที่เหมาะสมจากนั้นล้างทำความสะอาดและเข้าสู่กระบวนการเตรียมชั้นผลไม้คือการหั่นเป็นชิ้นหรือรูปทรงที่ต้องการ (Madamba และ Lopez, 2002) พร้อมทั้งส่งชั้นผลไม้เข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพเช่นการแช่สารซัลไฟต์ การลวกและการแช่สารต้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล นำชั้นผลไม้เข้าสู่กระบวนการแช่อิ่มโดยแช่ชั้นผลไม้ลงสารละลายออสโมติกที่มีความหวานตามระยะเวลาที่กำหนด พร้อมอุณหภูมิ และอัตราส่วนของผลไม้และสารละลายออสโมติก หลังจากผ่านกระบวนการแช่อิ่มแล้วจะได้ชั้น “ผลไม้แช่อิ่ม” และเข้าสู่กระบวนการทำแห้งต่อไปจนได้ผลิตภัณฑ์ “ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง” (Chavan และ Amarowicz, 2012)



ภาพที่ 2 กระบวนการแช่อิ่มผลไม้
ที่มา: Chavan และ Amarowicz (2012)

2.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสารละลายออสโมติกและคุณภาพของชิ้นผลไม้แช่อิ่ม

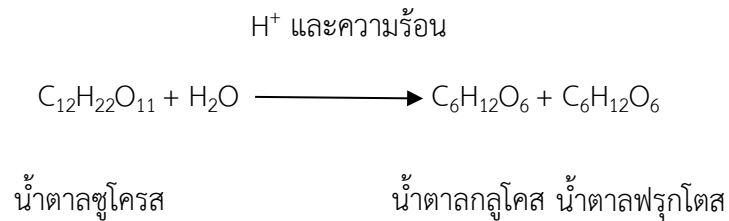
ผลไม้ที่ผ่านการแช่อิ่มจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง รสชาติ และเนื้อสัมผัสเนื่องจากได้รับอิทธิพลมาจากชนิดของตัวถูกละลาย ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก การให้ความร้อนแก่สารละลาย การปรับกรดในสารละลายออสโมติก อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก และระยะเวลาในการแช่ (Ahmed และคณะ, 2016; Chiralt และ Talens, 2005) ชนิดของตัวถูกละลายที่นิยมใช้ในการแช่อิ่มได้แก่น้ำตาลทราย ฟรุคโตส กลูโคส กลีเซอริน ซอร์บิทอล ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ และเกลือ เป็นต้น (Chavan และ Amarowicz, 2012; Torres และคณะ, 2015) Matussek และคณะ (2008) ทำการศึกษาเปรียบเทียบตัวถูกละลายระหว่างฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และน้ำตาลซูโครสในการแช่อิ่มแอปเปิล พบว่าที่การใช้น้ำตาลซูโครสมีปริมาณของแข็งที่ได้รับสูงกว่าการใช้ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ระดับความหวานและระยะเวลาเท่ากัน เนื่องจากฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุล 3-9 โมเลกุลซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าน้ำตาลซูโครสที่เป็นไดแซ็กคาไรด์ส่งผลให้เกิดการแพร่ที่ช้ากว่าน้ำตาลซูโครส เช่นเดียวกับ Ditudompo และ Pittarate (2007) ได้ทำการศึกษาแช่มะเขือเทศในสารละลายออสโมติกจากมอลทิทอล และสารละลายออสโมติกจากซอร์บิทอลที่ระดับความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ พบว่าการใช้มอลทิทอลทำให้มะเขือเทศมีปริมาณการสูญเสียน้ำมากที่สุด และมะเขือเทศที่แช่ในสารละลายออสโมติกจากซอร์บิทอลมีปริมาณของแข็งที่ได้รับเพิ่มขึ้นมากที่สุด เนื่องจากซอร์บิทอลมีน้ำหนักโมเลกุลน้อย ทำให้เกิดการแพร่ได้ดีมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นในชิ้นมะเขือเทศได้มาก ดังนั้นการเลือกใช้ตัวน้ำตาลหรือสารให้ความหวานชนิดต่างๆ จะส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพ และรสชาติของผลไม้แช่อิ่ม

ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกส่งผลต่อกระบวนการถ่ายโอนมวลสารระหว่างการแช่อิ่ม จากการศึกษาของ Mundada และคณะ (2010) พบว่าการถ่ายโอนมวลของทับทิมที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับได้แก่ 40 50 และ 60 องศาบริกซ์นั้น ทับทิมที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่ระดับความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ มีการสูญเสียน้ำและปริมาณของแข็งที่ได้รับสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทับทิมที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 40 และ 50 องศาบริกซ์ เนื่องจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงเกิดความแตกต่างของแรงดันระหว่างชิ้นผลไม้และสารละลายออสโมติกส่งผลให้ผลไม้ที่ถูกแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงเกิดการแพร่ได้มากกว่าสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นต่ำ ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกที่สูงอาจทำให้เกิดปัญหาเรื่องความ

หนักของสารละลาย ทำให้ตัวถูกละลายหรือน้ำตาลเกิดการเคลื่อนที่ได้ช้าและไปเคลือบบริเวณผิวหน้าของผลไม้ ทำให้ไม่เกิดการถ่ายโอนมวล (Corrêa และคณะ, 2010)

การลวกเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สามารถช่วยเร่งกระบวนการการแพร่ของตัวถูกละลายเข้าสู่ชิ้นผลไม้ได้ Escobar และคณะ (2007) ทำการศึกษาอิทธิพลของการลวกแครอทต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและน้ำตาลซูโครสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วินาที และเปรียบเทียบกับแครอทที่ไม่ผ่านการลวก พบว่าแครอทที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วินาที ทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและน้ำตาลสูงกว่าสภาวะอื่นๆ เนื่องจากการลวกทำให้เซลล์เนื้อเยื่อถูกทำลายและเกิดการสูญเสียน้ำตาล (กาแลคโตสและอาราบินอส) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเพคตินที่ผนังเซลล์ ส่งผลให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงสามารถถ่ายเทมวลได้มากขึ้น ดังนั้นการให้ความร้อนแก่ชิ้นผลไม้ทำให้เนื้อเยื่อฝักและผลไม้อ่อนตัวส่งผลที่ดีต่อการเป็นเยื่อเลือกผ่านเพิ่มความสามารถในการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์และทำให้ตัวถูกละลายจากสารละลายออสโมติกสามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ได้มากขึ้น

กรดส่งผลต่อการแตกตัวของน้ำตาลซูโครสที่เป็นโมเลกุลคู่ให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ได้แก่ น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เมื่อสารละลายออสโมติกมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงจะส่งผลต่อคุณภาพของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง จากการศึกษาของ Bolin และคณะ (1983) พบว่าแอปเปิ้ลที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสโดยการใช้น้ำเชื่อมจากน้ำตาลซูโครสที่ระดับความหวาน 70 องศาบริกซ์ ซ้ำเป็นจำนวน 5 รอบ มีปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ลดลง และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นทุกรอบของการใช้น้ำเชื่อม ทั้งนี้เกิดจากในกระบวนการออสโมซิส กรดจากแอปเปิ้ลถูกปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายออสโมติกจนเป็นตัวเร่งทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำตาลซูโครส ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การไฮโดรไลซิสของน้ำตาลซูโครส

ที่มา: Nasef และคณะ (2005)

ความเป็นกรดยังส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส จากการศึกษาของ Contreras และ Smyrl (1981) พบว่าแอปเปิลที่แช่ในสารละลายน้ำเชื่อมข้าวโพดที่ความเป็นกรดหรือ pH เท่ากับ 3 มีปริมาณการสูญเสียน้ำมากที่สุด และเมื่อนำขึ้นแอปเปิลแช่ในสารละลายที่ pH เท่ากับ 2 พบว่าแอปเปิลมีความนุ่มซึ่งอาจเกิดจากการย่อยของเพคติน

อุณหภูมิคือปัจจัยที่สำคัญสำหรับการถ่ายโอนมวลสาร เพราะอุณหภูมิจะเร่งการสูญเสียน้ำของชิ้นอาหาร (Torres และคณะ, 2015) อุณหภูมิของสารละลายออสโมติกที่สูงส่งผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ที่จะอ่อนตัวลง ทำให้การแพร่ผ่านของน้ำและตัวถูกละลายเป็นไปได้ง่ายกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลให้เซลล์เมมเบรนของชิ้นอาหารได้รับความเสียหาย เช่นเดียวกับแอปเปิลที่แช่สารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 30 และ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อปริมาณของแข็งที่ได้รับที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับแอปเปิลที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการพองตัวของเซลล์เมมเบรนและอิทธิพลของ plasticizing ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์มากขึ้นสามารถแพร่ผ่านได้มากขึ้น อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงมากกว่า 60 องศาเซลเซียส ยังทำลายเนื้อเยื่อของผักและผลไม้อีกด้วย (Chavan และ Amarowicz, 2012)

2.1.2 คุณภาพของชิ้นผลไม้แช่อิ่ม

ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสารละลายออสโมติกและคุณภาพของชิ้นผลไม้อบแห้ง โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจะทำการตรวจวัดอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในชิ้นผลไม้หลังผ่านการแช่อิ่ม เพื่อควบคุมผลิตภัณฑ์แช่อิ่มอบแห้งให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสไม่ควรต่ำกว่า 2.0 เพราะจะส่งผลให้ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเกิดการตกผลึกบริเวณผิวหน้าของชิ้นผลไม้ และในขณะเดียวกันถ้าอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสสูงกว่า 2.5 ส่งผลให้ชิ้นผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีความเหนียวเหนอะเพราะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มาก ใช้เวลาในการทำแห้งนาน ภาพที่ 4 คุณภาพที่สำคัญของผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้งซึ่งคุณลักษณะทั้งสองอย่างของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค คุณภาพของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่ผู้บริโภคมองรับและเป็นไปตามกฎหมายคือชิ้นผลไม้แช่อิ่มอบแห้งต้องมีความนุ่ม ไม่แข็งกระด้าง ผิวหน้าแห้ง ไม่เกาะติดกัน ไม่มีน้ำตาลเหนียวเยิ้มในภาชนะ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ของน้ำหนักอบแห้งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องผลไม้อบแห้ง, มพช.๑๓๖/๒๕๕๖ ดังนั้นการตรวจวัดค่า $TS.S^{-1}$ ในผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้งจึงมีความสำคัญมากต่อการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง



ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์แช่อิ่มอบแห้งที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

แต่การตรวจวัดดัชนีคุณภาพดังกล่าวที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่ การไทเทรตร้อน หรือ Lane Eynon method ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์นาน ใช้สารเคมีมาก ต้องอาศัยผู้ชำนาญในการวิเคราะห์ และมีความอันตรายจากการไทเทรตสารขณะต้มเดือด

2.2 เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared spectroscopy, NIRS)

เทคนิค NIRS เป็นเทคนิคที่อาศัยการตรวจวัดปริมาณรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร ($12500-4000\text{ cm}^{-1}$) อาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนในพันธะของโมเลกุลสารตัวอย่าง โดยเมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังตัวอย่าง สารจะเกิดการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูงในการสั่นของพันธะต่างๆ เช่น C-H, O-H, S-H, และ N-H เป็นต้น ซึ่งเป็นโมเลกุลหลักของสารอินทรีย์ โดยการสั่นจะเกิดขึ้นที่ช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันไป ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชันตารางที่ 1 ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลจะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้ ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติ เปลี่ยนโมเลกุลจากสภาวะพื้น (vibration ground state) ไปเป็นสภาวะกระตุ้นแบบข้ามขั้น (Excited vibration level) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้าไปออกมาในรูปพลังงานความร้อน (Nicolai และคณะ, 2007; Xiaowei และคณะ, 2014)

ตารางที่ 1 การดูดกลืนแสงของสสาร ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

โมเลกุล	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	รายการอ้างอิง	
น้ำ	10309	970	Huang และคณะ (2018) Nordey และคณะ (2017) Marques และคณะ (2016) Bakier (2008)	
	7142	1400	Rambla และคณะ (1997)	
	5128	1950	Marques และคณะ (2016) Rambla และคณะ (1997)	
	6896	1450	Shafiee และ Minaei (2018) Nordey และคณะ (2017) Marques และคณะ (2016)	
	5168	1935	Niu และคณะ (2012)	
	8403 6898 5154	1190	Bakier (2008)	
	10200 8300 6800 5150	980 1205 1471 1942	Collell และคณะ (2011)	
	น้ำตาลกลูโคส	6301	1587	Rambla และคณะ (1997)
		4714	2121	Bakier (2008)
		4403	2271	
6757		1480	Niu และคณะ (2012)	

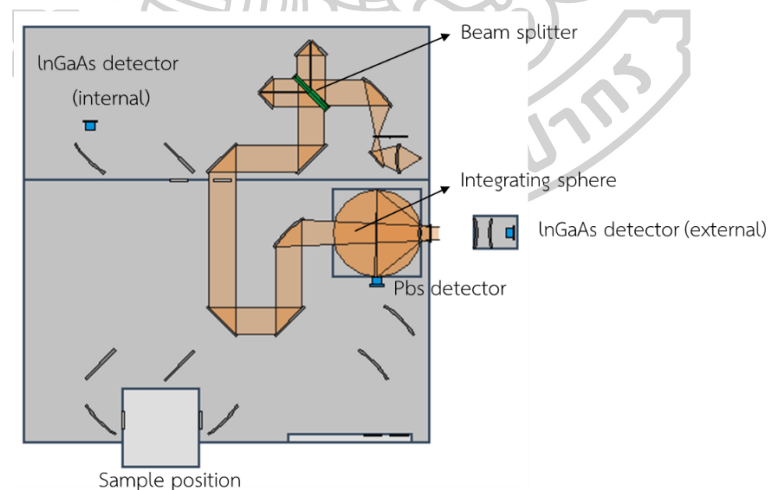
ตารางที่ 2 การดูดกลืนแสงของสสาร ที่ความยาวคลื่นต่างๆ (ต่อ)

โมเลกุล	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	รายการอ้างอิง
น้ำตาลฟรุกโตส	6317	1583	Rambla และคณะ (1997) Bakier (2008)
	10351-10288	966-972	Delwiche และคณะ (2008)
	10526-10416	950-960	
	4710 4403 4832	2123 2271 2069	Rambla และคณะ (1997) Bakier (2008)
น้ำตาลซูโครส	6313	1584	Rambla และคณะ (1997)
	4716 4397	2120 2274	Delwiche และคณะ (2008)
	10548-10460	948-956	
ปริมาณของแข็ง ที่ละลายน้ำได้ ทั้งหมด	11037	906	Jannok และคณะ (2014)
	10989	910	
	10964	912	
	10893	918	
	8403	1190	de Oliveira และคณะ (2014)
	11415	876	
	11235	890	Liu และคณะ (2015)
11111	900		

ตารางที่ 3 การดูดกลืนแสงของสสาร ที่ความยาวคลื่นต่างๆ (ต่อ)

โมเลกุล	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	รายการอ้างอิง
ปริมาณของแข็ง ที่ละลายน้ำได้ ทั้งหมด	11037	906	Jannok และคณะ (2014)
	10989	910	
	10964	912	
	10893	918	
	8403	1190	de Oliveira และคณะ (2014)
	11415	876	Liu และคณะ (2015)
	11235	890	
	11111	900	
	4432	2256	Sinelli และคณะ (2011)
	4902	2040	
5269	1898		
4500-4100	2222-2439		
7147	1399		
4277	2338		
4485-4100	2230-2439		
4716-4397	2120-2274	Rambla และคณะ (1997)	
6320-6300	1582-1587		
แป้ง	6330	1580	Niu และคณะ (2012)
	4762	2100	
	10055	994	
เซลลูโลส	8320	1202	
	4308	2321	
	5627	1777	

จากภาพที่ 5 จะพบว่าแหล่งกำเนิดแสง (light source) ปล่อยแสงที่เป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ผ่านกระจกแบ่งแสง (beam splitter) ซึ่งเป็นกระจกที่ยอมให้แสงผ่านและสะท้อนได้ส่วนหนึ่ง ซึ่งลำแสงจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเดินทางไปยังระบบเชิงแสง (optical system) จากนั้นแสงทั้งสองทิศทางจะมารวมตัวกันแล้วเข้าสู่ตัวอย่าง ซึ่งบริเวณที่วัดตัวอย่างจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Integrating Sphere ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมแสงที่ออกมาจากตัวอย่าง แล้วเข้าสู่ตัวตรวจวัดสัญญาณ (detector) เครื่อง FT-NIR spectrometer ของบริษัท Bruker Optics จะใช้ gold-coat cube-corner ซึ่งจะเห็นว่าแสงที่ออกจากกระจกแบ่งแสงจะเดินทางเข้าสู่อุปกรณ์สะท้อนแสง (cube-corner) อีกครั้ง จากนั้นจะสะท้อนกลับเข้าสู่กระจกแบ่งแสงอีกครั้งหนึ่ง แสงจะเดินทางไปยังตัวอย่างที่อยู่ในช่องใส่ตัวอย่าง (sample cell) และแสงจะเดินทางออกจากตัวอย่างไปยังอุปกรณ์รวมแสง (integrating sphere) ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมเคลือบผิว มีความสามารถในการกักเก็บแสงที่สะท้อนออกมาจากตัวอย่างเข้าสู่ตัวรับแสง (detector) โดยตัวรับแสงของ FT-NIR spectrometer ของบริษัท Bruker Optics คือเทลลูไรด์อินเดียม-แกลเลียม (InGaAs) จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังคอมพิวเตอร์ และเกิดกระบวนการประมวลผลต่อไป โดยสัญญาณที่ตรวจวัดได้เรียกว่า Interferogram ซึ่งจะถูกแปลงสัญญาณเป็นสเปกตรัมในโปรแกรม OPUS



ภาพที่ 5 องค์ประกอบของเครื่อง FT-NIR spectrometer (รุ่น MPA S/N2197, Bruker Optics, Germany)

ระบบการวัดด้วยเทคนิค NIRS ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมี 4 แบบ ได้แก่ แบบส่องผ่าน (transmittance) แบบสะท้อนกลับ (reflectance) แบบส่องผ่านสะท้อนกลับ (transflectance) และแบบอินเตอร์แอคแทนซ์ (Interactance) (Reich, 2005)

สเปกตรัมที่ได้จากการวัด NIRS มักจะมีลักษณะพีคที่กว้างและเตี้ย (broad bands) และมีลักษณะพีคซ้อนกัน (overlapping peaks) หรืออาจจะเรียกว่าเป็นแถบของการดูดกลืนแสง (absorption band) ส่งผลให้ไม่สามารถสังเกตเห็นพีคขนาดเล็กที่ซ้อนอยู่ เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันแบบโอเวอร์โทนและสเปกตรัมเกิดการรวมกันของการสั่นที่มีรูปแบบต่างกัน (combination) หรือการที่พีคของการดูดกลืนแสงหลายอันรวมกันแบบพหุคูณ (multiple of bands) ซึ่งทำให้สเปกตรัมที่ได้ยากต่อการวิเคราะห์ (Nicolai และคณะ, 2007) ดังนั้นการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ลักษณะสเปกตรัมที่ดีมากขึ้น การปรับแต่งเส้นสเปกตรัมมีหลายวิธีได้แก่ วิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative scatter correction, MSC) สามารถแก้อิทธิพลของการกระเจิงแสงที่ทำให้สเปกตรัมเลื่อนตัวตามแกน y การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานและการปรับแนวโน้ม (Standard Normal Variate; SNV) สามารถลดหรือกำจัดอิทธิพลของการกระเจิงของแสงที่เกิดจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัมทั้งเส้น (baseline offsets) และแก้ปัญหาอิทธิพลของขนาดตัวอย่าง และใช้ NIRS แบบวัดการสะท้อนกลับของแสง (diffuse reflectance) (Cen และ He, 2007; Reich, 2005; Thamasopinkul และคณะ, 2017) วิธีการหาค่าอนุพันธ์ (derivative) สามารถแก้ปัญหาพีคที่มีฐานกว้างและการเลื่อนตัวในแกน y พบว่าลักษณะสเปกตรัมสามารถเห็นพีคการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบต่างๆที่ซ้อนทับกันอยู่ได้ชัดเจนมากขึ้น เนื่องจากการซ้อนทับกันของพีคและอิทธิพลจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัม (baseline shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattering light) ซึ่งทำให้สเปกตรัมเบี่ยงเบนไป และมีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่างไม่สม่ำเสมอและการกระจายตัวของตัวอย่าง

จากนั้นสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งแล้วจะถูกนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าทางเคมีที่ได้ด้วยวิธีมาตรฐาน เพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐาน โดยอาศัยวิธีการทางคณิตศาสตร์และทางสถิติ วิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ การถดถอยเชิงพหุคูณ (multiple linear regression, MLR) การถดถอยโดยใช้องค์ประกอบหลัก (principal component regression (PCR) และวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least square, PLS) และทวนสอบสมการด้วยวิธีการทดสอบภายในได้แก่ วิธี full cross

validation) และการทดสอบภายนอกได้แก่ test set (Reich, 2005) โดยพิจารณาสมการเทียบมาตรฐานจากค่าทางสถิติได้แก่ ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (standard error of calibration; SEC) คือ ค่าที่สามารถพิจารณาความเหมาะสมของสมการ ดังนั้นค่าที่ได้ควรมีค่าน้อย เช่นเดียวกับค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการทำนาย (standard error of prediction; SEP) คือ ค่าที่สามารถพิจารณาว่าสมการเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้นสามารถทำนายคุณภาพที่ได้จากเทคนิค NIRS ดังนั้นควรมีค่าน้อย และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIRS (average of difference between actual value and NIR value; bias) คือค่าเฉลี่ยของการทำนายระหว่างค่าที่ได้จาก NIRS และค่ามาตรฐาน และค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย ดังนั้นหากสมการการทำนายมีความผิดพลาดน้อยหรือต่ำจะยิ่งแสดงให้เห็นว่าสมการการทำนายมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ อีกทั้งยังสามารถประเมินความสามารถของสมการการทำนายโดยอธิบายได้จากค่าทางสถิติ R หรือ R² (Williams, 2007) ดังตารางที่ 4 และอัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มทวนสอบต่อค่า SEP (ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP; RPD) ค่าจากที่คำนวณได้มีค่าสูง คือค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายมีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

ตารางที่ 4 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R²)

R	R ²	ประสิทธิภาพของสมการทำนาย
± 0.5	0.25	ไม่ควรใช้ในการทำนาย
± 0.51-0.70	0.26-0.49	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ
± 0.71-0.80	0.50-0.64	สามารถใช้คัดเลือกเบื้องต้นได้
± 0.81-0.90	0.65-0.81	สามารถใช้ในการคัดเลือกหรือประมาณค่าเบื้องต้น
± 0.91-0.95	0.82-0.90	สามารถใช้ตรวจคุณภาพได้
± 0.96-0.98	0.92-0.96	สามารถใช้ในงานประกันคุณภาพได้
± 0.99 ขึ้นไป	0.98 ขึ้นไป	สามารถใช้ได้กับทุกงาน

ที่มา: Williams (2007)

2.3 การประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS ในการตรวจวัดคุณภาพและน้ำตาล

ในปัจจุบันเทคนิค NIRS ได้ถูกนำมาใช้ในติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น เนื่องจากเทคนิค NIRS สามารถวิเคราะห์คุณภาพได้อย่างรวดเร็ว มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างน้อย และบางครั้งสามารถติดตามคุณภาพได้ภายในกระบวนการผลิต จากการศึกษาพบว่า มีผู้วิจัยใช้เทคนิค NIRS ในการติดตามปริมาณคุณภาพต่างๆ เช่น Özdemir และคณะ (2018) ติดตามปริมาณความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ ความแน่นเนื้อและปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแอปพริคอตบแห้งด้วยเทคนิค NIRS แอปพริคอตบแห้งจำนวน 82 ตัวอย่างที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์แตกต่างกัน ถูกนำมาวัดสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 833-2500 นาโนเมตร ด้วยรูปแบบการวัดสะท้อนกลับ พบว่าค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ ความแน่นเนื้อและปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแอปพริคอตบแห้งมีดังนี้ R^2 0.986, RMSEP 1.22% , R^2 0.987, RMSEP 0.016, R^2 0.845, RMSEP 0.445 AI, R^2 0.804, RMSEP 349 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสมการทำนายปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอกติวิตี้มีความสามารถในการประกันคุณภาพ ในขณะที่สมการทำนายความแน่นเนื้อและปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีความสามารถในการคัดแยก เนื่องจากโมเลกุลของน้ำ (O-H group) มีคุณสมบัติการดูดกลืนรังสีมากในช่วงความยาวคลื่น NIRS ในขณะที่ความแน่นเนื้อเป็นการวัดคุณสมบัติทางกายภาพไม่สามารถใช้ NIRS วัดได้โดยตรง แต่อาศัยการวัดปริมาณเพคติน คาร์โบไฮเดรต และปริมาณน้ำ สำหรับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีการดูดกลืนแสงมากในช่วงรังสีอินฟราเรดย่านกลาง คือ 519, 1115, 1361 cm^{-1} แต่สามารถอาศัยพันธะ O-H ของน้ำในการดูดกลืนแสงได้ เนื่องจากสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถละลายได้ในน้ำ

Thamasopinkul และคณะ (2017) ติดตามปริมาณความชื้นและน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำผึ้งลำไยที่มีการชดเชยอุณหภูมิด้วยเทคนิค NIRS เตรียมน้ำผึ้งลำไยจำนวน 105 ตัวอย่าง ตัวอย่างถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม เพื่อวางในอ่างน้ำร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับได้แก่ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส และถูกนำมาวัดสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ด้วยรูปแบบการวัดส่องผ่านพบว่าสมการทำนายปริมาณความชื้นของแต่ละอุณหภูมิและสมการทำนายความชื้นรวมทุกอุณหภูมิมีค่า R^2 มากกว่า 0.99 ในขณะที่สมการทำนายน้ำตาลรีดิวซ์ของแต่ละอุณหภูมิและสมการทำนายน้ำตาลรีดิวซ์รวมทุกอุณหภูมิมียค่า R^2 มากกว่า 0.95 เนื่องจากมีการดูดกลืนแสง NIRS ณ ตำแหน่งความยาวคลื่น 1940 นาโนเมตร ซึ่งมีการสั่นแบบคอมบินเนชันของพันธะ C-H ที่เกี่ยวข้องกับ

น้ำ เช่นเดียวกับการดูดกลืนแสงของ 2200-2460 นาโนเมตร ที่สั่นแบบคอมบิเนชันของพันธะ C-H เกี่ยวข้องกับน้ำตาล

Simeone และคณะ (2017) ทำการศึกษาปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสในน้ำข้าวฟ่างหวาน ด้วยเครื่อง NIRS ในช่วงเลขคลื่น 10000-4000 cm^{-1} พบว่าการดูดกลืนแสงของพีคที่ตำแหน่ง 7400, 6400 cm^{-1} และ 5400-4600 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงแบบโอเวอร์โทนอันดับหนึ่งและคอมบิเนชันของ O - H ที่เกี่ยวข้องกับน้ำ และตำแหน่งระหว่าง 5800, 5400 cm^{-1} และ 4600-4000 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนแสงแบบโอเวอร์โทนอันดับหนึ่งของ C-H และ C-C ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับโมเลกุลน้ำตาล และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การถดถอยของน้ำข้าวฟ่างหวานพบว่าตำแหน่งเลขคลื่น 4428, 4393 และ 4385-4063 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนแสงของโมเลกุลน้ำตาล และเมื่อนำข้อมูลสเปกตรัมมาหาความสัมพันธ์กับค่าทางเคมีด้วยวิธี PLS พบว่าสมการที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการทำนายปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสในน้ำข้าวฟ่างหวานมีความแม่นยำ R^2 เท่ากับ 0.98, 0.94 และ 0.94 ตามลำดับ และค่าความผิดพลาด RMSEP เท่ากับ 4%, 1% และ 0.6% ตามลำดับ

Amami และคณะ (2017) ทำการศึกษาเทคนิค NIRS สำหรับการติดตามคุณภาพของสตรอเบอรี่จากแหล่งผลิตที่ต่างกัน เริ่มจากการวัดตัวอย่างด้วยระบบการวัดแบบสะท้อนกลับในช่วงเลขคลื่น 12500-3600 cm^{-1} ในการตรวจสอบคุณภาพดังต่อไปนี้ TSS, pH และ TA และหาความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค PLS พบว่าสมการการทำนายของ TSS, pH และ TA มีค่า R^2 เท่ากับ 0.85, 0.86, 0.58 และค่า RMSEP เท่ากับ 0.58, 0.09%, 0.15% ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าสมการทำนายคุณภาพ TSS และ pH ของสตรอเบอรี่มีความสามารถในการทำนายแบบการตรวจสอบคุณภาพได้ในขณะที่สมการทำนาย TA พบว่าเป็นสมการที่สามารถคัดเลือกเบื้องต้นได้ ทั้งนี้สมการทำนาย TA มีความแม่นยำน้อยที่สุดอาจเกิดจากคุณภาพภายในของสตรอเบอรี่

Rungpichayapichet และคณะ (2016) ศึกษาเทคนิค NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร สำหรับติดตามคุณภาพของมะม่วงที่ถูกเก็บเกี่ยวในปี 2009 2012 และ 2013 ในแต่ละปีที่เก็บเกี่ยวมะม่วงถูกนำมาตรวจสอบค่าความแน่นเนื้อ TSS และ TA ในระหว่างเข้าสู่กระบวนการสุกเป็นเวลา 8 วัน ด้วยระบบการวัดแบบสะท้อนกลับในช่วงความยาวคลื่น 700-1100

นาโนเมตร โดยสร้างสมการการทำนายด้วยเทคนิค PLS พบว่าสมการการทำนายรวมแบบ 3 ปี ของสมการ TSS มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9 และ SEP เท่ากับ 1.2% และสมการการทำนายรวมแบบ 3 ปี ของ TA มีค่า R^2 เท่ากับ 0.74 และ SEP เท่ากับ 0.38 % เช่นเดียวกับ Nordey และคณะ (2017) ที่พบว่าสมการการทำนาย TSS ของมะม่วงมีความแม่นยำมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.6 องศาบริกซ์ แต่ในขณะเดียวกันสมการการทำนาย TA มีความแม่นยำน้อยโดยมีค่า RMSEP เท่ากับ 5.9 มิลลิกรัมสมดุลงต่อหนึ่งร้อยกรัมมะม่วงสด ซึ่งสาเหตุของความแม่นยำที่น้อยอาจเกิดจากปริมาณกรด หรือสัดส่วนของกรดที่มีในมะม่วงเช่น กรดมาลิก กรดซิตริก และอายุของผลไม้ (Léchaudel และคณะ, 2007)

Liu และคณะ (2015) ศึกษาการใช้เทคนิค NIRS ในการติดตามคุณภาพของผลไม้ 3 ชนิด ได้แก่ แอปเปิล พีช และแพร์แบบทั้งผลด้วยระบบการวัดแบบสะท้อนกลับในการตรวจสอบ SSC ในช่วงความยาวคลื่น 500–1010 นาโนเมตรหาความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค PLS และ MLR ซึ่งพบว่าสมการการทำนาย SSC ของแอปเปิล พีช และแพร์ที่หาความสัมพันธ์ด้วย PLS มีค่า R^2 และ SEP ดังนี้ 0.61, 0.38, 0.56 และ 0.75, 1.02, 0.92 องศาบริกซ์ ตามลำดับ และสมการการทำนาย SSC ของแอปเปิล พีช และแพร์ที่หาความสัมพันธ์ด้วย MLR (ที่ความยาวคลื่น 876, 890, 900 นาโนเมตร) มีค่า R^2 และ SEP ดังนี้ 0.79, 0.81, 0.87 และ 0.55, 0.48, 0.36 องศาบริกซ์ ซึ่งจะเห็นว่าสมการการทำนาย SSC ที่สร้างด้วยเทคนิค PLS และ MLR ของแอปเปิลมีความแม่นยำต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาผู้วิจัยได้เลือกแอปเปิลที่มีระยะเวลาการเก็บ และสถานที่ในการเก็บเกี่ยวต่างกัน ทำให้ส่งผลต่อค่า SSC เป็นต้น

Reita และคณะ (2008) ใช้เทคนิค NIRS ในการติดตาม TSS ในผลไม้สี่เหลี่ยมแดงผิวเรียบคล้ายลูกพีช จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ Big bang Nectaross และ Sweet Red รวมเป็นจำนวนตัวอย่าง 596 ผล รูปแบบการวัดคือการใช้หัววัดใยแก้วนำแสงสัมผัสกับผลไม้ ในช่วงความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร โดยเลือก Big bang (BB) และ Nectaross (NT) มาสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยเทคนิค PLS และ Sweet Red (Saranwong และคณะ, 2001) เป็นตัวแทนกลุ่มตัวอย่างนอก สำหรับการทำนายพบว่า สมการการทำนายของ BB มีความแม่นยำใกล้เคียงกับสมการการทำนาย TSS ของ BB และ NT ซึ่งมีค่าความผิดพลาดจากการทำนายคือ bias เท่ากับ 0.01 และ 0.01 องศาบริกซ์ ค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.90 และ 0.88 องศาบริกซ์ และเมื่อนำ SR มาทำนายในสมการการทำนาย TSS ของ BB และ NT พบว่า มีค่าความผิดพลาดคือ bias เท่ากับ -3.09 องศาบริกซ์ ซึ่ง

ต่างจากเมื่อนำ BB มาทำนายในสมการการทำนาย TSS ของ BB และ NT พบว่า มีค่าความผิดพลาด bias เท่ากับ -0.18 องศาบริกซ์ จะเห็นได้ว่าสมการเทียบมาตรฐานที่มีตัวอย่างไม่ครอบคลุม จะมีความผิดพลาดในการทำนายมากกว่า โดยจะเห็นว่าการสร้างสมการทำนายแบบโกลบอล (global calibration) จะให้ค่าความแม่นยำน้อยกว่าการสร้างสมการทำนายแบบโลคอล (local calibration) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Luo และคณะ (2018)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในน้ำเบียร์ โดยใช้ระบบการวัดแบบส่องผ่าน ที่ช่วงความยาวคลื่น 12500-4000 cm^{-1} โดยนำตัวอย่างบรรจุลงขวดควอตซ์ที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิห้อง พบว่าสมการทำนายปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสองมีความแม่นยำ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.99, 0.95 และ 0.96 ตามลำดับ ซึ่งช่วงเลขคลื่นที่นำมาหาความสัมพันธ์คือ 12500-5405 cm^{-1} และ 4878-4255 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนแสงของน้ำตาล ในขณะที่จะไม่นำช่วงความยาวคลื่น 5405-4878 cm^{-1} และ 4255-4000 cm^{-1} มาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล เนื่องจากว่าเป็นช่วงที่มีการดูดกลืนน้ำสูง (Xie และคณะ, 2009)

de Oliveira และคณะ (2014) ศึกษาการใช้เทคนิค NIRS ในการติดตามคุณภาพได้แก่ SSC และ TA ในเสาวรสมะเขือเทศ และแอปเปิ้ลคอกแบบทั้งผลด้วยระบบการวัดแบบสะท้อนกลับในช่วงความยาวคลื่น 800-2700 นาโนเมตร โดยพบว่าสมการทำนาย SSC และ TA ของเสาวรสมะเขือเทศมีค่า R^2 เท่ากับ 0.63, 0.50 และมะเขือเทศมีค่า R^2 เท่ากับ 0.53, 0.51 ตามลำดับ แต่สำหรับสมการทำนาย SSC และ TA ของแอปเปิ้ลคอกพบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.93, 0.95 และ RMSEP เท่ากับ 3.3%, 14.2% ซึ่งจะพบว่าสมการทำนายของเสาวรสมะเขือเทศมีความแม่นยำน้อยกว่าสมการทำนายของแอปเปิ้ลคอก ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าแอปเปิ้ลคอกเป็นผลไม้ที่มีเปลือกบางและมีเนื้อผลไม้มีความเป็นเนื้อเดียวกันกับเปลือกหุ้มเมล็ด แต่เสาวรสมะเขือเทศเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนาส่งผลต่อการเข้าถึงของลำแสง NIR ต่อเนื้อเสาวรสมะเขือเทศ อีกทั้งมะเขือเทศยังเป็นผลไม้ที่มีลักษณะของเนื้อที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guthrie และคณะ (2006) ที่มีการศึกษา NIRS สำหรับติดตาม TSS ในเมล่อนแบบทั้งผลและเมล่อนสไลด์ ซึ่งพบว่าสมการทำนายค่า TSS ของเมล่อนแบบทั้งผลมีความแม่นยำต่ำกว่าเมล่อนสไลด์ โดยมีค่า R^2 ของการทำนาย TSS ในเมล่อนแบบทั้งผลและเมล่อนสไลด์ เท่ากับ 0.968 และ 0.600 ตามลำดับเมล่อนแบบทั้งผลและแบบสไลด์

ตารางที่ 5 งานวิจัยที่แสดงถึงความสามารถของเทคนิค NIRS ในการติดตามและตรวจสอบน้ำตาลและองค์ประกอบอื่นๆของผัก และผลไม้

ผลิตภัณฑ์	คุณลักษณะ	จำนวนตัวอย่าง	ความยาวคลื่น (nm) หรือเลขคลื่น (cm ⁻¹)	ระบบการวัด	การวิเคราะห์ข้อมูล	ค่าความแม่นยำ	อ้างอิง
น้ำแอปเปิ้ล	Sucrose (mg/L)					$R^2_c = 0.89$, RMSECO=0.347	
	Glucose (mg/L)	120	800-2400	แบบส่องผ่าน	PLS	$R^2_c = 0.75$, RMSEC=0.083	Xie และคณะ (2009)
	Fructose (mg/L)					$R^2_c = 0.70$, RMSEC=0.328	
เนื้อฝรั่งแช่แข็ง	Moisture (%)					$R^2 = 0.94$, RMSEP=0.24	
	Total sugars (%)					$R^2 = 0.72$, RMSEP=0.27	
	Acidity (%)	50				$R^2 = 0.79$, RMSEP=0.067	
	SSC(°Brix)					$R^2 = 0.66$, RMSEP=0.69	
	pH					$R^2 = 0.85$, RMSEP=6.14	Alamar และคณะ (2016)
เสาวรสแช่แข็ง	Moisture (%)		10000-4000 cm ⁻¹	แบบสะท้อน	PLS	$R^2 = 0.93$, RMSEP=0.40	
	Total sugars (%)					$R^2 = 0.90$, RMSEP=0.41	
	Acidity (%)	50				$R^2 = 0.59$, RMSEP=0.034	
	SSC(°Brix)					$R^2 = 0.54$, RMSEP=0.85	
	pH					$R^2 = 0.61$, RMSEP=0.059	

ตารางที่ 3 งานวิจัยที่แสดงถึงความสามารถของเทคนิค NIRS ในการติดตามและตรวจสอบน้ำตาลและองค์ประกอบอื่นๆของผัก และผลไม้ (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	คุณลักษณะ	จำนวนตัวอย่าง	ความยาวคลื่น (nm) หรือเลขคลื่น (cm ⁻¹)	ระบบการวัด	การวิเคราะห์ข้อมูล	ค่าความแม่นยำ	อ้างอิง
แอปเปิล	SSC (°Brix)	160	500-1010	แบบสะท้อน	PLS	R ² =0.61, SEP=0.75	Liu และคณะ (2015)
พีช		160	876, 890, 900	แบบสะท้อน	MLR	R ² =0.79, SEP=0.55	
			500-1010		PLS	R ² =0.38, SEP=1.02	
แพร์		160	876, 890, 900	แบบสะท้อน	MLR	R ² =0.81, SEP=0.48	
			500-1010		PLS	R ² =0.56, SEP=0.85	
			876, 890, 900		MLR	R ² =0.87, SEP=0.36	
รวม 3 ชนิด		480	500-1010	แบบสะท้อน	PLS	R ² =0.96, SEP=0.46	
			876, 890, 900		MLR	R ² =0.96, SEP=0.47	
แอปเปิล		120				SEP=0.38, Bias=-0.13	
แพร์		120		แบบสะท้อนกลับ		SEP=0.43, Bias=-0.02	Jannok และคณะ (2014)
พลับ	SSC (°Brix)	120	400-1100	จากด้านใน	PLS	SEP=0.48, Bias=0.05	
รวม 3 ชนิด		360				SEP=0.43, Bias=-0.03	

ตารางที่ 3 งานวิจัยที่แสดงถึงความสามารถของเทคนิค NIRS ในการติดตามและตรวจสอบน้ำตาลและองค์ประกอบอื่นๆของผัก และผลไม้ (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	คุณลักษณะ	จำนวนตัวอย่าง	ความยาวคลื่น (nm) หรือเลขคลื่น (cm ⁻¹)	ระบบการวัด	การวิเคราะห์ข้อมูล	ค่าความแม่นยำ	อ้างอิง
มะม่วง	Glucose (%)					R ² =0.70, RMSEP=4.48	
	Fructose (%)	54	400-1098	แบบสะท้อน	PLS	R ² =0.67, RMSEP=0.93	Delwiche และคณะ (2008)
	Sucrose (%)					R ² =0.75, RMSEP=10.05	
น้ำมะเขือเทศ	Acid-brix ratio		1059.5-1124.8	แบบสะท้อนจากต้นใน	MLR	R ² =0.92, SEP=0.009	Jha และคณะ (2006)
	TA					R ² =0.72, SEP=0.3	
มะม่วงน้ำดอกไม้	TSS	35	650-2500	แบบสะท้อน	PCA	R ² =0.59, SEP=1.4	
	TSS/TA					R ² =0.84, SEP=18.6	
	TA					R ² =0.75, SEP=0.2	Mahayothee และคณะ (2002)
โศคนันต์	TSS	35	650-2500	แบบสะท้อน	PLS	R ² =0.73, SEP=1.9	
	TSS/TA					R ² =0.77, SEP=12.5	

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาได้แก่มะม่วง สับปะรด และมะละกอ โดยซื้อจากตลาดปทุมมงคล จังหวัดนครปฐม มีจำนวนรุ่น และช่วงเวลาในการซื้อวัตถุดิบดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 จำนวนรุ่น และช่วงเวลาซื้อผลไม้ที่ใช้ในการศึกษา

ชนิดผลไม้	จำนวนรุ่น	เดือน และปีที่ซื้อ
มะม่วง	รุ่นที่ 1	มกราคม 2559
	รุ่นที่ 2	เมษายน 2559
	รุ่นที่ 3	มีนาคม 2560
	รุ่นที่ 4	มิถุนายน 2560
สับปะรด	รุ่นที่ 1	มกราคม 2555
	รุ่นที่ 2	เมษายน 2556
	รุ่นที่ 3	มีนาคม 2559
	รุ่นที่ 4	สิงหาคม 2559
มะละกอ	รุ่นที่ 1	สิงหาคม 2559
	รุ่นที่ 2	มกราคม 2560
	รุ่นที่ 3	เมษายน 2560
	รุ่นที่ 4	มิถุนายน 2560

มะม่วงที่ใช้ในการศึกษาคือพันธุ์แก้วขมิ้น คัดเลือกมะม่วงดิบแก่ที่ผ่านการทดสอบความบริสุทธิ์ด้วยวิธีการลอย-จมน้ำ โดยเลือกมะม่วงที่จมน้ำ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าหรือเท่ากับ 1

โดยน้ำหนักของมะม่วงต่อผลมีค่าในช่วง 350-500 กรัม ลักษณะภายนอกไม่มีรอยขีดหรือเน่า จากนั้นนำมะม่วงที่ผ่านการคัดมาล้างทำความสะอาดอีกครั้ง และทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเริ่มจากนำมะม่วงดิบแก่ที่ซื้อมาจากตลาดมาบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 3-6 วัน จนกระทั่งสีของเนื้อมะม่วงเป็นสีเหลืองอ่อน ไม่มีส่วนที่เป็นสีขาว จากนั้นจึงนำไปใช้ในการเตรียมชิ้นผลไม้อบแห้งในขั้นตอนต่อไป

สับปะรดที่ใช้ในการศึกษาคือพันธุ์ปัตตาเวียเนื้อ 2 โดยคัดเลือกสับปะรดที่มีเปลือกสีเขียวแกมเหลือง มีสีเหลืองประมาณ 1 ใน 4 ของผล น้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัมต่อผล มีเนื้อสีเหลือง ไม่ฉ่ำมาก และไม่แก่หรือสุกจนเกินไป ไม่เป็นไส้ดำ ลักษณะภายนอกของสับปะรดต้องไม่มีตำหนิ ไม่มีรอยขีดและกลิ่นผิดปกติ จากนั้นนำสับปะรดที่ซื้อมาล้างทำความสะอาด ผึ่งลมให้แห้ง และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน และทำการสุ่มเลือกสับปะรดที่มีสีเหลือง 1 ใน 4 ของผล เพื่อใช้ในการเตรียมชิ้นผลไม้อบแห้งในขั้นตอนต่อไป

มะละกอที่ใช้ในการศึกษาคือพันธุ์แขกดำ โดยคัดเลือกมะละกอที่แก่แต่ไม่สุก เนื้อแข็ง โดยสังเกตจากสีเปลือกของมะละกอที่มีสีเหลืองอมเขียว น้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัมต่อผล ลักษณะภายนอกไม่มีรอยขีดและกลิ่นผิดปกติ จากนั้นนำมะละกอที่ผ่านการคัดมาบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 3-4 วัน จนกระทั่งสีเปลือกของมะละกอมีส้มเหลืองบริบูรณ์เต็มผล จากนั้นล้างทำความสะอาด และผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปใช้ในการเตรียมชิ้นผลไม้อบแห้งในขั้นตอนต่อไป

3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติก

1. น้ำเชื่อมฟรุกโตส 55% ยี่ห้อ C บนไปไม้ บริษัท เจ้าคุณเกษรพีชผล จำกัด
2. น้ำเชื่อมสำเร็จรูปประกอบด้วย ซูโครส 50% ฟรุกโตส 25% กลูโคส 25% ยี่ห้อมิตรผล บริษัท น้ำตาลสิงห์บุรี จำกัด (ประเทศไทย) จำกัด
3. น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ ยี่ห้อน้ำตาลทรายมิตรผล บริษัท น้ำตาลสิงห์บุรี จำกัด (ประเทศไทย) จำกัด

4. กลูโคส-ดี 99.4% ยี่ห้อกลูโคลิน บริษัทเรกคิทท์ เบนคี่เซอร์ เฮลท์แคร์ แมนูแฟคเจอร์ริง (ประเทศไทย) จำกัด
5. แคลเซียมคลอไรด์ เกรดอาหาร
6. กลีเซอริน (glycerine) ชนิดของเหลว เกรดอาหาร ประเทศจีน
7. ซอร์บิทอล (sorbitol) ชนิดของเหลว ความเข้มข้น 70% เกรดอาหาร ประเทศจีน
8. กรดซิตริก เกรดอาหาร
9. โซเดียมซิเตรท เกรดอาหาร
10. โปแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ เกรดอาหาร

3.3 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพ

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล (0.1 N sodium hydroxide solution) (Merck, Germany)
2. น้ำตาลฟรุกโตสมาตรฐาน เกรด HPLC (Fluka Aldrich™ Chemie GmbH, USA)
3. น้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน เกรด HPLC (Sigma Aldrich™ Chemie GmbH, Switzerland)
4. น้ำตาลซูโครสมาตรฐาน เกรด HPLC (Fluka Aldrich™ Chemie GmbH, Switzerland)
5. น้ำกลั่น (distilled water) (Vunique, Thailand)
6. อะซิโตนไนไตรล์ (acetonitrile) เกรด HPLC (RCI Labscan, Thailand)

3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Fourier transform near infrared (FT-NIR) spectrometer, รุ่น MPA, Bruker Optics, Germany)
2. เครื่องวัดค่าความหวานแบบดิจิตอล (digital refractometer, รุ่น Pal- 1, Atago, Japan)
3. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, รุ่น pH M 210, Metro Lab, France)
4. เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวความดันสูง (high performance liquid chromatography, Shimadzu, Japan)

5. คอลัมน์ (column) รุ่น Rezex RCM-Carbohydrate Ca⁺ (8%) (300 x 7.8 mm i.d., 5 μm partical size, Japan)
6. คอลัมน์ (column) รุ่น Intertsil NH₂ (4.6 x 250 mm i.d., 5 μm partical size, Japan)
7. เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (homogenizer รุ่น Ultra Turrax T25 Basic, IKA labortechnik, Germany)
8. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง (Digital balance รุ่น BP 221S, Sartorius, Germany)
9. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดหยาบ 2 ตำแหน่ง (Digital balance, TE 3102S Sartorius, Germany)
10. เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (รุ่น Sorvall RC 6, USA)
11. ตู้อบลมร้อนแบบมีพัดลม (hot air oven, รุ่น FED53, Binder, Germany)
12. เครื่องผสมแบบวอเทกซ์ (vortex mixer รุ่น Vortex-Genie2, Scientific Industries, USA)
13. เครื่องกวนสารละลาย (magnetic stirrer, รุ่น Topolino, IKA labortechnik, Germany)
14. เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ (Vernier caliper, รุ่น 11205-200, INSIZe 1205 series, UK)
15. กระดาษกรอง whatman เบอร์ 4 ขนาด 70 มิลลิเมตร (filter paper, circles 70 nm, Whatman, UK)
16. ซอฟต์แวร์ OPUS (เวอร์ชัน 7.2.139.1294, Bruker Optics, Germany)
17. ซอฟต์แวร์ The Unscramble (CAMO Software AS, Oslo, Norway)

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบสด

นำชิ้นตัวอย่างมะม่วง สับปะรด และมะละกอสอดอย่างละจำนวน 5 ชิ้นในแต่ละรุ่น มาหั่นอย่างหยาบและปั่นละเอียดด้วยเครื่องโฮมोजิไนเซอร์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีดังต่อไปนี้

3.5.1.1 ปริมาณความชื้น (moisture content, MC)

ชั่งตัวอย่างสด และถั่วอัลูมิเนียม พร้อมบันทึกน้ำหนัก และนำไปวิเคราะห์ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่ 105 องศาเซลเซียส ด้วยวิธี A.O.A.C (2000) พร้อมทั้งคำนวณความชื้นในฐานเปียก

3.5.1.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด (titratable acidity, TA)

ชั่งตัวอย่างสดที่ผ่านการบดละเอียดจำนวน 5.0 กรัมด้วยเครื่องชั่งชนิดหยาบ 2 ตำแหน่ง แล้วบันทึก จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร พร้อมหยดสารฟีนอลทาลีน 2-3 หยด และทำการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น (NaOH) 0.1 นอร์มัล โดยระหว่างไทเทรตจะกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารละลายจนกระทั่งสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีชมพูอ่อน จากนั้นบันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกไทเทรต และนำไปคำนวณหาค่า TA โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ ดังสมการ

$$TA (\%) = \frac{\text{ml (0.1N NaOH)} \times 0.007 \times 100}{\text{g (sample)}}$$

เมื่อ 0.007 คือ citric acid equivalent

3.5.1.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ตัวอย่างสดที่ถูกปั่นละเอียด นำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter วัด pH จำนวน 2 ซ้ำ

3.5.1.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS)

นำตัวอย่างสดที่ผ่านการปั่นละเอียดมากรองแยกกระหว่างส่วนเนื้อกับส่วนที่เป็นน้ำด้วยน้ำผ้าขาวบาง จากนั้นนำส่วนที่เป็นน้ำมาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดด้วยเครื่องวัดดัชนีหักเหแสงและบันทึกผล โดยทำการวัด TSS จำนวน 2 ซ้ำ

3.5.2 การเตรียมตัวอย่างผลไม้แช่อิ่ม

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเตรียมตัวอย่างชิ้นผลไม้ความหนา 1.5 เซนติเมตร จากนั้นนำชิ้นผลไม้แช่ในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเข้าสู่กระบวนการแช่อิ่มในสารละลายออสโมติกที่สภาวะต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.5.2.1 การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

มะม่วงถูกปอกเปลือกและผ่าครึ่งตามความยาวของผลส่งผลให้ได้ชิ้นมะม่วงจำนวน 2 ชิ้นต่อผล จากนั้นนำพิมพ์สแตนเลสวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร กดทับลงบนชิ้นมะม่วงและตกแต่งชิ้นมะม่วงให้มีความหนา 1.5 เซนติเมตร จนได้ชิ้นมะม่วงจำนวน 200 ชิ้น

สับประรดถูกตัดหัว และท้ายออก จากนั้นหั่นชิ้นสับประรดให้มีลักษณะเป็นแว่นตามขวางของผลให้มีความหนา 1.5 เซนติเมตร และทำการปอกเปลือกเพื่อกำจัดตาสับประรดและเจาะแกนสับประรดด้วยแบบสแตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จนได้ชิ้นสับประรดจำนวน 200 ชิ้น

มะละกอถูกปกปิดเปลือก และหั่นชิ้นมะละกอให้มีลักษณะเป็นแว่นตามขวางของผล ให้มีความหนา 1.5 เซนติเมตร และทำการปกปิดเปลือก กำจัดเมล็ดและเยื่อด้านในของมะละกอ จนได้ ชิ้นมะละกอจำนวน 200 ชิ้น

3.5.2.2 การเตรียมสารละลายที่ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 200 ppm

เตรียมสารละลายผสมที่ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 200 ppm โดยคำนวณปริมาตรจากน้ำหนักของผลไม้ เพื่อให้มีอัตราส่วนของชิ้นผลไม้ต่อสารละลายเท่ากับ 1:3 จากนั้นนำชิ้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่ในสารละลายดังกล่าวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้ลักษณะของเนื้อผลไม้มีความแข็งตัวมากขึ้น หลังจากครบเวลา 3 ชั่วโมง นำชิ้นผลไม้ไปลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และนำผลไม้ชิ้นสะเด็ดน้ำจนกระทั่งไม่มีน้ำหยดจากชิ้นผลไม้ เพื่อเข้าสู่กระบวนการเชื่อมด้วยสารละลายออสโมติกต่อไป

3.5.2.3 การเตรียมสารละลายออสโมติกสำหรับชิ้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอ

สารละลายออสโมติกที่มีคุณลักษณะต่างๆ จำนวน 50 สภาวะ ถูกเตรียมจากน้ำตาลทราย (น้ำตาลซูโครส) น้ำเชื่อมฟรุกโตสร้อยละ 55 น้ำตาลกลูโคสและน้ำเชื่อมสำเร็จรูปพร้อมทั้งใช้ สารลดความชื้นได้แก่ กลีเซอริน และสารให้ความหวานได้แก่ ซอร์บิทอล และปรับกรดของสารละลาย ด้วยกรดซิตริกให้มีความเป็นกรดอยู่ที่ 2.5 และ 3.8 ดังตารางที่ 5-7 นำสารละลายออสโมติกที่เตรียมไว้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และเติมโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้น 200 ppm นำสารละลายออสโมติกที่เตรียมไว้มาพักที่อุณหภูมิห้องจน สารละลายออสโมติกมีอุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส จากนั้นนำชิ้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่ในสารละลายออสโมติก โดยสารละลายออสโมติก 1 สภาวะจะแช่ชิ้นตัวอย่างผลไม้จำนวน 4 ชิ้น ในอัตราส่วนของชิ้นผลไม้ต่อสารละลายออสโมติกเท่ากับ 1:3 เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นผลไม้แช่ไปแช่ในน้ำเปล่าเป็นเวลา 3 วินาที เพื่อกำจัดน้ำตาลบริเวณผิวหน้าของ

ขึ้นผลไม้แช่อิ่ม และนำผลไม้แช่อิ่มขึ้นเสเต็มน้ำจนกระทั่งไม่มีน้ำหยดจากขึ้นผลไม้ในห้องที่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวัดสเปกตรัมด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ต่อไป และบางส่วนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด





ป่มมะม่วงและมะละกอประมาณ 3-4 วัน

เก็บสับปะรดไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

↓
คัดเลือกผลไม้สีของเนื้อและเปลือกผลไม้

↓
ล้างทำความสะอาดและผึ่งให้แห้ง



↓
ปอกเปลือกผลไม้ และหั่นเป็นแว่นให้มีความหนา 1.5 เซนติเมตร

↓
แช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายที่ประกอบด้วย 1% CaCl_2 , 1% citric acid และ 200 ppm KMS เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



↓
ลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 5 นาที

↓
แช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในอัตราส่วนของชิ้นผลไม้ต่อสารละลายเท่ากับ 1:3



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการเตรียมผลไม้แช่อิ่ม

ตารางที่ 7 สภาวะของสารละลายออสไมติกสำหรับการเชื่อมขวางจำนวน 200 ชิ้น

ชนิดและสัดส่วนของน้ำตา	ความเข้มข้นของสารละลายออสไมติก (องศาปริกซ์)		
	pH 2.5	pH 3.8	pH 2.5
			pH 3.8
			กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล 5%
น้ำตาทราย 100%	30, 40, 50, 60 40-50-60	30, 40, 50, 60 40-50-60	30, 40, 50, 60 40-50-60
น้ำเชื่อมสำเร็จรูป	30, 40, 50, 60 40-50-60	30, 40, 50, 60 40-50-60	40-50-60 40-50-60
น้ำตาทราย 90%+น้ำตาลกลูโคส 10%	30, 40, 50, 60	30, 40, 50, 60	40
น้ำตาทราย 90%+น้ำตาลฟรุคโตส 10%	30, 40, 50, 60	30, 40, 50, 60	-

หมายเหตุ สภาวะสารละลายออสไมติก 40-50-60 คือการเข้มข้นในสารละลายออสไมติก 40 องศาปริกซ์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และใช้ในสารละลายออสไมติก 50 องศาปริกซ์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และใช้ในสารละลายออสไมติก 60 องศาปริกซ์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง รวมเป็น 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 8 สภาวะของสารละลายออสโมติกสำหรับการเชื่อมสับประวัติจำนวน 200 ชิ้น

ชนิดและสัดส่วนของน้ำตาล	ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก (องศาปริกซ์)			
	pH 2.5	pH 3.8	pH 2.5	pH 3.8
			กัลซีอรัน 5% และซอร์บิทอล 5%	
น้ำตาลทราย 100%	20, 30, 40, 50, 60 40-50-60	20, 30, 40, 50, 60 40-50-60	-	-
น้ำเชื่อมสำเร็จรูป	20, 30, 40, 50, 60 40-50-60	20, 40, 50, 60 40-50-60	30, 40, 50, 60	30, 40, 50, 60
น้ำตาลทราย 90%+น้ำตาลกลูโคส 10%	20, 30, 40, 50, 60	20, 30, 40, 50, 60	-	-
น้ำตาลทราย 90%+น้ำตาลฟรุคโตส 10%	30, 40, 50, 60	30, 40, 50, 60	-	-

ตารางที่ 9 สภาวะของสารละลายออสโมติกสำหรับการเชื่อมละลายกอลจำนวน 200 ชิ้น

ชนิดและสัดส่วนของน้ำตาล	ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก (องศาบริกซ์)			
	pH 2.5	pH 3.8	pH 2.5	pH 3.8
			กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล 5%	
น้ำตาลทราย 100%	30, 40, 50, 60 40-50-60	30, 40, 50, 60 40-50-60	30, 40, 50, 60 40-50-60	30, 40, 50, 60 40-50-60
น้ำเชื่อมสำเร็จรูป	30, 40, 50, 60 40-50-60	30, 40, 50, 60 40-50-60	40-50-60	40-50-60
น้ำตาลทราย 90%+น้ำตาลกลูโคส 10%	30, 40, 50, 60	30, 40, 50, 60	40	40
น้ำตาลทราย 90%+น้ำตาลฟรุ็กโตส 10%	30, 40, 50, 60	30, 40, 50, 60	-	-

3.5.3 การเตรียมสารมาตรฐานและวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติก เพื่อวัดการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบ

เตรียมตัวอย่างสารมาตรฐานน้ำตาลชนิดผงได้แก่ สารมาตรฐานน้ำตาลซูโครสความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 สารมาตรฐานน้ำตาลกลูโคสความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 และสารมาตรฐานน้ำตาลฟรุกโตสความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.0 เกรดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ HPLC โดยเตรียมสารมาตรฐานแต่ละชนิดที่น้ำหนัก 50 กรัม เพื่อเข้าสู่กระบวนการวัดสเปกตรัมด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ และตรวจสอบการดูดกลืนแสงของน้ำตาลและองค์ประกอบอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ณ ตำแหน่งเลขคลื่นต่างๆ สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติกได้แก่ น้ำเปล่า น้ำตาลทราย น้ำเชื่อมสำเร็จรูปที่ประกอบด้วยซูโครสร้อยละ 50 กลูโคสร้อยละ 25 ฟรุกโตสร้อยละ 25 ที่มีความหวาน 70 องศาบริกซ์ สารละลายน้ำตาลฟรุกโตสแบบที่หวานระดับ 55 องศาบริกซ์ กรดซิตริก และสารลดความขุ่นได้แก่ กลีเซอรินชนิดของเหลว และสารให้ความหวานได้แก่ ซอร์บิทอลชนิดของเหลว ซึ่งวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นของแข็งจะใช้ประมาณ 50 กรัม เช่นเดียวกับการเตรียมสารมาตรฐานน้ำตาลชนิดผง และวัตถุดิบที่ใช้ลักษณะเป็นของเหลวจะใช้ประมาณ 10 มิลลิลิตร

3.5.4 การศึกษาตำแหน่งการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานและวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติก

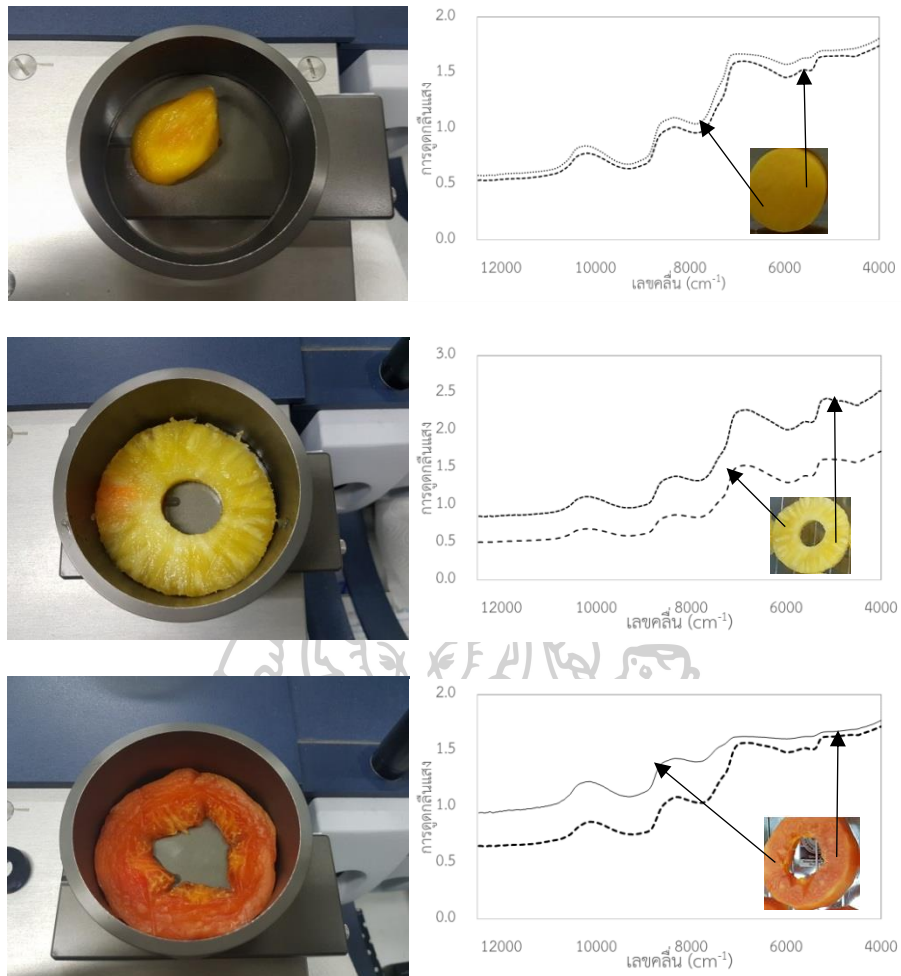
หลังจากชั่งและตวงสารมาตรฐานและวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติก จากนั้นนำตัวอย่างดังกล่าวเทใส่ถ้วยควอทซ์พร้อมกับปาดให้ผิวหน้าเรียบในกรณีที่เป็นของแข็ง และวัดสเปกตรัมของตัวอย่างแต่ละชนิดด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer model with OPUS ซอฟต์แวร์ (Bruker optics, Ettlingen, Germany) ในช่วงเลขคลื่น $12500-4000\text{ cm}^{-1}$ ด้วยการวัดแบบสะท้อน (reflectance) จำนวนความถี่ในการวัดหรือ resolution เท่ากับ 32 cm^{-1} จำนวนการวัดในแต่ละครั้งหรือ scan time เท่ากับ 64 ครั้ง แต่สำหรับวัตถุดิบที่เป็นของเหลวให้เทใส่ถ้วยควอทซ์และปิดทับด้วยแผ่นสะท้อน (reflector) จากนั้นทำการวัดสเปกตรัมเช่นเดียวกับตัวอย่างที่เป็นของแข็ง

3.5.5 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการติดตามคุณภาพของผลไม้ภายหลังแช่แข็ง

3.5.5.1 การวัดสเปกตรัมของมะม่วง สับปะรดและมะละกอภายหลังแช่แข็ง

นำผลไม้แช่แข็งก่อนการทำแห้งจำนวน 600 ชิ้น ซึ่งมาจากมะม่วงแช่แข็งจำนวน 200 ชิ้น สับปะรดแช่แข็งจำนวน 200 ชิ้น และมะละกอแช่แข็งจำนวน 200 ชิ้น มาทำการควบคุมอุณหภูมิโดยการวางขึ้นตัวอย่างในห้องที่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นผลไม้มาวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer model with OPUS ซอฟต์แวร์ (Bruker optics, Ettlingen, Germany) ในช่วงเลขคลื่น $12500-4000\text{ cm}^{-1}$ ด้วยการวัดแบบสะท้อน (reflectance) จำนวนความถี่ในการวัดเท่ากับ 32 cm^{-1} จำนวนการวัดในแต่ละครั้งเท่ากับ 64 ครั้ง โดยผลไม้แช่แข็งจะถูกวัดสเปกตรัมจำนวน 2 ตำแหน่งอย่างสุ่มแสดงดังภาพที่ 7 และทำการเฉลี่ยเส้นสเปกตรัมเป็นหนึ่งสเปกตรัมต่อหนึ่งชิ้นผลไม้แช่แข็ง





ภาพที่ 7 การวัดสเปกตรัมตัวอย่างมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่มก่อนการทำแห้งด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer

3.5.5.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอ

ภายหลังแช่อิ่ม

ชิ้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่มจะถูกนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี เช่นเดียวกับตัวอย่างสดได้แก่ ปริมาณความชื้น (moisture content, MC) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด (titratable acidity, TA) ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) และทำการวิเคราะห์คุณภาพที่สำคัญของผลไม้หลังผ่านการแช่อิ่มคือ อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส (total sugars to sucrose ratio, TS.S⁻¹)

การวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส (total sugar to sucrose ratio, TS.S⁻¹)

ตัวอย่างจะถูกสกัดตามวิธีของ Liu และคณะ (2013) เริ่มจากนำชิ้นตัวอย่างมาปั่นละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกัน และชั่งน้ำหนักจำนวน 1.0 กรัม ใส่หลอดทดลองและเติมน้ำกลั่นปริมาตร 9 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบ เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำส่วนใสกรองผ่านกระดาษกรอง และนำส่วนที่เป็นผลไม้วัดผสมน้ำกลั่นอีกครั้งเพื่อสกัดน้ำตาลซ้ำ จากนั้นทำการปรับปริมาตรเป็น 20 มิลลิลิตร และนำไปผ่านตัวกรองไนลอนขนาด 0.45 ไมครอน โดยสารสกัดจะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ภายในขวดสีชา ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำตาลด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี เพลวความดันสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) ซึ่งการวิเคราะห์น้ำตาลแต่ละชนิดของชิ้นสับปะรดแช่แข็งจะใช้คอลัมน์ Rezex-Monosaccharie Ca²⁺ (300 x 7.8 mm i.d., 5 µm partical size) และคอลัมน์จะควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส โดยเฟสเคลื่อนที่คือน้ำกลั่น และอัตราการไหลเท่ากับ 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที และการวิเคราะห์น้ำตาลแต่ละชนิดของมะม่วง และมะละกอแช่แข็งจะใช้คอลัมน์ Intertsil NH₂ (4.6 x 250 mm i.d., 5 µm partical size) และคอลัมน์จะควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส โดยเฟสเคลื่อนที่คือ อะซิโตน ไตรลความเข้มข้นร้อยละ 85 และน้ำกลั่นความเข้มข้นร้อยละ 15 และอัตราการไหลเท่ากับ 3.0 มิลลิลิตรต่อนาที โดยน้ำตาลแต่ละชนิดจะถูกตรวจสอบด้วย refractive index detector (RID-10A, Shimadzu, Japan) ซึ่งการวิเคราะห์จะเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส และจะถูกคำนวณให้อยู่ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่างสด (mg/g sample) โดยการคำนวณปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดจะเริ่มจากการนำพื้นที่ใต้กราฟของน้ำตาลแต่ละชนิดแทนลงในสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานของน้ำตาลแต่ละชนิดดังภาคผนวก ค จากนั้นจะคำนวณกลับจากปริมาตรของตัวอย่างที่ถูกสกัดและปรับปริมาตร และเปรียบเทียบกับน้ำหนักตัวอย่างตามที่น่ามาวิเคราะห์จนสุดท้ายคำนวณให้น้ำหนักตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 1.0 กรัม จากนั้นคำนวณ TS.S⁻¹ ดังสูตร

$$TS.S^{-1} = \frac{\text{น้ำตาลซูโครส} + \text{น้ำตาลกลูโคส} + \text{น้ำตาลฟรุกโตส}}{\text{น้ำตาลซูโครส}}$$

3.5.5.3 การปรับแต่งสเปกตรัม

หลังจากทำการวัดสเปกตรัมของสารมาตรฐาน วัดดูดิบที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย ออสโมติกและผลไม้แช่แข็งก่อนการทำแห้งแล้วนั้น ก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูลต้องทำการปรับแต่งเส้น

สเปกตรัม (pretreatment) ก่อนเพื่อลดสัญญาณรบกวน (noise) และอิทธิพลอื่นๆ ภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยวิธีปรับแต่งสเปกตรัมที่ใช้ ได้แก่

- (1) การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative scatter correction, MSC)
- (2) การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน และการปรับแนวโน้ม (standard normal variate, SNV)
- (3) อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (first derivative, 1st derivative)
- (4) อนุพันธ์อันดับสอง (second derivative, 2nd derivative)
- (5) การปรับเรียบ (smoothing) แบบซาวิตสกี-โกลีย์ (Savitzky-Golay, SG)
- (6) ใช้หลายวิธีร่วมกัน

3.5.5.4 การสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายคุณภาพในชั้นมะม่วง

สับปะรดและมะละกอภายหลังแช่เย็น

ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (Calibration set) จากนั้นตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการเทียบมาตรฐาน (Validation set) เป็นกลุ่มที่ 2 เพื่อเป็นการเลือกสมการเทียบมาตรฐานที่มีความเหมาะสมมากที่สุด แบบทดสอบภายนอก (test set) ในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัมกับค่าองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ได้ด้วยโปรแกรม OPUS Version 7.2.139.1294 ด้วยการเลือกใช้ฟังก์ชันการหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยฟังก์ชันอัตโนมัติ (optimize) เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบช่วงคลื่นและเทคนิคการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้วิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square Regression, PLSR) และเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ให้ผลในการสร้างสมการเทียบมาตรฐานที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้สร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี Multiple Linear Regression (MLR) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler ® (CAMO, Oslo, Norway) โดยเลือกความยาวคลื่นให้ครอบคลุมกับองค์ประกอบที่ต้องการหาให้มากที่สุดหรือสังเกตจากความยาวคลื่นอ้างอิง

โดยสมการเทียบมาตรฐานที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าทางเคมีมีดังตารางที่ 10 โดยการสร้างสมการทำนายปริมาณความชื้น ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจะมีจำนวนทั้งหมด 4 รูปแบบได้แก่สมการทำนายในผลไม้แต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม และสมการทำนายในผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิดได้แก่มะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม ในขณะที่การสร้างสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสจะมีจำนวนทั้งหมด 7 รูปแบบ ได้แก่สมการทำนายในผลไม้แต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม สมการทำนายในผลไม้แช่อิ่มสองชนิดได้แก่ มะม่วงร่วมกับสับปะรดแช่อิ่ม มะม่วงร่วมกับมะละกอแช่อิ่ม และสับปะรดร่วมกับมะละกอแช่อิ่ม และสมการทำนายในผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิดได้แก่มะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม โดยสมการทำนายคุณภาพของผลไม้ภายหลังแช่อิ่มเกือบทุกสมการจะมีตัวอย่างจำนวน 200 ชิ้น ยกเว้นสมการทำนายปริมาณความชื้นที่มีตัวอย่างเพียง 40 ชิ้นเท่านั้น แต่ข้อมูลมีการกระจายตัวที่เพียงพอต่อการสร้างสมการทำนาย

ตารางที่ 10 สมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายคุณภาพในชิ้นผลไม้ภายหลังแช่อิ่ม

คุณภาพ	ผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิด	ผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด	ผลไม้แช่อิ่มรวมสองชนิด
ปริมาณความชื้น	✓	✓	-
ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด	✓	✓	-
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด	✓	✓	-
อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส	✓	✓	✓

สำหรับสมการเทียบมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพสามารถสังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of correction, R^2) ค่าความผิดพลาดในการทำนาย (root mean square error of prediction, RMSEP) ความเอนเอียง (bias) และ ค่าสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการ

ทวนสอบสมการ (the ratio of the standard deviation of validation set to standard error of prediction, RPD)

จากนั้นจึงทำการตรวจสอบค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างทวนสอบสมการที่ได้ด้วยค่า unexplained error confidence limits (UECLs, TUE) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก F-test ค่า SEP ที่ได้ควรมีค่าน้อยกว่าค่า TUE ตามมาตรฐาน ISO 12099 ตรวจสอบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการทำนาย (bias) โดยการเปรียบเทียบค่าทางเคมีหรือค่าที่วิเคราะห์ได้จากวิธีมาตรฐานกับค่าที่ทำนายได้จากสมการทำนายด้วยการทดสอบ t แบบจับคู่ (pair t-test) ตามสูตรที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก หากค่าสัมบูรณ์ t มีค่าน้อยกว่า 2 หมายถึง ค่าที่ทำนายได้จากสมการไม่แตกต่างจากค่าทางเคมีจริงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และตรวจสอบค่าความชัน (slope) โดยค่าความชันที่ดีที่สุดควรมีค่าเท่ากับ 1 เพื่อให้ได้สมการที่มีความแม่นยำต่อการนำไปใช้วิเคราะห์ได้ดีที่สุด อาจสรุปได้ว่าการทดสอบสมการทำนายของสมการต้องเป็นไปตามกฎ 3 ข้อ ดังนี้ $\text{bias} < T_b$, $\text{SEP} < T_{ue}$ และ $T_{obs} < T_{value}$ จากนั้นจะนำสมการเทียบมาตรฐานที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 12099 มาทำการทำนายโดยใช้ตัวอย่างกลุ่มใหม่โดยคุณภาพที่สำคัญคืออัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสจะมีการพิจารณาเลขคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการทำนายคุณภาพดังกล่าวด้วยเทคนิค MLR ดังภาคผนวก ง

เลือกสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสของผลไม้แต่ละชนิด ได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม และสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสของผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่มที่เหมาะสมที่สุดด้วยการพิจารณาจากค่า R^2 และค่า RPD เพื่อนำมาทดสอบความแม่นยำของสมการทำนายด้วยตัวอย่างกลุ่มนอก โดยตัวอย่างกลุ่มนอกมีดังนี้ มะม่วงแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น สับปะรดแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น และมะละกอแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น โดยขึ้นผลไม้ผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับตัวอย่างสำหรับการสร้างสมการ จากนั้นทำการทำนายขึ้นมะม่วงแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้นในสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสของมะม่วงแช่อิ่ม สำหรับขึ้นสับปะรดแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น จะถูกทำนายด้วยสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสของสับปะรดแช่อิ่ม และขึ้นมะละกอจำนวน 20 ชิ้นจะถูกทำนายด้วยสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสของมะละกอแช่อิ่ม ในขณะที่ผลไม้แช่อิ่มจำนวน 60 ชิ้นได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่มอย่าง

ละ 20 ชิ้น ถูกทำนายด้วยสมการของผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด ทำการตรวจสอบความแม่นยำของการทำนายนำข้อมูลค่าจริงที่วิเคราะห์ได้และค่าที่ทำนายได้ไปวิเคราะห์ด้วย pair t-test เพื่อดูความแตกต่างของข้อมูล หากค่าสัมบูรณ์ t มีค่าน้อยกว่า 2 หมายถึง ค่าที่ทำนายได้จากสมการไม่แตกต่างจากค่าทางเคมีจริงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พร้อมทั้งวิเคราะห์ความถูกต้องของการทำนายโดยพิจารณาจากการแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสต่ำกว่า 2.0 มากกว่า 2.5 และอยู่ในช่วง 2.0-2.5 เพื่อตรวจสอบความความแม่นยำในการทำนาย



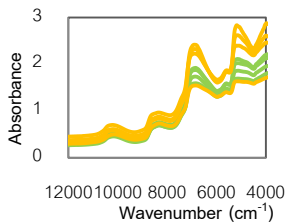
ผลไม้ภายหลังแช่ส้ม ได้แก่มะม่วง สับปะรด และมะละกอ อย่างละ 200



ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



วัดสเปกตรัมด้วยเทคนิค NIRS ของชิ้นผลไม้แช่ส้ม ชิ้นละ 2 ซ้ำอย่างสุ่มตำแหน่ง
ด้วยระบบการวัดแบบสะท้อน เลขคลื่น 12500-4000 cm^{-1} จำนวนความถี่ในการวัด เท่ากับ
32 cm^{-1} จำนวนการวัดในแต่ละครั้ง เท่ากับ 64 ครั้ง



ข้อมูลเส้นสเปกตรัมของชิ้นผลไม้แช่ส้มจำนวน 1200 เส้น

เฉลี่ยเส้นสเปกตรัมจนได้เส้นสเปกตรัม

วิเคราะห์ค่าทางเคมี

ผลไม้แช่ส้มอย่างละ 200 เส้น

→ MC, TA, TSS, TS.S⁻¹

ปรับแต่งเส้นสเปกตรัม

สร้างสมการเทียบมาตรฐาน

ตรวจสอบสมการด้วย RMSEP, RPD และ R²

ภาพที่ 8 ขั้นตอนการสร้างสมการเทียบมาตรฐานคุณภาพผลไม้แช่ส้มก่อนการทำแห้งด้วยเทคนิค NIRS

บทที่ 4

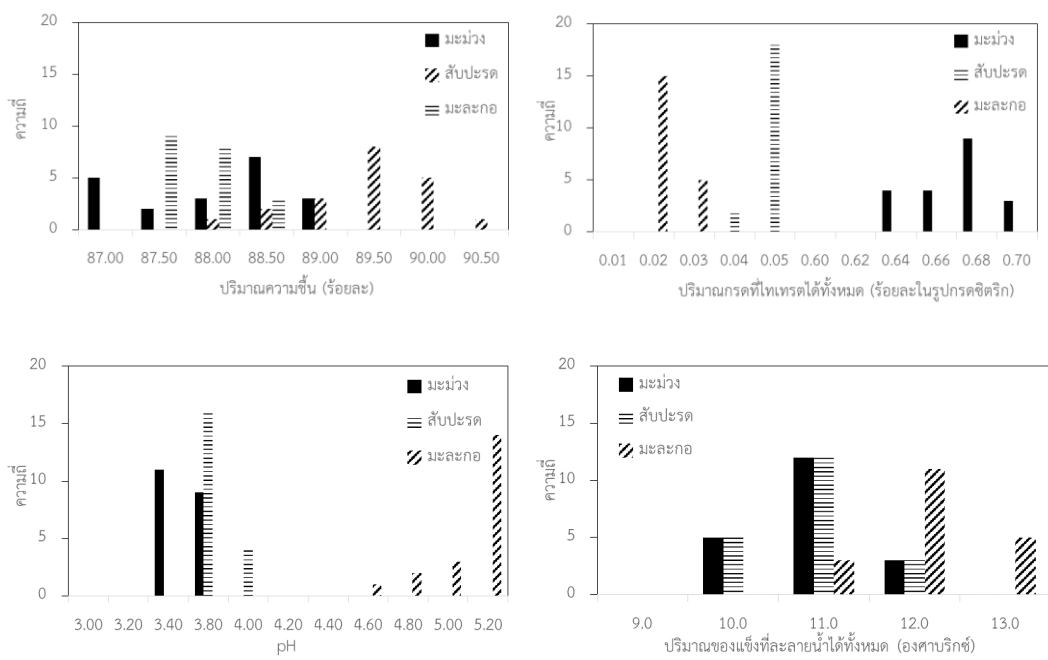
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบ

จากตารางที่ 11 แสดงคุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอก่อนการแช่ส้ม แสดงดังซึ่งเป็นระดับการสุกที่ใช้ในการผลิตผลไม้แช่ส้ม พบว่าปัจจัยในการเลือกระดับการสุกของผลไม้ที่จะนำมาศึกษาคือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสับปะรดอยู่ในช่วง 9.8-11.2 องศาบริกซ์ ซึ่งเป็นระดับการสุกที่ใช้ในการผลิตสับปะรดแช่ส้มเช่นเดียวกับการศึกษาของ Zapata Montoya และ Montoya Rodas (2012) ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตสับปะรดแช่ส้ม สำหรับมะม่วงมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10.0-13.0 องศาบริกซ์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Alakali และคณะ (2006) ที่คัดเลือกมะม่วงโดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10.0-12.0 องศาบริกซ์ เช่นเดียวกับระดับการสุกของมะละกอกที่พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดโดยเฉลี่ย 11.9 องศาบริกซ์ และความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 4.60-5.17 ซึ่งสอดคล้องกับระดับการสุกของมะละกอกที่ใช้ในการศึกษามะละกอกแช่ส้มของ Fernandes และคณะ (2006) ดังนั้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอกมีระดับการสุกที่สามารถทำการแช่ส้มได้ สำหรับข้อมูลการกระจายตัวของปริมาณความชื้น ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะม่วง สับปะรด และมะละกอกแสดงดังภาพที่ 9

ตารางที่ 11 คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอสดจำนวนอย่างละ 20 ชิ้น

ชนิดผลไม้สด	คุณภาพ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
มะม่วง	ความชื้น (ร้อยละ)	82.30	88.98	87.80	1.29
	TA (ร้อยละกรดซิตริก)	0.616	0.752	0.672	0.034
	pH	3.26	3.66	3.41	0.14
	TSS (องศาบริกซ์)	10.0	13.0	11.0	0.8
สับปะรด	ความชื้น (ร้อยละ)	87.50	90.40	89.21	0.89
	TA (ร้อยละกรดซิตริก)	0.035	0.050	0.043	0.003
	pH	3.40	3.88	3.73	0.13
	TSS (องศาบริกซ์)	9.8	11.2	10.5	0.5
มะละกอ	ความชื้น (ร้อยละ)	87.30	88.07	87.76	0.30
	TA (ร้อยละกรดซิตริก)	0.016	0.021	0.018	0.002
	pH	4.60	5.17	5.04	0.18
	TSS (องศาบริกซ์)	10.8	13.4	11.9	0.6



ภาพที่ 9 การกระจายตัวคุณภาพของมะม่วง สับปะรด และมะละกอ



4.2 คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้ม

คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้มที่สภาวะแตกต่างกัน จำนวน 50 สภาวะ แสดงดังตารางที่ 12 พบว่ามะละกอแช่ส้มจะมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดที่ต่ำกว่ามะม่วงและสับปะรดแช่ส้ม ซึ่งสอดคล้องกับ pH ของมะละกอแช่ส้มที่มีปริมาณสูง และช่วงของอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสมีค่าเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกันคือ 1.03-1.04 และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 13.7-61.9 องศาบริกซ์ ซึ่งในการศึกษาคั้งนี้ได้จัดเตรียมตัวอย่างขึ้นผลไม้แช่ส้มให้มีคุณลักษณะที่หลากหลาย เนื่องจากการสร้างสมการทำนายด้วยเทคนิค NIRS จำเป็นต้องใช้ตัวอย่างที่มีข้อมูลกว้างพอ เพื่อให้สมการทำนายมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

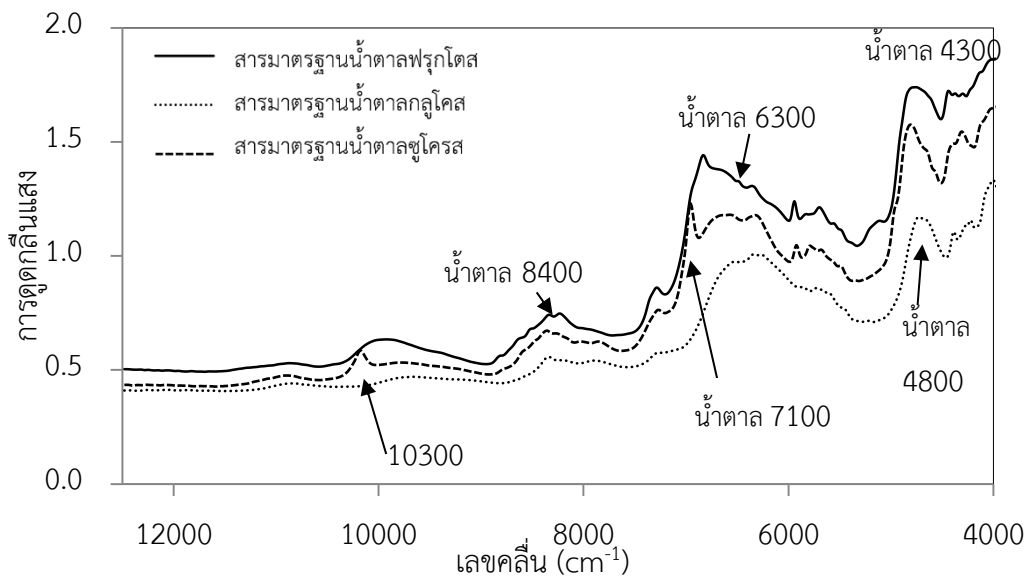


ตารางที่ 12 คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้ม

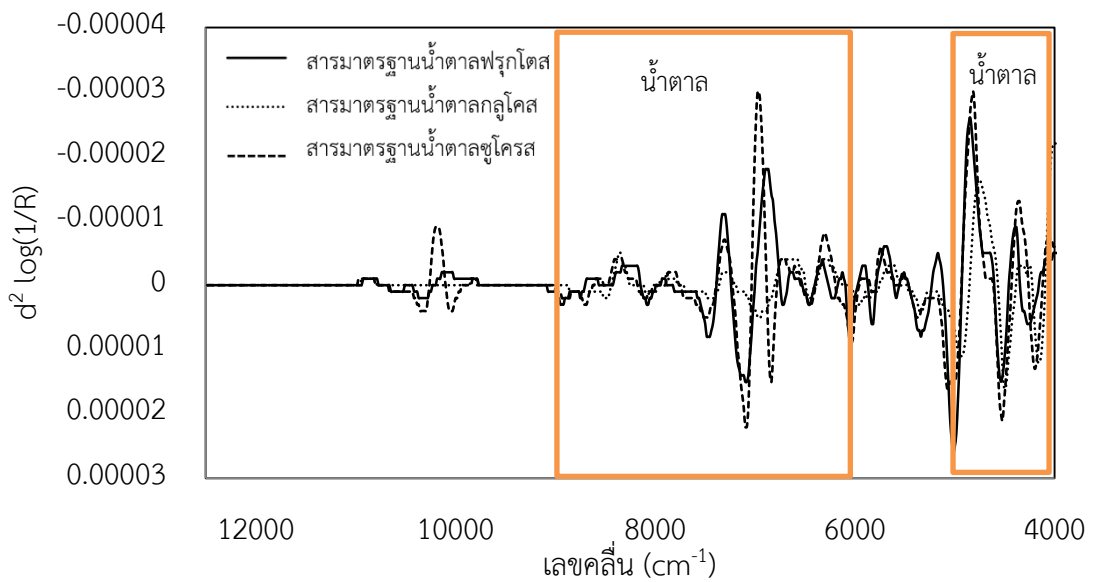
ชนิดผลไม้ ภายหลังแช่ ส้ม	จำนวน ชิ้น	คุณภาพ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
มะม่วง	200	ความชื้น (ร้อยละ)	20.06	83.38	63.71	11.84
		TA (ร้อยละกรดซิตริก)	0.015	0.441	0.131	0.077
		pH	2.12	4.50	3.07	0.47
		TSS (องศาบริกซ์)	17.6	61.9	34.7	9.0
		น้ำตาลซูโครส (mg/g sample)	16.07	358.74	144.92	57.02
		น้ำตาลกลูโคส (mg/g sample)	5.81	105.22	37.79	19.60
		น้ำตาลฟรุกโตส (mg/g sample)	8.48	89.95	40.99	21.00
		TS.S ⁻¹	1.03	3.99	1.68	0.61
สับปะรด	40	ความชื้น (ร้อยละ) *	53.11	70.49	60.78	5.28
	200	TA (ร้อยละกรดซิตริก)	0.017	0.209	0.054	0.023
		pH	2.53	4.15	3.19	0.42
		น้ำตาลซูโครส (mg/g sample)	17.40	374.36	91.30	61.92
		น้ำตาลกลูโคส (mg/g sample)	4.80	285.06	27.81	30.60
		น้ำตาลฟรุกโตส (mg/g sample)	4.21	300.78	27.19	30.85
		TSS (องศาบริกซ์)	13.7	53.6	29.4	9.7
		TS.S ⁻¹	1.04	3.59	1.59	0.55
มะละกอ	200	ความชื้น (ร้อยละ)	41.04	81.03	66.32	9.50
		TA (ร้อยละกรดซิตริก)	0.016	0.066	0.036	0.010
		pH	2.66	4.87	3.58	0.49
		TSS (องศาบริกซ์)	19.5	60.1	34.5	9.5
		น้ำตาลซูโครส (mg/g sample)	41.43	579.16	208.16	109.68
		น้ำตาลกลูโคส (mg/g sample)	7.40	312.48	91.23	55.94
		น้ำตาลฟรุกโตส (mg/g sample)	3.76	314.12	66.86	52.79
		TS.S ⁻¹	1.04	3.36	1.84	0.47

4.3 ผลการศึกษาตำแหน่งการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานและวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสารละลายออสโมติก

ลักษณะเส้นสเปกตรัมของสารมาตรฐานน้ำตาลแต่ละชนิดแสดงดังภาพที่ 10 มีการดูดกลืนแสงที่คล้ายคลึงกัน ณ ตำแหน่ง 8400 6300 4800 4500 และ 4300 cm^{-1} แต่ทั้งนี้ลักษณะเส้นสเปกตรัมยังมีความชัดเจนไม่เพียงพอที่จะสามารถจำแนกความแตกต่างของการดูดกลืนแสงได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงทำการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสอง เพื่อให้หายอดฟีกมีลักษณะที่ชัดเจนแสดงดังภาพที่ 11 และลดอิทธิของขนาดอนุภาคของสารมาตรฐานที่ไม่เท่ากัน โดยพบว่าสารมาตรฐานน้ำตาลกลูโคสมีความละเอียดมากกว่าสารมาตรฐานน้ำตาลฟรุกโตสและน้ำตาลกลูโคส เส้นสเปกตรัมหลังจากที่ผ่านการปรับแต่งและลดอิทธิพลแล้วจะสามารถสังเกตเห็นฟีกที่ชัดเจน ตำแหน่งเลขคลื่น 7100 และ 7000 cm^{-1} ของสารมาตรฐานน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลฟรุกโตสมีการดูดกลืนที่ตำแหน่งเดียว ซึ่งน้ำตาลซูโครสมีน้ำตาลฟรุกโตสเป็นองค์ประกอบย่อย โดยตำแหน่ง 7100 เป็นการสั่นแบบคอมบิเนชันของพันธะ O-H และที่ตำแหน่ง 10300 cm^{-1} จะสังเกตเห็นฟีกที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องกับน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส (Wang และคณะ, 2017) การดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานจำนวน 3 ชนิดได้แก่น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตสมีการดูดกลืนแสงที่เหมือนกัน ณ บริเวณ 4860-4181 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับ Rambla และคณะ (1997) ที่พบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นการสั่นแบบคอมบิเนชันของพันธะ C-H, O-H ภายในโมเลกุลน้ำตาล อีกทั้งยังพบว่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานน้ำตาลบริเวณ 6300 cm^{-1} สอดคล้องกับการดูดกลืนแสงในตัวอย่างไซรัปที่มีกลืนและชนิดของน้ำตาลแตกต่างกัน ซึ่ง Henn และคณะ (2017) ได้ระบุไว้ว่าตำแหน่งดังกล่าวเป็นพันธะระหว่างโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรต

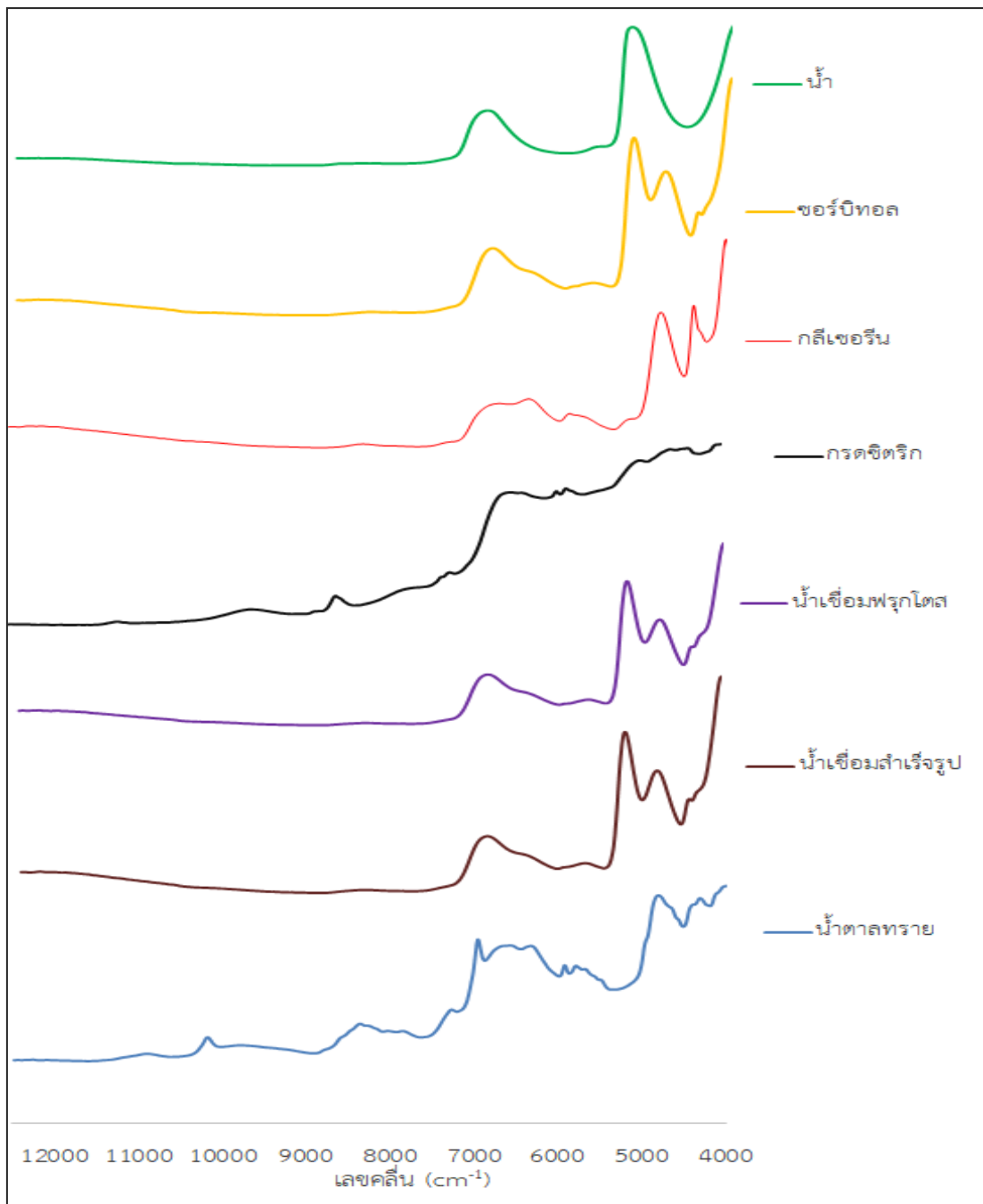


ภาพที่ 10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIRS ของตัวอย่างสารมาตรฐานน้ำตาลซูโครสความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 สารมาตรฐานน้ำตาลกลูโคสความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 และสารมาตรฐานน้ำตาลฟรุกโตสความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.0



ภาพที่ 11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIRS ของตัวอย่างสารมาตรฐานน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตสแบบผ่งที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสอง

สำหรับเส้นสเปกตรัมของส่วนประกอบที่ใช้เป็นส่วนผสมในสารละลายออสโมติกได้แก่ น้ำ น้ำตาลทราย น้ำเชื่อมสำเร็จรูปที่มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลซูโครสร้อยละโดยน้ำหนัก 50 น้ำตาล กลูโคสร้อยละโดยน้ำหนัก 25 และน้ำตาลฟรุกโตสร้อยละโดยน้ำหนัก 25 ที่มีความหวาน 70 องศา บริกซ์ น้ำเชื่อมฟรุกโตสเข้มข้นที่มีความหวาน 55 องศาบริกซ์ กรดซิตริกในรูปแบบของแข็ง กลีเซอริน ชนิดเหลว และซอร์บิทอลชนิดเหลว จากภาพที่ 12 พบว่าน้ำตาลทรายมีลักษณะการดูดกลืนแสงที่ ตำแหน่ง 10300 และ 7100 cm^{-1} เช่นเดียวกับสารมาตรฐานน้ำตาลซูโครสแสดงถึงการสั่นแบบคอม บินชั้นของพันธะ O-H สเปกตรัมของน้ำเชื่อมสำเร็จรูปที่มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสและน้ำเชื่อมฟรุกโตสมีการดูดกลืนแสงของน้ำที่ตำแหน่ง 6800 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบโอ เวอร์โทนอันดับหนึ่งของพันธะ O-H (Özdemir และคณะ, 2018) และการสั่นแบบคอมบิเนชันของ พันธะ O-H ณ เลขคลื่น 5128 cm^{-1} (Collrell และคณะ, 2011; Henn และคณะ, 2017) และยังพบ การดูดกลืนแสงของน้ำตาลบริเวณ 4860-4181 cm^{-1} (Rambla และคณะ, 1997) สำหรับกลีเซอรอล ชนิดของเหลวและซอร์บิทอลชนิดของเหลวมีการดูดกลืนแสงบริเวณ 7100-5900 และ 5000-4200 cm^{-1} โดยช่วงแรกเป็นการดูดกลืนแสงของน้ำ (Shafiee และ Minaei, 2018; Nordey และคณะ, 2017; Marques และคณะ, 2016) และช่วงที่สองเป็นการดูดกลืนแสงของน้ำตาล เมื่อพิจารณา วัตถุประสงค์ที่ใช้ในสารละลายออสโมติกที่มีลักษณะเป็นของเหลวจะสังเกตเห็นพีคของการดูดกลืนแสงของ น้ำชัดเจนที่สุด เนื่องจากโมเลกุลของน้ำ (O-H group) มีคุณสมบัติการดูดกลืนรังสีมากในช่วงความ ยาวคลื่น NIRS (Ozdemir และคณะ, 2018)

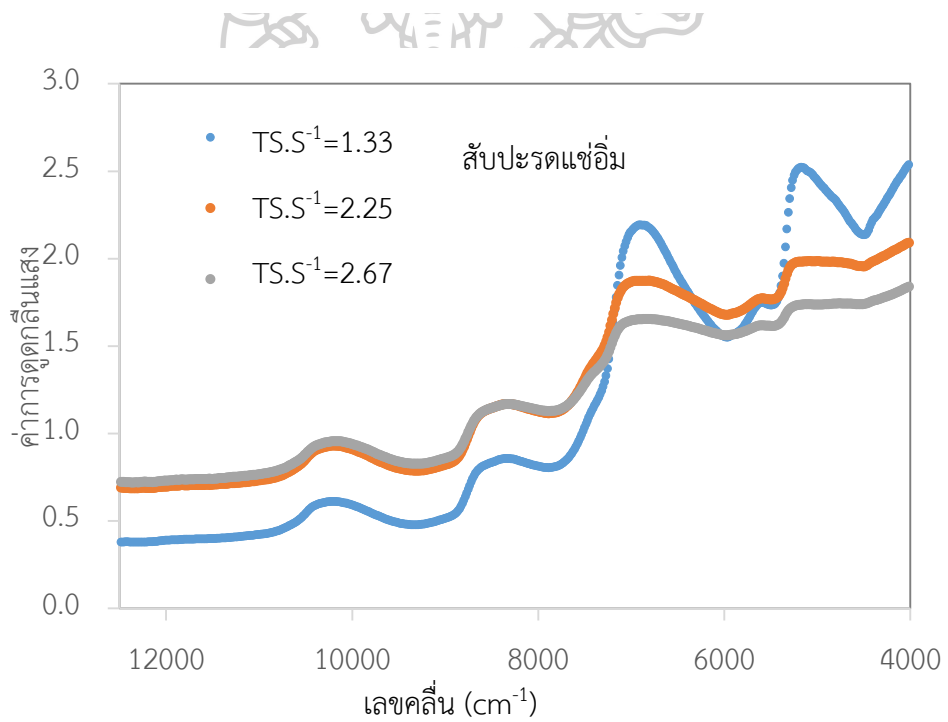
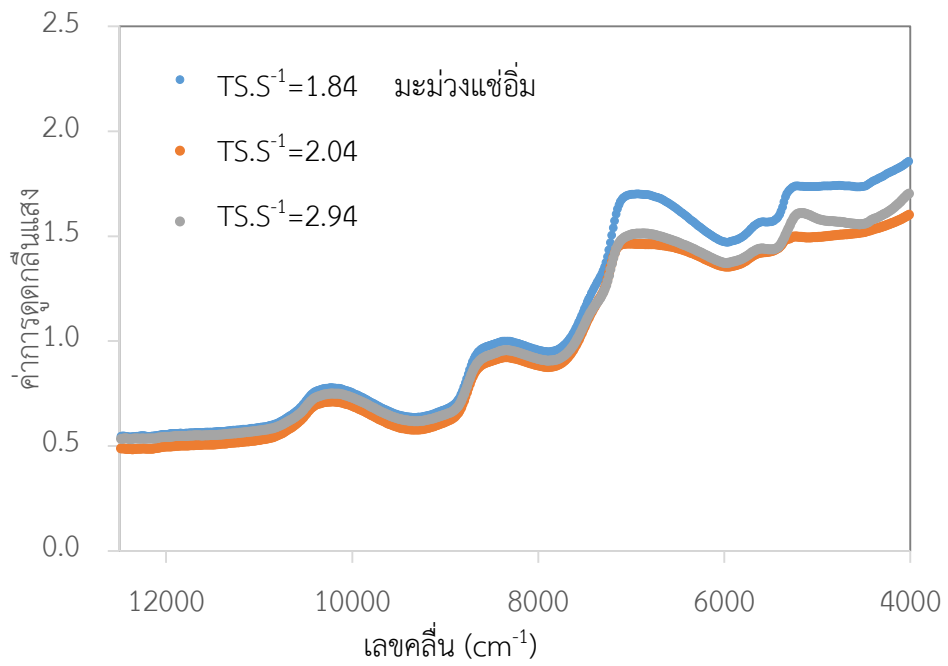


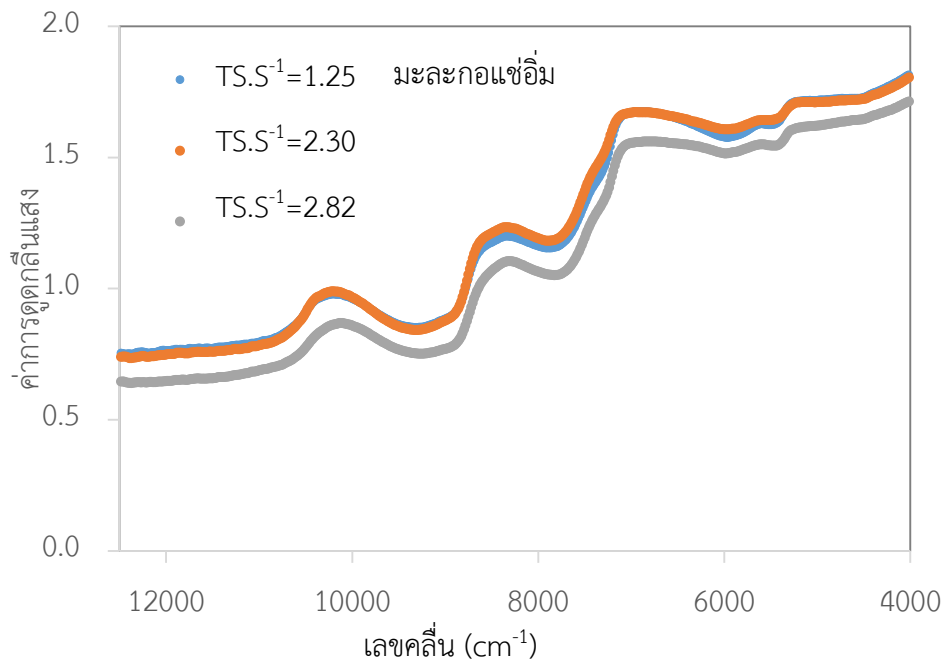
ภาพที่ 12 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIRS ของวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในสารละลายออสโมติก

4.4 ผลของใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการติดตามคุณภาพของผลไม้ภายหลังแช่ส้ม

4.4.1 ลักษณะเส้นสเปกตรัมและการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่ส้ม

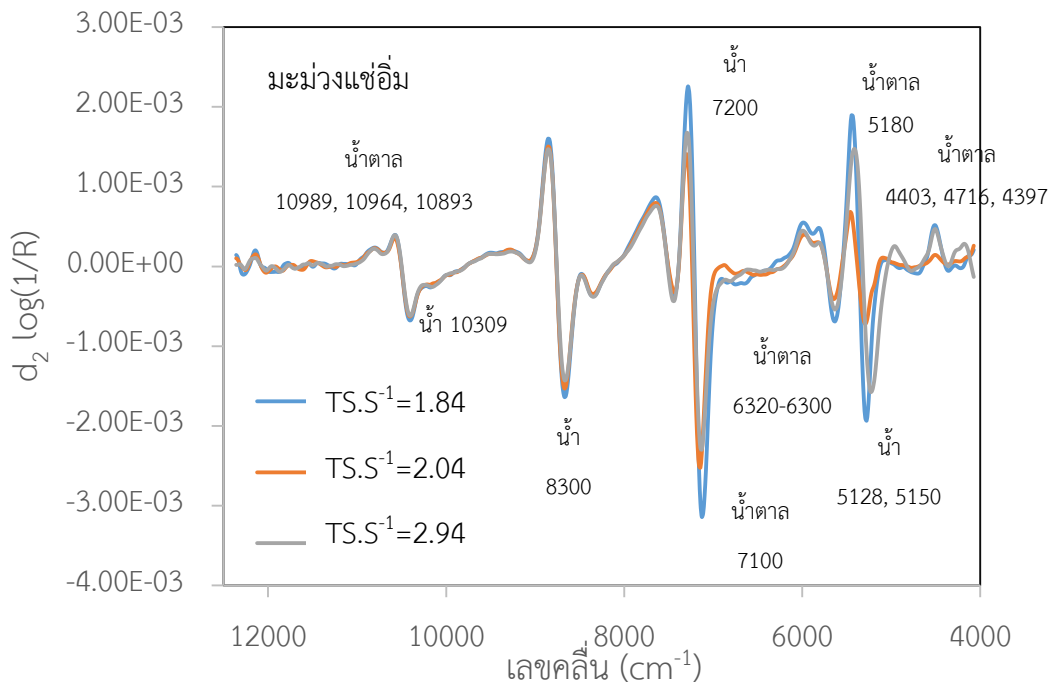
เส้นสเปกตรัมของผลไม้ทั้งสามชนิดที่ผ่านการแช่ส้มแสดงดังภาพที่ 13 จะสังเกตเห็นว่าเส้นสเปกตรัมมีการดูดกลืนแสงที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เนื่องจากมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่ส้มมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ได้แก่ น้ำ น้ำตาล และกรด ซึ่งน้ำเป็นองค์ประกอบของตัวอย่างจะส่งผลให้ลักษณะเส้นสเปกตรัมมีการดูดกลืนแสงที่ซ้อนทับกัน (overlapping) ทำให้เกิดพิคขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมช่วงกว้าง (board band) ทำให้เกิดพิคขนาดใหญ่จำนวน 4 ช่วง ได้แก่ เลขคลื่น 10800-9750, 8800-7900, 7280-6400 และ 5400-4600 cm^{-1} ซึ่งมีลักษณะการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกับสตอเบอร์รี่วัดด้วยเครื่อง FT-NIR รุ่นเดียวกัน ซึ่งการดูดกลืนแสงในช่วงเลขคลื่น 10800-9750 cm^{-1} มีการสั่นแบบโอเวอร์โทนอันดับสองของพันธะ O-H, 8800-7900 cm^{-1} มีการสั่นแบบโอเวอร์โทนอันดับหนึ่งของพันธะ O-H, 7280-6400 cm^{-1} มีการสั่นแบบโอเวอร์โทนอันดับหนึ่งของพันธะ O-H และ 5400-4600 cm^{-1} มีการสั่นแบบคอมบิเนชันของพันธะ O-H ซึ่งการดูดกลืนดังกล่าวเป็นการดูดกลืนของโมเลกุลของน้ำ (Amodio และคณะ, 2017; Magwaza และคณะ, 2014; Rambla และคณะ, 1997; Rungpichayapichet และคณะ, 2015) เนื่องจากผลไม้ที่ผ่านการแช่ส้มมีน้ำเป็นส่วนประกอบส่งผลให้พิคของน้ำอาจเกิดการซ้อนทับพิคที่เป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลไม้แช่ส้มได้ ดังนั้นก่อนนำเส้นสเปกตรัมไปหาความสัมพันธ์กับค่าทางเคมีค่าจริงจึงต้องมีการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมด้วยวิธีต่างๆให้ผลการปรับแต่งสเปกตรัมดังภาพที่ 14 โดยการปรับแต่งสเปกตรัมของมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่ส้มสามารถแยกพิคที่ซ้อนทับกันออกมาได้ชัดเจนขึ้นพบที่เลขคลื่น 10989, 10964, 10893 7100 cm^{-1} ซึ่ง Jannok และคณะ (2014) รายงานว่าตำแหน่งดังกล่าวเป็นการสั่นแบบโอเวอร์โทนอันดับสามของพันธะ C-H และที่เลขคลื่น 7100 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบคอมบิเนชันของพันธะ O-H และช่วงเลขคลื่น 6320-6300, 4403, 4716, 4397 และ 5181 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนแสงของน้ำตาล (Osborne และคณะ, 1993; Wang และคณะ, 2017)



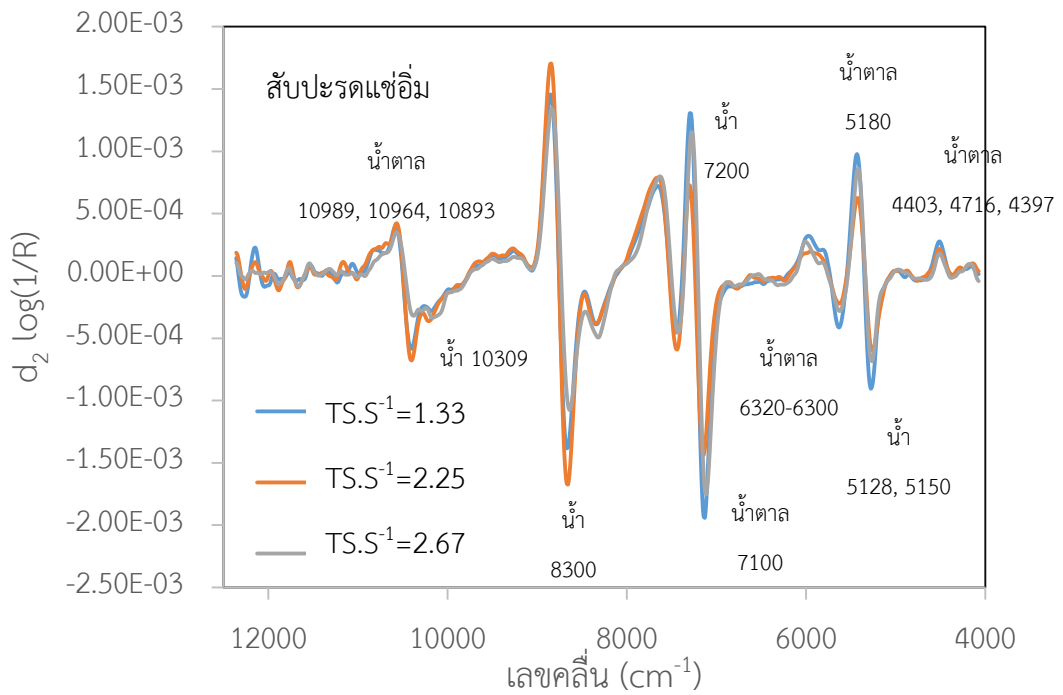


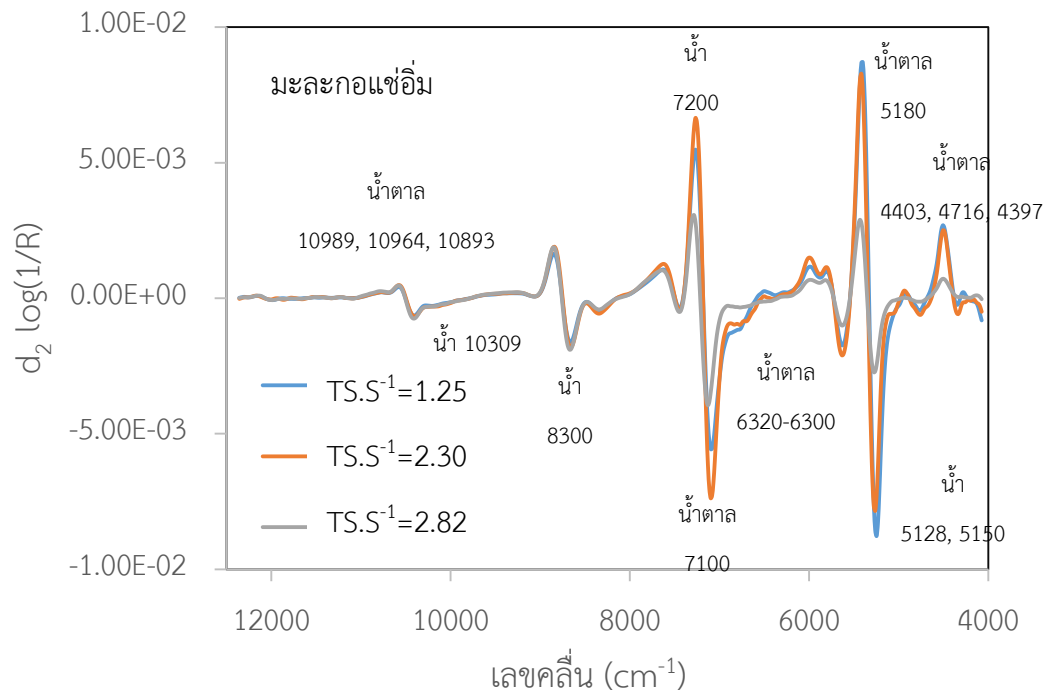
ภาพที่ 13 เส้นสเปกตรัมเฉลี่ยของมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่เย็นก่อนการทำแห้งที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิค NIR



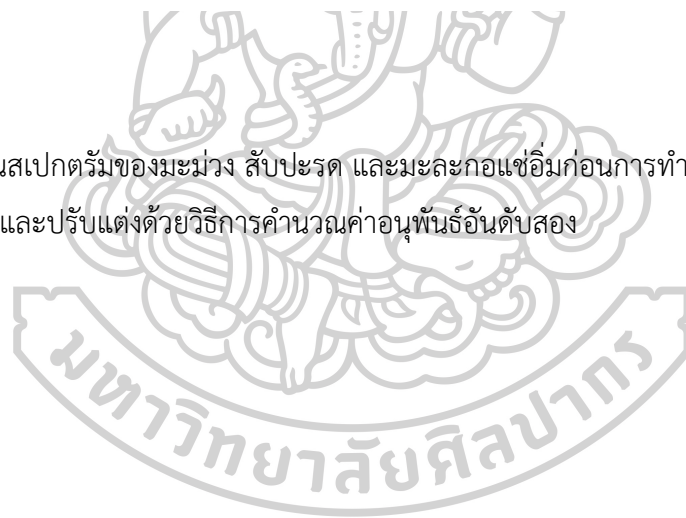


V ๗๓ ๖:๕๑ ๓๕๖ ๕





ภาพที่ 14 เส้นสเปกตรัมของมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่แข็งก่อนการทำแห้งที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิค NIRS และปรับแต่งด้วยวิธีการคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับสอง



4.4.2 ผลการสร้างสมการเทียบมาตรฐานของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่

อิม

4.4.2.1 ปริมาณความชื้น (MC)

- การสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณความชื้นด้วยวิธี PLSR

จากตารางที่ 13 แสดงข้อมูลทางสถิติของปริมาณความชื้นของมะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังแช่อิมโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มสมการเทียบมาตรฐานและกลุ่มสมการทวนสอบ โดยมีค่าปริมาณความชื้นของมะม่วงอยู่ในช่วงร้อยละ 34.88-82.24 และจากภาพที่ 15 แสดงการกระจายตัวของปริมาณความชื้นของผลไม้แช่อิมแต่ละชนิดพบว่าปริมาณความชื้นในชั้นมะม่วงและมะละกอแช่อิมมีลักษณะข้อมูลเข้าสู่ค่ากลางหรือ dunne effect ในขณะที่ปริมาณความชื้นของชั้นสับปะรดมีลักษณะ uniform คือมีการกระจายตัวของข้อมูลในปริมาณใกล้เคียงกัน (ฤทธิธิน, 2559) และตารางที่ 14 แสดงค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณความชื้นในมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิมทั้งแบบผลไม้ภายหลังแช่อิมแต่ละชนิดและผลไม้แช่อิมรวมสามชนิด พบว่าสมการเทียบมาตรฐานที่เหมาะสมในการทำนายค่าปริมาณความชื้นของมะม่วงภายหลังแช่อิมถูกปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (d_1) เพื่อลดอิทธิพลจากการกระเจิงแสงเนื่องจากตัวอย่างมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ และมีปริมาณความชื้นของชิ้นตัวอย่างที่แตกต่างกัน สำหรับสับปะรดภายหลังแช่อิมถูกปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่งร่วมกับการปรับแต่งความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (d_1+SNV) เพื่อลดอิทธิพลจากความชื้นและขนาดของตัวอย่างพร้อมทั้งแก้ไขปัญหาเรื่อง baseline offset ที่สเปกตรัมเลื่อนขึ้นตามแนวแกน y ในขณะที่มะละกอภายหลังแช่อิมถูกปรับแต่งด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (MSC) เพราะสเปกตรัมชั้นมะละกอได้รับอิทธิพลจากการกระเจิงแสงจนทำให้เกิด scattering effect ส่งผลให้สเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามเลขคลื่น (baseline shift) จนเกิดลักษณะปากแตร และปรากฏการณ์ดังกล่าวยังส่งผลต่อความเข้มของคลื่นสะท้อนซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสง (Nicolai และคณะ, 2007)

จากตารางที่ 14 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สำหรับทำนายปริมาณความชื้นของมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิมเท่ากับ 0.90, 0.82 และ 0.94 ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (RMSEP) เท่ากับร้อยละ 4.05, 2.24 และ 2.44 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (bias)

เท่ากับร้อยละ 1.05, 0.02 และ -0.36 และค่าสัดส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มทวนสอบสมการ (RPD) เท่ากับ 3.32, 2.33 และ 3.98 ตามลำดับชนิดผลไม้แช่อิ่ม เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของสมการทำนายปริมาณความชื้นของผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดพบว่าสมการทำนายปริมาณความชื้นที่สร้างจากมะม่วงแช่อิ่ม และสับปะรดแช่อิ่ม มีประสิทธิภาพใช้ตรวจคุณภาพด้วย เนื่องจากมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.82-0.90 ในขณะที่สมการทำนายปริมาณความชื้นของมะละกอแช่อิ่มมีประสิทธิภาพเพียงพอที่ใช้ในการประกันคุณภาพได้ (Williams, 2007) และสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับทำนายปริมาณความชื้นของผลไม้ภายหลังแช่อิ่มที่สร้างจากผลไม้สามชนิดที่เหมาะสมได้จากสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมด้วยวิธี MSC มีค่า R^2 เท่ากับ 0.91 ค่า RMSEP เท่ากับร้อยละ 3.29 ค่า bias เท่ากับร้อยละ -0.36 และ RPD เท่ากับ 3.41 จากรายงานของ Williams (2007) ได้ระบุประสิทธิภาพของการทำนายของสมการ โดยพิจารณาจาก R^2 ซึ่งพบว่าสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณความชื้นในผลไม้แช่อิ่มสามชนิดอยู่ในช่วงตรวจคุณภาพได้ เนื่องจากมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.82-0.90 และ RPD มากกว่า 1.5 สามารถนำไปใช้งานได้ (Budiastra และคณะ, 2017) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการทำนายปริมาณความชื้นของผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดพบว่าสมการที่สร้างจากมะละกอแช่อิ่มมีความแม่นยำในการทำนายสูงที่สุด รองลงมาคือมะม่วงแช่อิ่ม และสับปะรดแช่อิ่ม ทั้งนี้อาจเกิดจากจำนวนชิ้นสับปะรดแช่อิ่มที่ใช้ในการสร้างสมการมีจำนวนที่น้อย อีกทั้งช่วงของข้อมูลปริมาณความชื้นในชิ้นสับปะรดยังกว้างน้อยกว่าข้อมูลของมะม่วง และมะละกอแช่อิ่ม ดังนั้นการเพิ่มจำนวนตัวอย่างและความหลากหลายของปริมาณความชื้นจะทำให้มีการกระจายตัวของข้อมูลเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้สมการเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์ที่ดียิ่งขึ้น

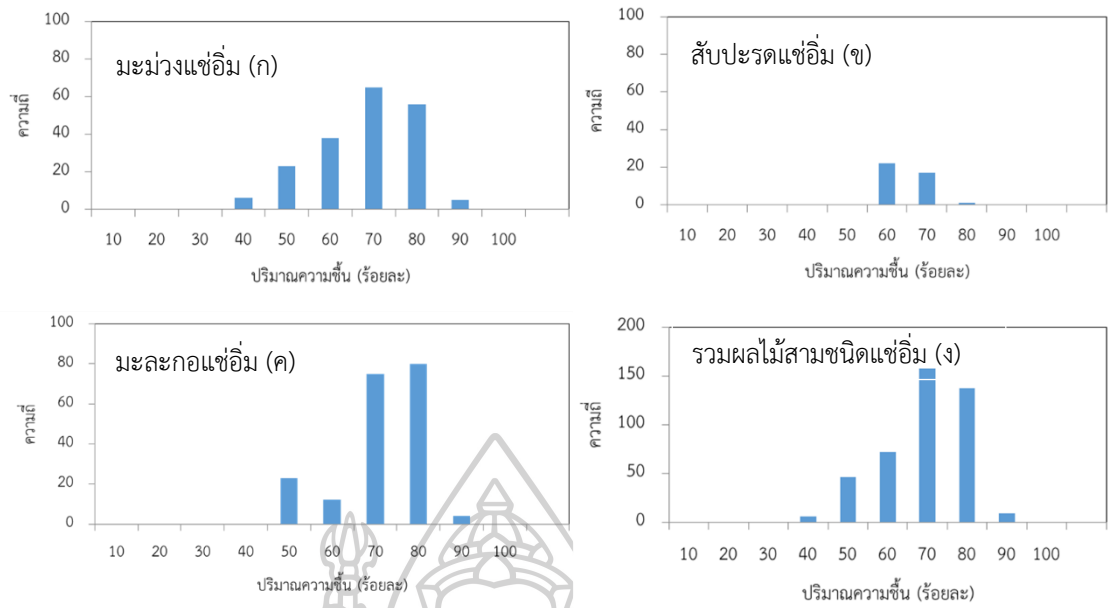
จากภาพที่ 15 แสดงการกระจายตัวของปริมาณความชื้นที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS ในผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอ และผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด พบว่าสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบสำหรับการทำนายปริมาณความชื้นในชิ้นมะม่วง และมะละกอแช่อิ่ม และสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับทำนายปริมาณความชื้นของผลไม้ภายหลังแช่อิ่มที่สร้างจากผลไม้สามชนิดมีความสัมพันธ์ที่ดีในเชิงเส้นตรงข้อมูลมีการกระจายตัวใกล้เส้นทแยงมุม (target line) บ่งบอกถึงการทำนายได้อย่างถูกต้อง โดย Zornoza และคณะ (2008) เสนอแนะว่า ค่า R^2 มากกว่า 0.90 และ RPD มากกว่า 3.0

หมายความว่าสมการทำนายให้ค่าการทำนายที่ดี ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายปริมาณความชื้นได้ในผลไม้แช่อิ่ม ในขณะที่สมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบสำหรับทำนายปริมาณความชื้นในชั้นสับปะรดแช่อิ่มพบว่าข้อมูลเข้าเส้นทแยงมุม แต่ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลไม่กว้าง และเกาะกลุ่ม

จากภาพที่ 17 แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของการทำนายปริมาณความชื้นของของผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดและผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด พบว่าสมการทำนายปริมาณความชื้นของขึ้นมะม่วง และสับปะรดแช่อิ่มเลือกใช้เลขคลื่นในช่วง 9411.5-7498.4 และ 6109.8-5446.3 cm^{-1} ในขณะที่สมการทำนายปริมาณความชื้นของขึ้นมะละกอแช่อิ่มและผลไม้รวมทั้งสามชนิดแช่อิ่มเลือกใช้เลขคลื่นในช่วง 9411.5-7498.4, 6109.8-5446.3 และ 4613.2-4242.9 cm^{-1} ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถอธิบายการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบภายในชั้นผลไม้ที่ศึกษาในสมการทำนาย โดยตำแหน่งเลขคลื่นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมากคือตำแหน่งที่มีการดูดกลืนขององค์ประกอบที่ต้องการศึกษามาก (ฤทธิธิน, 2559) เมื่อพิจารณาช่วงเลขคลื่นที่นำมาใช้ในการสร้างสมการทำนายปริมาณความชื้นพบว่าช่วงเลขคลื่นมีสอดคล้องกับตำแหน่งของน้ำอยู่ที่เลขคลื่น 8300, 6800 และ 5150 cm^{-1} โดยเฉพาะอย่างการดูดกลืนแสง ณ ตำแหน่ง 6800 cm^{-1} (Collell และคณะ, 2011) เป็นตำแหน่งการดูดกลืนแสงของโมเลกุลที่พบในชั้นผลไม้แช่อิ่มทั้งสามชนิด

ตารางที่ 13 ค่าสถิติของปริมาณความชื้นของมะม่วง สับประรด และมะละกอภายใต้เงื่อนไขการเก็บมาตรฐานและทดสอบสมการด้วยเทคนิค NIRS

ชนิดผลไม้	สมการเทียบมาตรฐาน (70%)			สมการทวนสอบ (30%)		
	จำนวนตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย	จำนวนตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย
มะม่วง	136	36.64-82.24	64.62	57	37.64-79.66	63.43
สับประรด	40	53.11-70.49	60.78	40	53.11-70.49	60.78
มะละกอ	138	41.00-81.00	66.58	56	45.2-80.90	65.40
รวมผลไม้	302	34.88-82.24	65.44	130	36.64-81.00	63.30

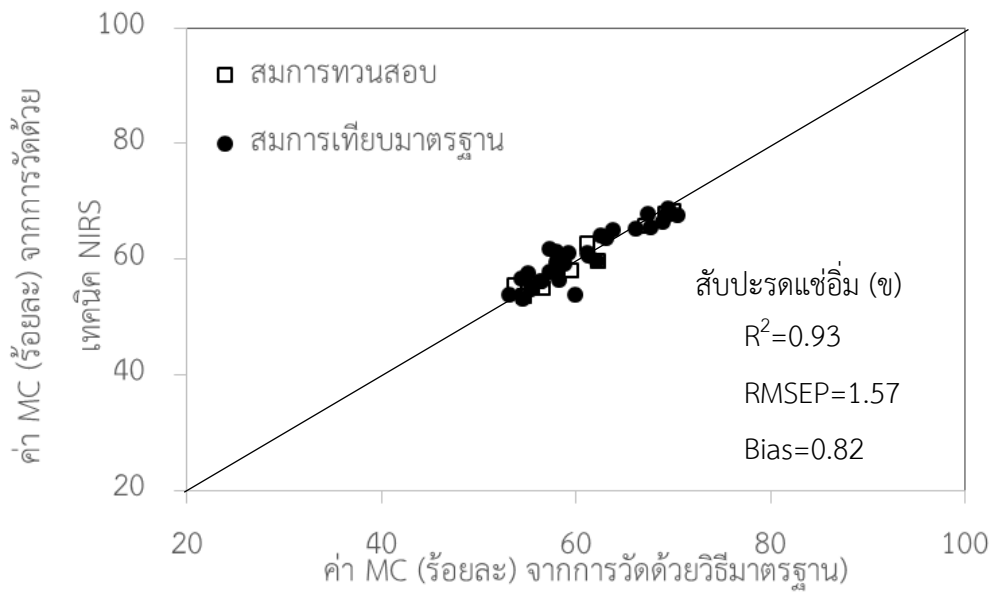
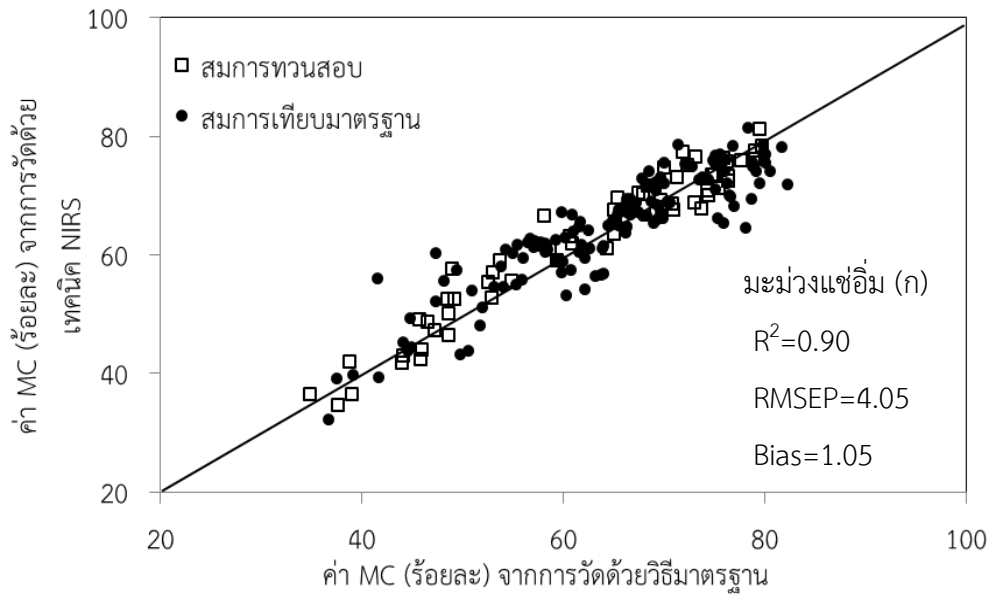


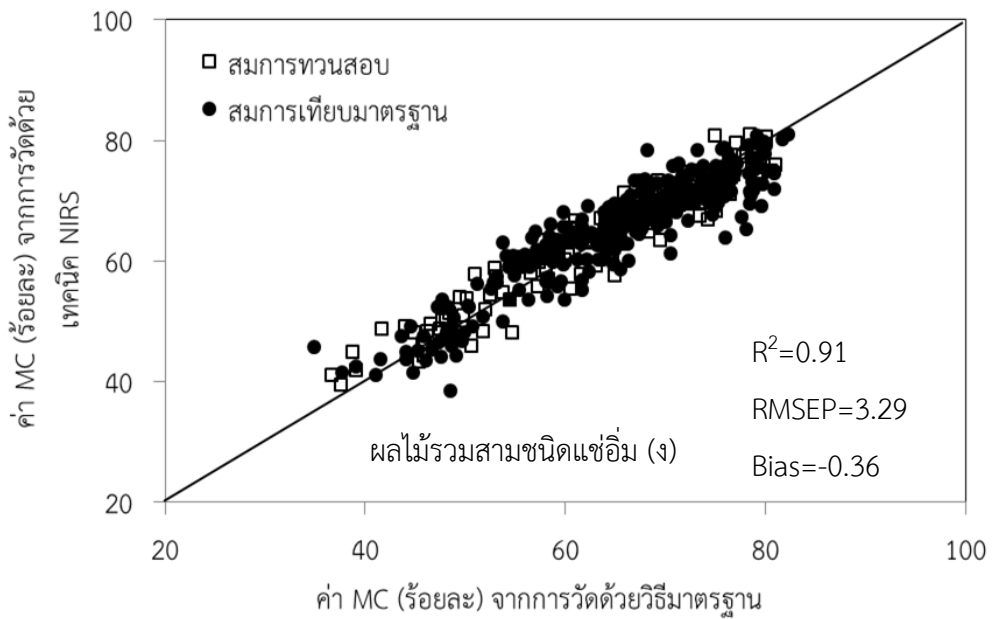
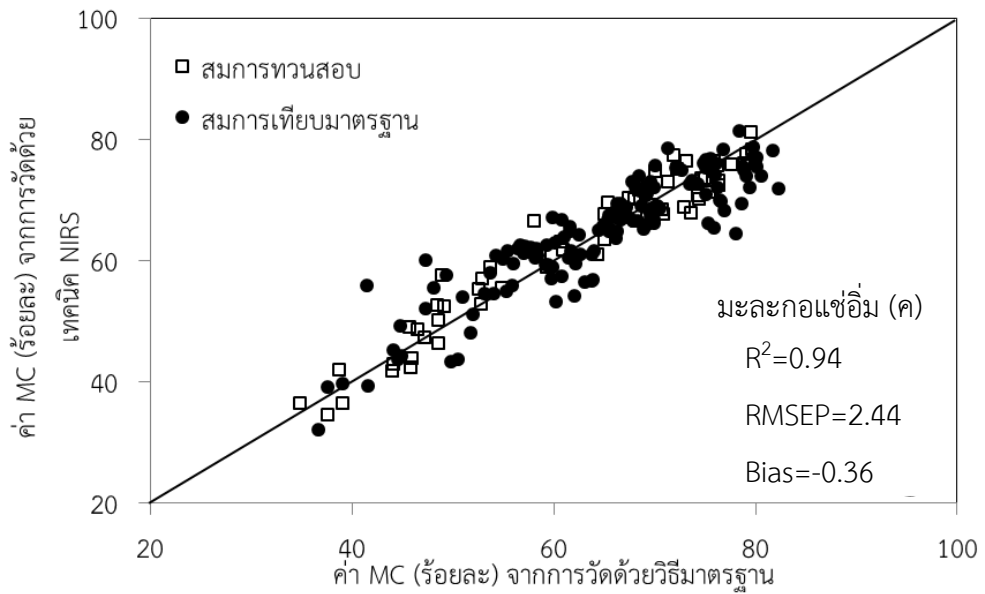
ภาพที่ 15 การกระจายตัวของปริมาณความชื้นของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่อิ่ม (ง)



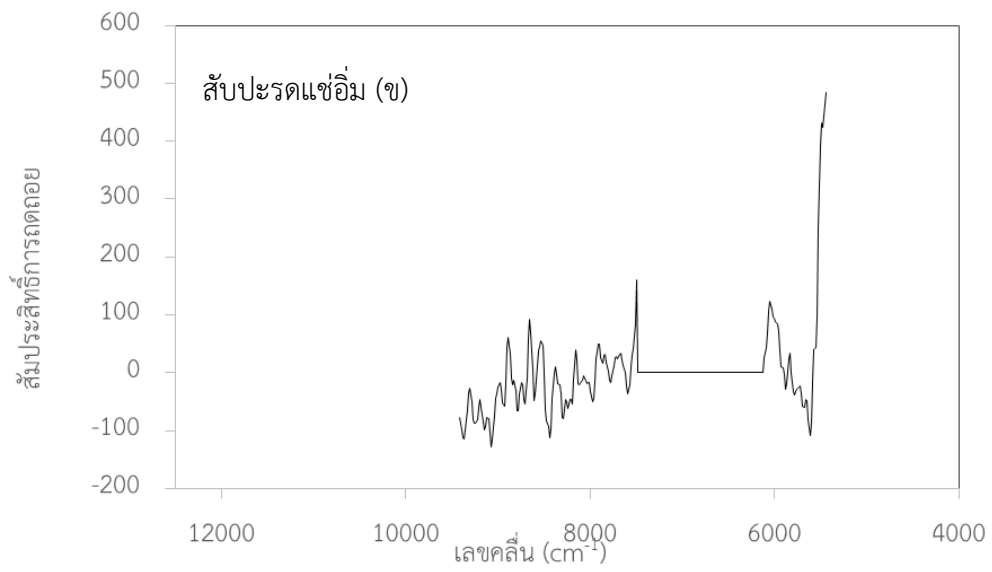
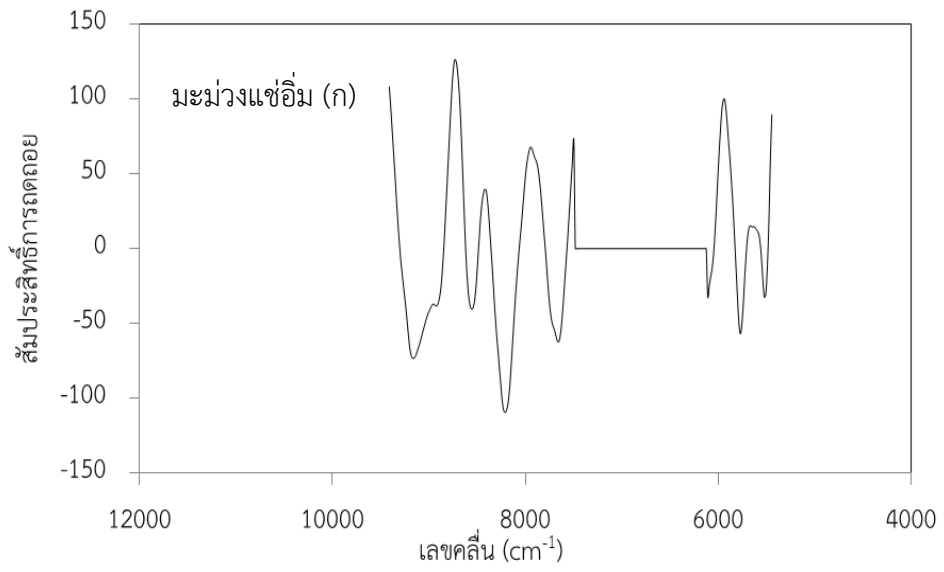
ตารางที่ 14 ค่าทางสถิติของสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบปริมาณความชื้นของมะม่วง สับปรวด และมะละกอภายหลังแช่โอเอ็ม

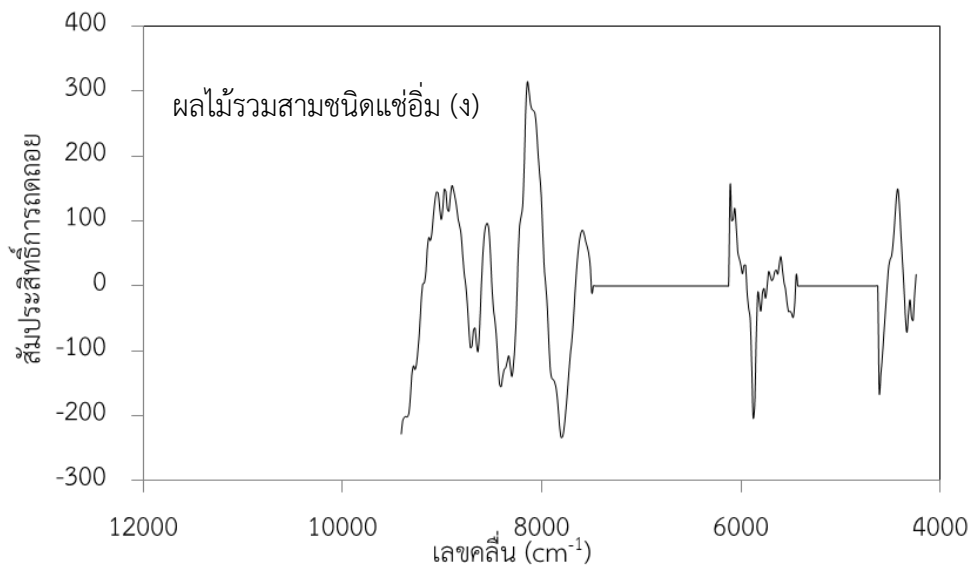
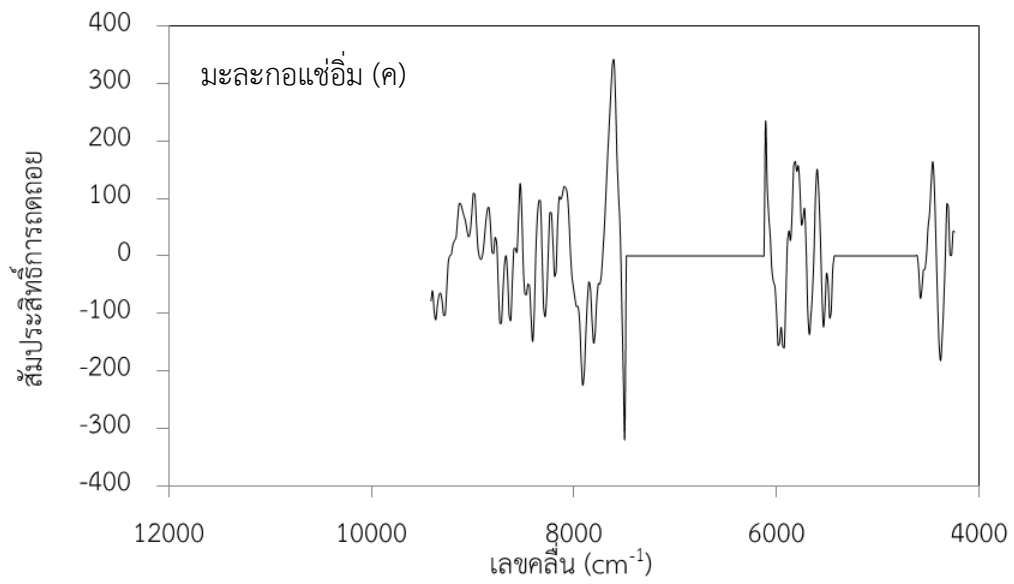
ชนิดผลไม้มะม่วง	การปรับแต่งสเปกตรัม	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	PLS factor		สมการเทียบมาตรฐาน (70%)		สมการทวนสอบ (30%)		
			R ²	RMSEC	R ²	RMSEP	bias	RPD	
มะม่วง	d ₁ +snv	9411.5-7498.4	0.893	3.51	0.903	4.05	1.05	3.32	
		6109.8-5446.3							
		6109.8-5446.3	0.832	2.19	0.816	2.24	0.018	2.33	
สับปรวด	d ₁ +snv	9411.5-7498.4	0.954	2.07	0.936	2.44	-0.357	3.98	
		6109.8-5446.3							
		4613.2-4242.9							
มะละกอ	MSC	9411.5-7498.4	0.847	3.81	0.913	3.29	-0.357	3.41	
		6109.8-5446.3							
		4613.2-4242.9							





ภาพที่ 16 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายปริมาณความชื้นของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้วรทั้งสามชนิดภายหลังการแช่อิ่ม (ง)





ภาพที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสมการเทียบมาตรฐานสำหรับการทำนายปริมาณความชื้นของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่เย็น (ง)

สำหรับการทดสอบสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณความชื้นในขึ้นผลไม้แช่อิ่ม แต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอ ภายหลังจากการแช่อิ่ม และสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณความชื้นในขึ้นผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังจากการแช่อิ่ม พบว่ามีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 12099 เนื่องจากมีค่า $bias < T_b$, $SEP < T_{ue}$ และ $T_{obs} < T_{value}$ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ มาตรฐาน ISO 12099 ดังตารางที่ 15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการทำนายปริมาณขึ้นมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 15 การทดสอบสมการเทียบมาตรฐานการทำนายปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน ISO 12099

ชนิดผลไม้ภายหลังแช่อิ่ม	$bias < T_b$	$SEP < T_{ue}$	$T_{obs} < T_{value}$	กฎ 3 ข้อ
มะม่วง	$0.03 < 0.87$	$3.28 < 4.31$	$-0.97 < 2.00$	✓
สับปะรด	$0.82 < 1.01$	$1.42 < 3.51$	$-0.17 < 2.26$	✓
มะละกอ	$-0.15 < 0.69$	$2.58 < 2.59$	$0.50 < 2.00$	✓
รวมผลไม้ 3 ชนิด	$-0.36 < 0.57$	$3.28 < 4.29$	$-1.41 < 1.98$	✓

4.4.2.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด (TA)

- การสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดด้วยวิธี PLSR

จากตารางที่ 16 แสดงข้อมูลทางสถิติของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบ โดยค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.015-0.261 และจากภาพที่ 18 แสดงการกระจายตัวของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิด พบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดในชั้นมะม่วงแช่อิ่มมีการกระจายข้อมูลแบบ uniform คือมีการกระจายข้อมูลอย่างสม่ำเสมอในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดในชั้นสับปะรด และมะละกอแช่อิ่มมีลักษณะข้อมูลเข้าสู่ค่ากลางหรือ dunne effect จากตารางที่ 17 แสดงค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดในมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่มทั้งแบบผลไม้ภายหลังแช่อิ่มแต่ละชนิดและผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด พบว่าสมการเทียบมาตรฐานที่เหมาะสมในการทำนายค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ (R^2) เท่ากับ 0.800 ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ ร้อยละ 0.031 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (bias) เท่ากับร้อยละ 0.002 และค่าสัดส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มทวนสอบสมการ (RPD) เท่ากับ 2.24 ซึ่งประสิทธิภาพของสมการเทียบเท่ากับการคัดเลือกหรือประมาณค่าเบื้องต้นเนื่องจากมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.65-0.81 (Williams, 2007) อีกทั้งค่า RPD ยังมีค่ามากกว่า 2.0 แสดงให้เห็นว่าสมการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วงแช่อิ่มที่สร้างด้วยเทคนิค NIRS มีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับสมการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของสับปะรด และมะละกอแช่อิ่มที่พบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.675, 0.652 RMSEP เท่ากับ 0.011, 0.005 bias เท่ากับ 7.92E-05 และ 0.001 และ RPD เท่ากับ 1.75, 1.74 ตามลำดับชนิดผลไม้แช่อิ่ม ในขณะที่ประสิทธิภาพของสมการทำนายจะอยู่ในระดับเดียวกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดในชั้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม พบว่าสมการทำนายที่สร้างจากข้อมูลของมะม่วงแช่อิ่มมีค่า R^2 และ RPD สูงกว่าสมการทำนายที่สร้างจากข้อมูลสับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม ทั้งนี้เกิดจากข้อมูลปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วงแช่อิ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ และช่วงของข้อมูลมีค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดมีค่าสูง ซึ่งมากกว่าในชั้นสับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Amodio และคณะ (2017) ที่ศึกษาการใช้

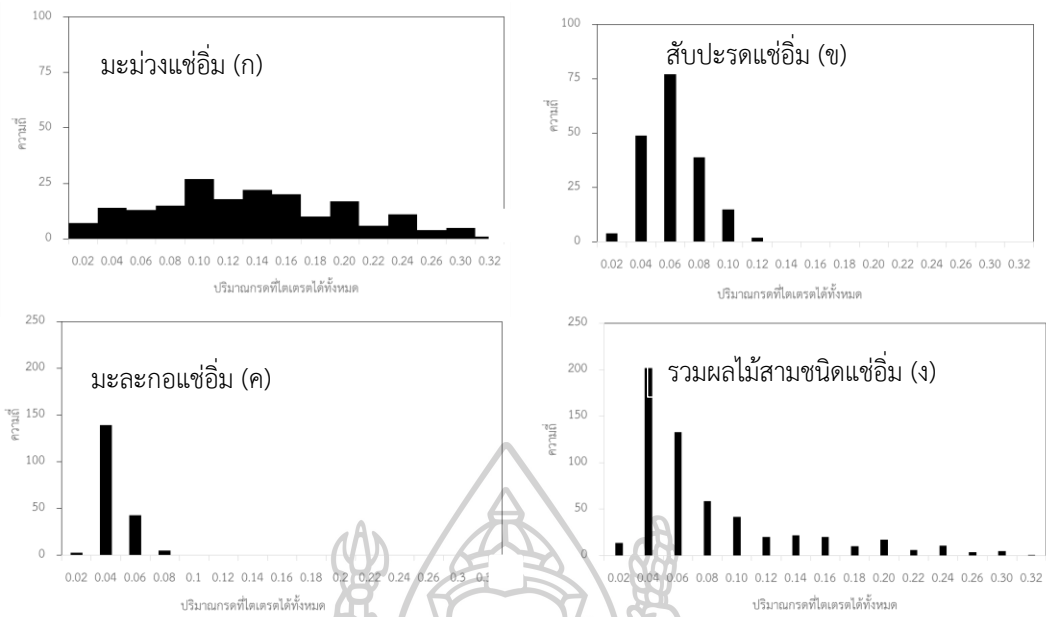
เทคนิค NIRS ในการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดในสตอร์รี่เบอร์รี่ พบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.57 และ RMSECV เท่ากับ 0.13 % เนื่องจากปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดมีความเข้มข้นที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ซึ่งปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดมีน้อยเนื่องจากหมู่อะตอมที่แสดงสมบัติเฉพาะในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ต่ำ (Włodarska และคณะ, 2018) สำหรับสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดในชั้นผลไม้แช่อิ่มสามชนิดพบว่า เป็นสมการที่ใช้ในการคัดเลือกเบื้องต้นได้ เนื่องจากมีค่าร้อยละ R^2 เท่ากับ 0.515 ค่า RMSEP เท่ากับร้อยละ 0.034 ค่า bias เท่ากับร้อยละ 0.012 และ RPD เท่ากับ 1.52

ภาพที่ 18 แสดงการกระจายตัวของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS ในผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอ และผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด พบว่าสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบสำหรับการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดในชั้นมะม่วง และสับปะรดแช่อิ่มมีความสัมพันธ์ที่ดีในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการกระจายตัวตลอดเส้นทแยงมุม (target line) แม้จะอยู่ห่างจากเส้นทแยงมุมออกมาเล็กน้อย ในทางกลับกันสมการปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ที่สร้างจากชั้นมะละกอแช่อิ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลน้อย ข้อมูลเกาะกลุ่ม และสมการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ที่สร้างจากชั้นผลไม้แช่อิ่มสามชนิด พบว่าข้อมูลมีการเกาะกลุ่มบริเวณด้านล่างของเส้นทแยงมุม เนื่องจากปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะละกอ และสับปะรดแช่อิ่มมีค่าน้อยทำให้การกระจายข้อมูลไม่สม่ำเสมอ และข้อมูลอยู่ใต้เส้นทแยงมุม

สำหรับการเลือกใช้เลขคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดมี 2 ช่วงได้แก่ 9411.5-7498.4 และ 4613.2-4242.9 cm^{-1} **ดั่งผิตพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง** ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนแสงของกรดซิตริก ณ บริเวณ 8445 cm^{-1} และ 4323 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบคอมบิเนชันของพันธะ C-H ของกรดอินทรีย์ (Włodarska และคณะ, 2018)

ตารางที่ 16 ค่าสถิติของปริมาณการตั้งเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วง สับปรด และมะละกอกอภายหลังแช่เย็นสำหรับสร้างสมการเทียบมาตรฐาน และทวนสอบ
สมการด้วยเทคนิค NIRS

ชนิดผลไม้ภายหลัง แช่เย็น	สมการเทียบมาตรฐาน (70%)				สมการทวนสอบ (30%)			
	จำนวน ตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (ร้อยละ)	จำนวน ตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (ร้อยละ)
มะม่วง	138	0.015-0.315	0.128	0.065	52	0.018-0.271	0.122	0.071
สับปรด	134	0.017-0.107	0.053	0.019	52	0.020-0.102	0.054	0.020
มะละกอก	135	0.018-0.066	0.034	0.009	55	0.021-0.063	0.038	0.009
รวมผลไม้ 3 ชนิด	407	0.015-0.261	0.056	0.042	163	0.016-0.235	0.084	0.048

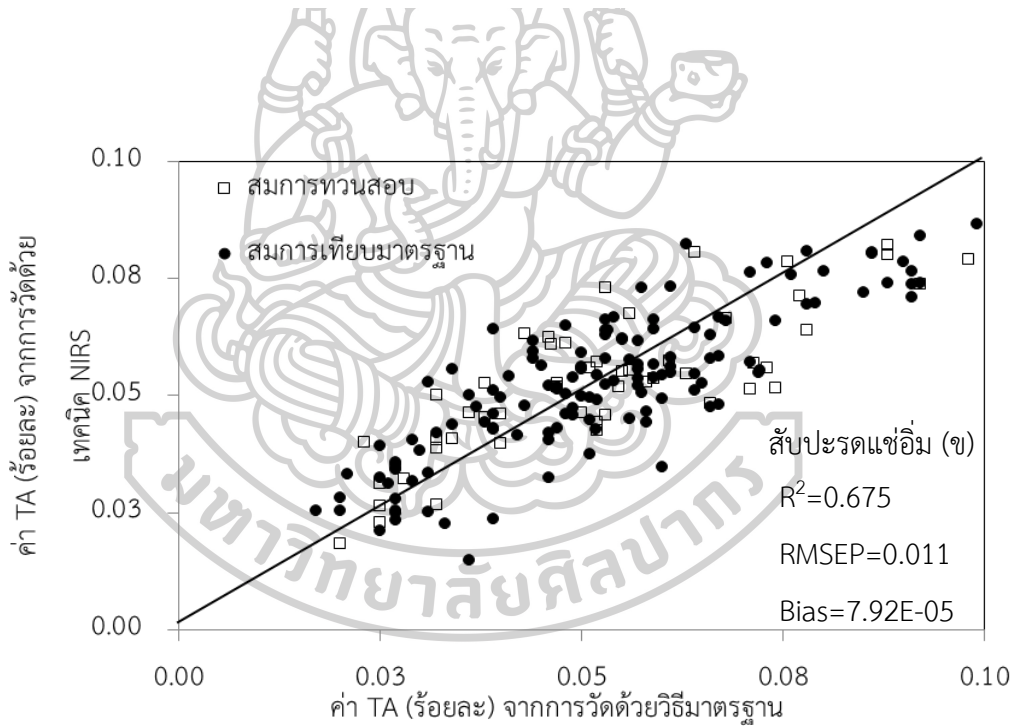
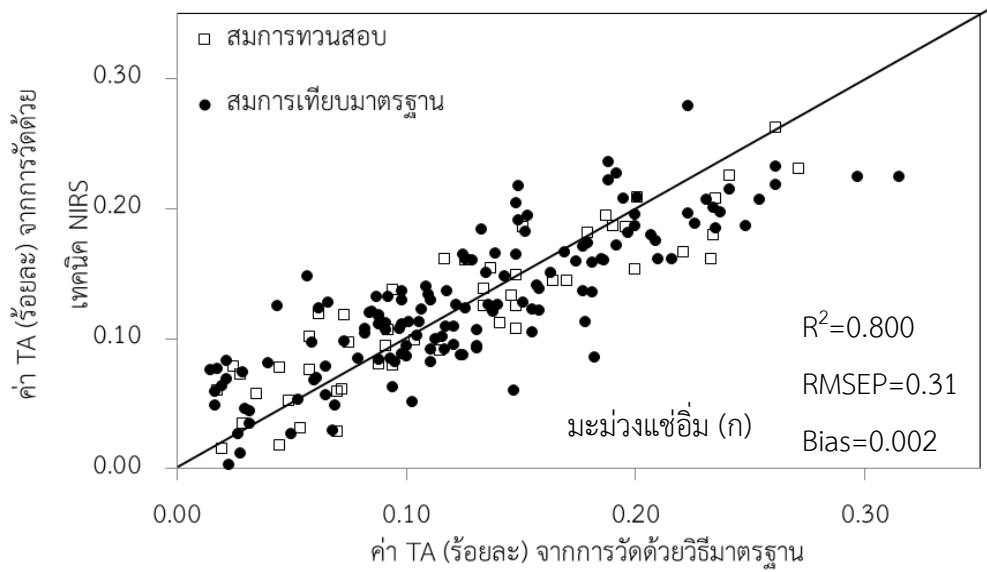


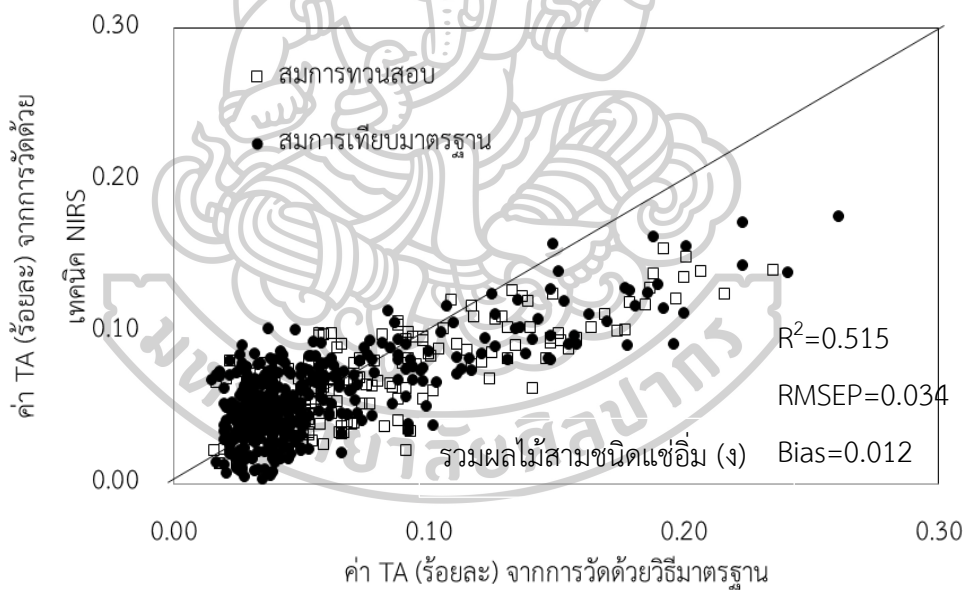
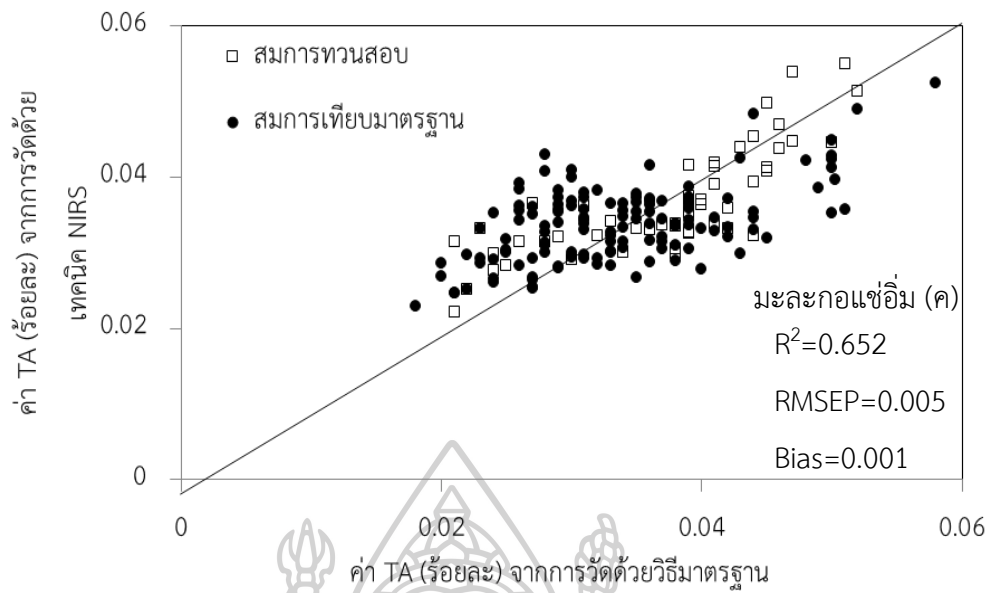
ภาพที่ 18 การกระจายตัวของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่ส้ม (ง)



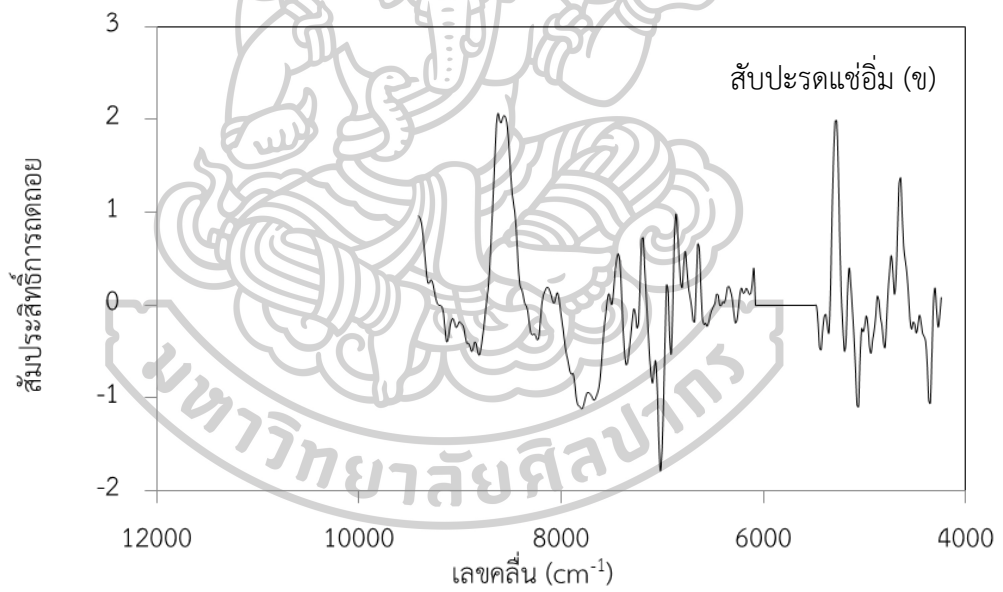
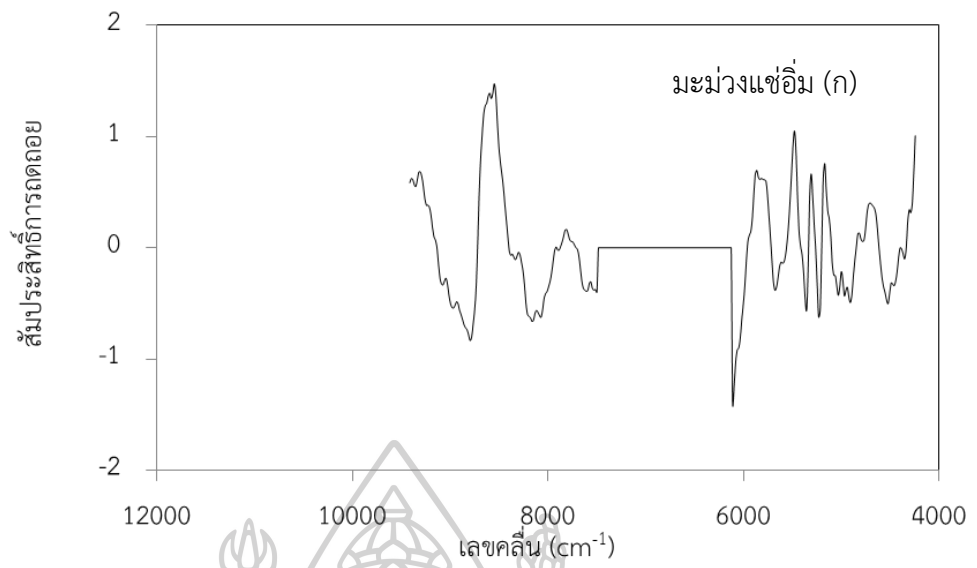
ตารางที่ 17 ค่าทางสถิติของสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบปริมาณกรดที่เทพรตได้ทั้งหมด (ร้อยละ) ของมะม่วง สับขจร และมะละกอภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต

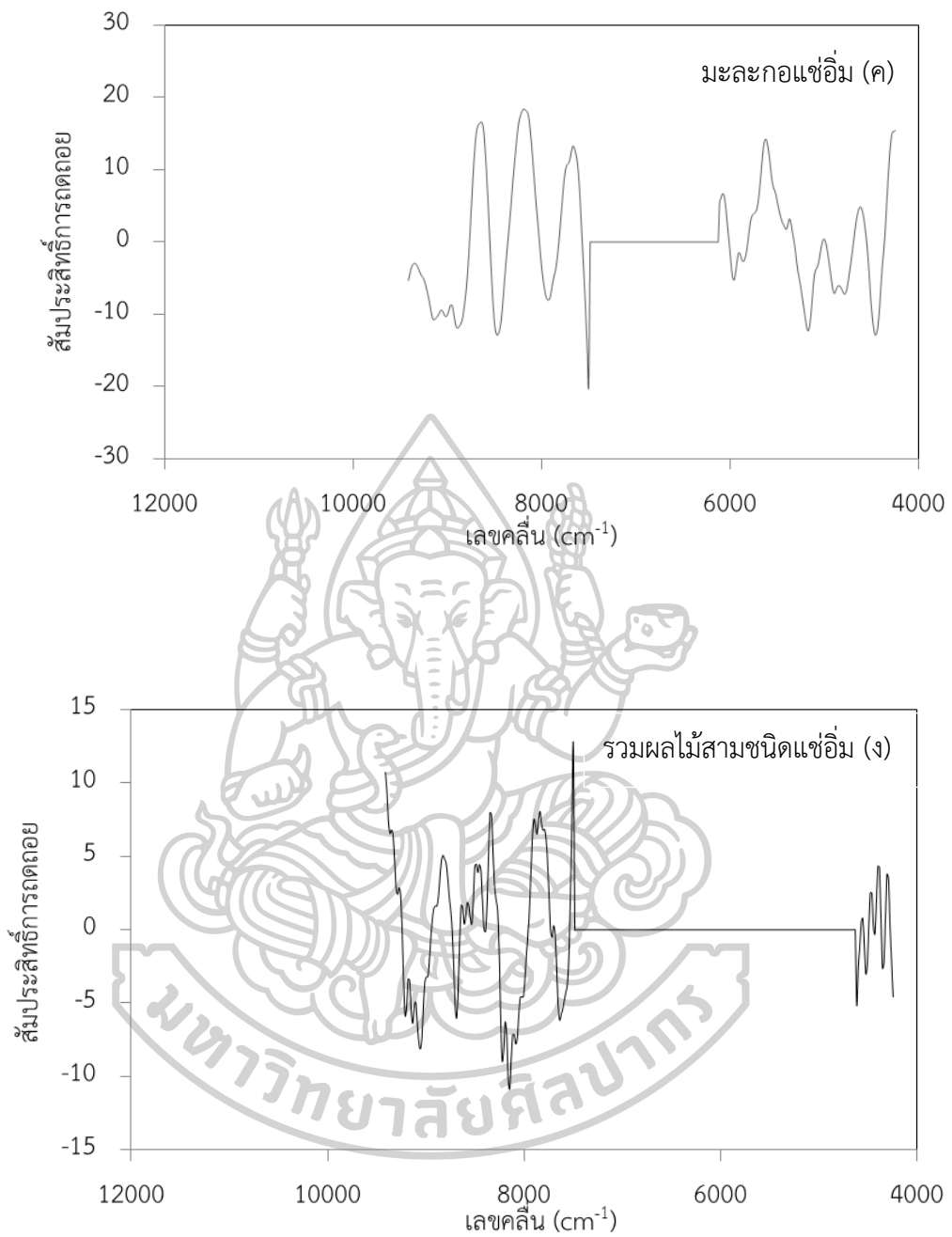
ชนิดผลไม้อัลตราไวโอเล็ต	การปรับแต่ง สเปกตรัม	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	PLS factor		สมการเทียบมาตรฐาน (70%)		สมการทวนสอบ (30%)	
			R ²	RMSEC	R ²	RMSEP	bias	RPD
มะม่วง	ไม่มีปรับแต่ง	9411.5-7498.4	0.692	0.038	0.800	0.031	0.002	2.24
		4613.2-4242.9						
สับขจร	d ₁ +MSC	9411.5-7498.4	0.703	0.011	0.675	0.011	7.92E-05	1.75
		4613.2-4242.9						
มะละกอ	d ₁ +MSC	9411.5-7498.4	0.462	0.007	0.652	0.005	0.001	1.74
		4613.2-4242.9						
รวมผลไม้ 3 ชนิด	SNV	9411.5-7498.4	0.536	0.029	0.515	0.034	0.012	1.52
		4613.2-4242.9						





ภาพที่ 19 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่ส้ม (ง)





ภาพที่ 20 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสมการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่ส้ม (ง)

สำหรับการทดสอบสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดใน
 ขึ้นผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังจากแช่อิ่ม พบว่ามีความ
 น่าเชื่อถือเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 12099 เนื่องจากมีค่า $bias < T_b$, $SEP < T_{ue}$ และ
 $T_{obs} < T_{value}$ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ ISO 12099 ดังตารางที่ 18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการ
 ทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน ในขณะที่สมการเทียบ
 มาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดในขึ้นผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังจากแช่
 อิ่มมีค่า $bias$ มากกว่าค่า T_b หมายความว่าค่า $bias$ มีความแตกต่างกับค่า T_b อย่างมีนัยสำคัญทาง
 สถิติ ซึ่งค่า $bias$ คือค่าเฉลี่ยของค่าต่างระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้จากวิธีมาตรฐานและค่าที่วัดได้จาก
 การทำนายด้วยเทคนิค NIRS

ตารางที่ 18 การทดสอบสมการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดตามมาตรฐาน ISO 12099

ชนิดผลไม้แช่อิ่ม ก่อนการทำแห้ง	$bias < T_b$	$SEP < T_{ue}$	$T_{obs} < T_{value}$	กฎ 3 ข้อ
มะม่วง	$9.92 \times 10^{-5} < 8.77 \times 10^{-3}$	$3.15 \times 10^{-2} < 4.52 \times 10^{-2}$	$0.64 < 2.01$	✓
สับปะรด	$7.92 \times 10^{-5} < 3.21 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-2} < 1.29 \times 10^{-2}$	$0.18 < 2.01$	✓
มะละกอ	$2.00 \times 10^{-3} < 1.46 \times 10^{-3}$	$5.40 \times 10^{-4} < 8.10 \times 10^{-3}$	$0.09 < 2.01$	✓
รวมผลไม้ 3 ชนิด	$1.17 \times 10^{-2} > 0.49 \times 10^{-2}$	$3.17 \times 10^{-2} < 3.22 \times 10^{-2}$	$0.93 < 1.97$	×

4.4.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS)

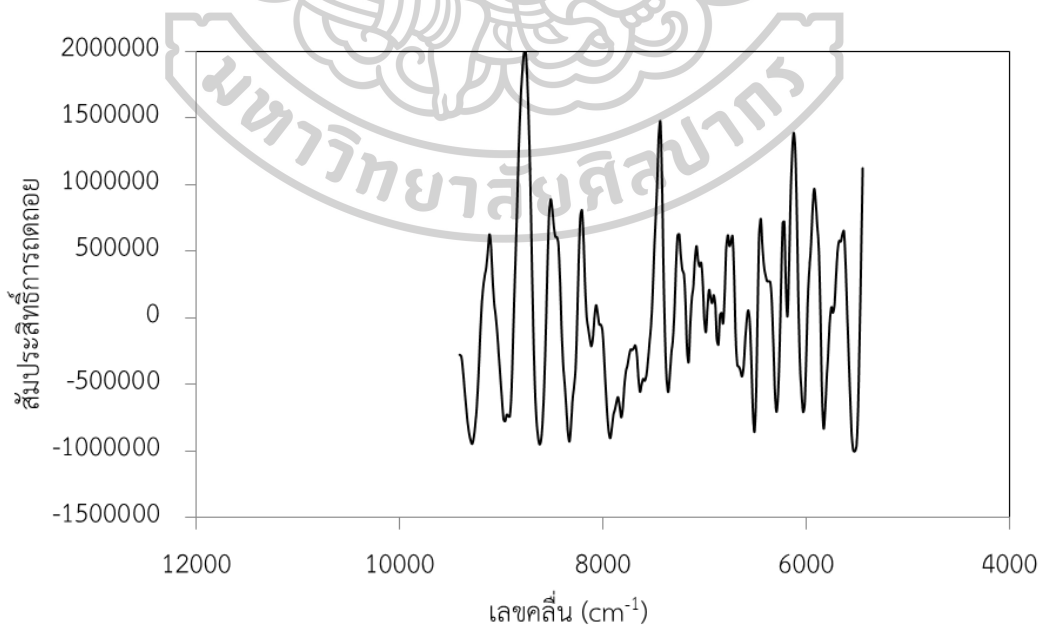
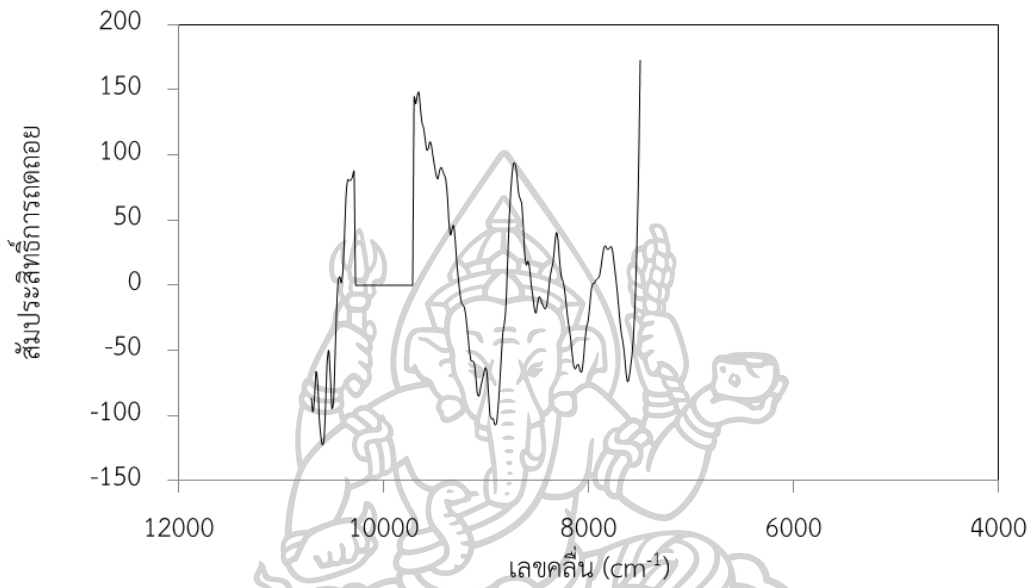
- การสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยวิธี PLSR

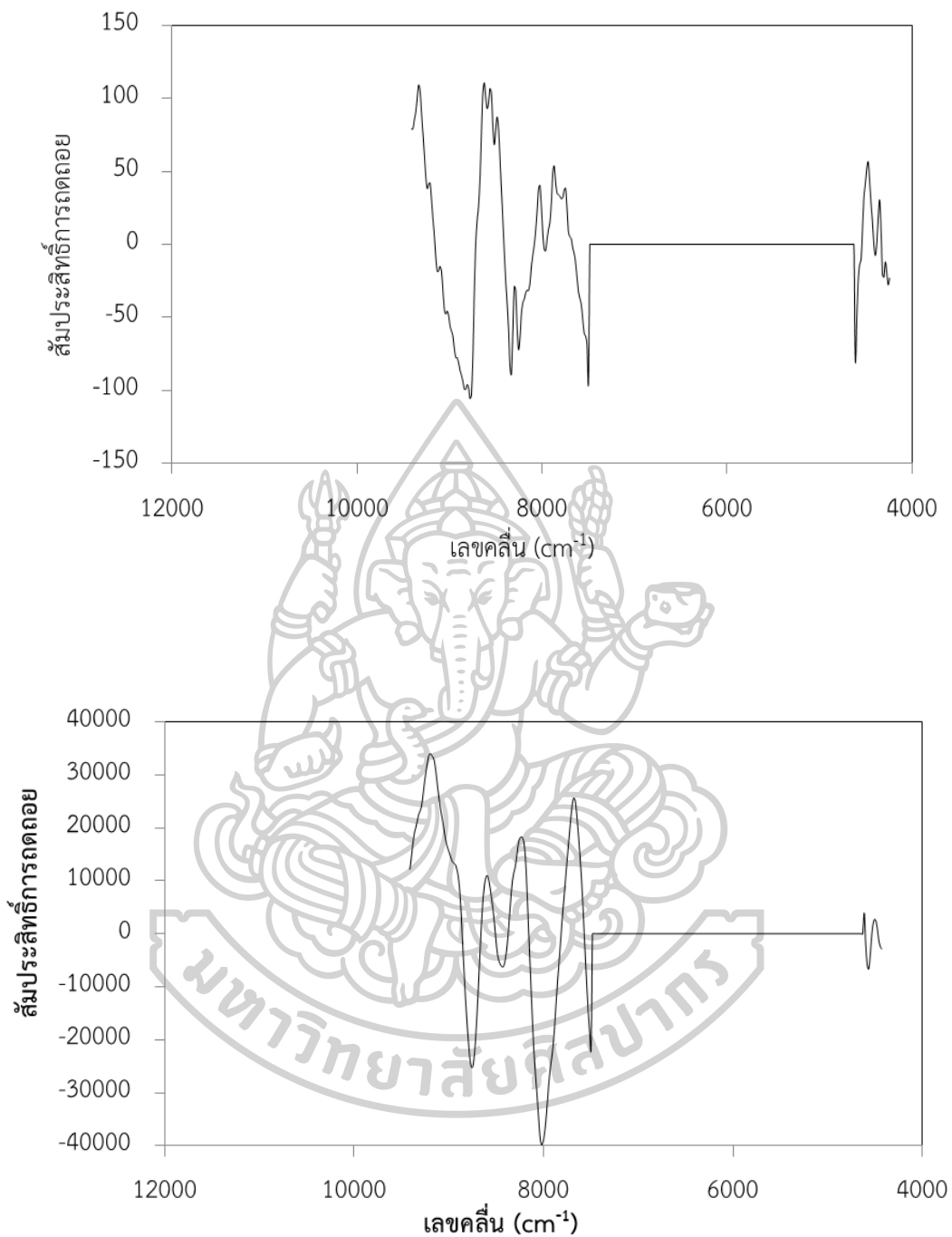
จากตารางที่ 19 แสดงค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของขึ้นผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดได้แก่มะม่วง สับปะรด และมะละกอ และผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 13.7-61.9 องศาบริกซ์ และจากภาพที่ 21 แสดงการกระจายตัวของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในขึ้นมะม่วง สับปะรดและมะละกอแช่อิ่มมีลักษณะข้อมูลเข้าสู่ค่ากลางหรือ dunne effect และข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) และตารางที่ 20 แสดงค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในมะม่วง สับปะรดและมะละกอแช่อิ่มทั้งแบบผลไม้ภายหลังแช่อิ่มแต่ละชนิดและผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิดพบว่าสมการเทียบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของขึ้นมะม่วงแช่อิ่มมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.81 ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 4.07 องศาบริกซ์ ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (bias) เท่ากับ 0.79 องศาบริกซ์ และค่าสัดส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มทวนสอบสมการ (RPD) เท่ากับ 2.32 ซึ่งประสิทธิภาพของสมการทำนายสามารถใช้ในการคัดเลือกหรือประมาณค่าเบื้องต้น (Williams, 2007) ในขณะที่สมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสับปะรดแช่อิ่มที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสอง (d_2) มีประสิทธิภาพของสมการทำนายสำหรับใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเนื่องจากมีค่า R^2 เท่ากับ 0.87 RMSEP เท่ากับ 4.04 องศาบริกซ์ bias เท่ากับ -0.03 องศาบริกซ์ และค่า RPD เท่ากับ 2.77 โดยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี d_2 สามารถแก้ปัญหาพีคที่ซ้อนทับกัน หรือเหลื่อมล้ำกันออกมา ทำให้พีคการดูดกลืนแสงมีความแคบลดลงได้ สำหรับสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะละกอแช่อิ่มที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี d_2 พบว่าสมการทำนายประสิทธิภาพใช้ในงานประกันคุณภาพซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.95 RMSEP เท่ากับ 2.38 องศาบริกซ์ bias เท่ากับ 0.13 องศาบริกซ์ และค่า RPD เท่ากับ 4.29 ซึ่งการเลือกสมการที่ดีที่สุดจะคัดเลือกจากสมการที่ให้ค่าการทำนายจากสมการทวนสอบที่ดีที่สุด (Kaewsorn และ Sirisomboon, 2014)

เมื่อพิจารณาสมการทำนายของผลไม้ภายหลังแช่ส้มทั้งสามชนิดจะพบว่าความ
แม่นยำของสมการทำนายของมะละกอภายหลังแช่ส้มมีความแม่นยำสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ
สับปะรดและมะม่วงตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเลือกเลขคลื่นแบบอัตโนมัติมีความแตกต่างกัน
โดยสมการทำนายของมะละกอแช่ส้มและสมการทำนายของผลไม้อื่นสามชนิดแช่ส้มอยู่ในช่วงเลข
คลื่น 9411.5-7498.4 และ 4613.2-4242.9 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับ Di Egidio และคณะ (2009) ที่
ระบุว่าสับปะรดตัดแต่งพร้อมปริมาตรมีการดูดกลืนแสงของน้ำตาลที่ตำแหน่ง 8864-5631 cm^{-1} และม
ีการสั่นแบบโอเวอร์โทนอันดับที่หนึ่งและสองของพันธะ C-H เช่นเดียวกับ Osborne และคณะ
(1993) ที่พบว่าการดูดกลืนแสง ณ ตำแหน่ง 8403 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะแบบโอเวอร์โทนอันดับ
ที่สองและสาม และมีการสั่นแบบโอเวอร์โทนอันดับที่หนึ่งของพันธะ C-H ณ ตำแหน่ง 5931-5631
 cm^{-1} และการสั่นแบบคอมบิเนชันของพันธะ C-H ณ ตำแหน่ง 4500 cm^{-1} อีกทั้งเลขคลื่นของสมการ
ทำนายดังกล่าวยังสอดคล้องกับ Rambla และคณะ (1997) ที่ศึกษาการดูดกลืนแสงของสารละลาย
น้ำตาลชนิดต่างๆ และพบว่าการดูดกลืนแสงของน้ำตาลในช่วง 4716-4397 cm^{-1} ในขณะที่สมการ
ทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะม่วงและสับปะรดแช่ส้มเลือกเลขคลื่นในช่วง
9411.5-7498.4 cm^{-1} และ 9411.5-5446.3 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของน้ำตาลเช่น เลข
คลื่น 8403 cm^{-1} (de Oloveira และคณะ, 2014) และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การถดถอยของ
มะม่วงภายหลังแช่ส้มบริเวณ 4600-4200 cm^{-1} พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและ
เลขคลื่นมีน้อยมากถ้าเทียบกับเลขคลื่นบริเวณ 9400-7400 cm^{-1}

เมื่อพิจารณาความแม่นยำของสมการทำนายจะพบว่าในชั้นสับปะรดและมะละกอ
แช่ส้มมีความแม่นยำในการทำนายถ้าเทียบกับสมการทำนายที่สร้างจากชั้นมะม่วงแช่ส้มทั้งนี้สันนิษฐาน
ว่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วง แต่ทั้งนี้ในการศึกษารั้งนี้ไม่ได้ทำการวัดความแน่นเนื้อของชั้นผลไม้
แต่สามารถพิสูจน์ได้จากปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด
(TSS/TA) ที่มีความสัมพันธ์กับความแน่นเนื้อ เมื่อพิจารณาค่า TSS/TA ของวัตถุดิบสดได้แก่ มะม่วง
สับปะรด และมะละกอโดยการ พบว่าค่า TSS/TA ของมะม่วงมีความแปรปรวนต่ำที่สุด และมีความ
แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างมะม่วงสดกับสับปะรดสด และมะม่วงสดกับมะละกอสด ดัง
ภาคผนวก ฉ ซึ่งความแน่นเนื้อ ความหนาแน่นของวัตถุดิบเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะการดูดกลืน

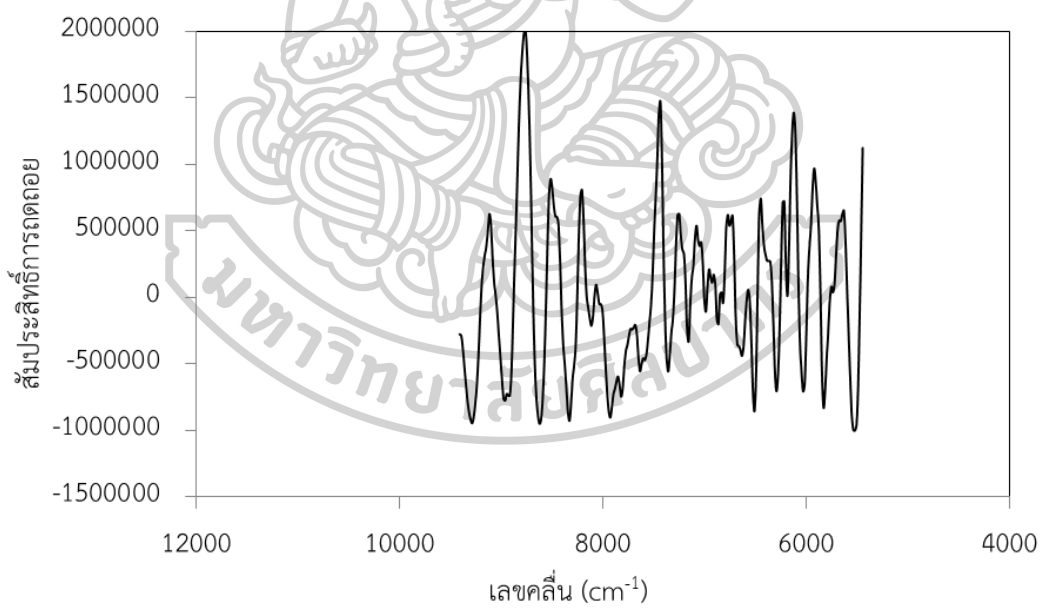
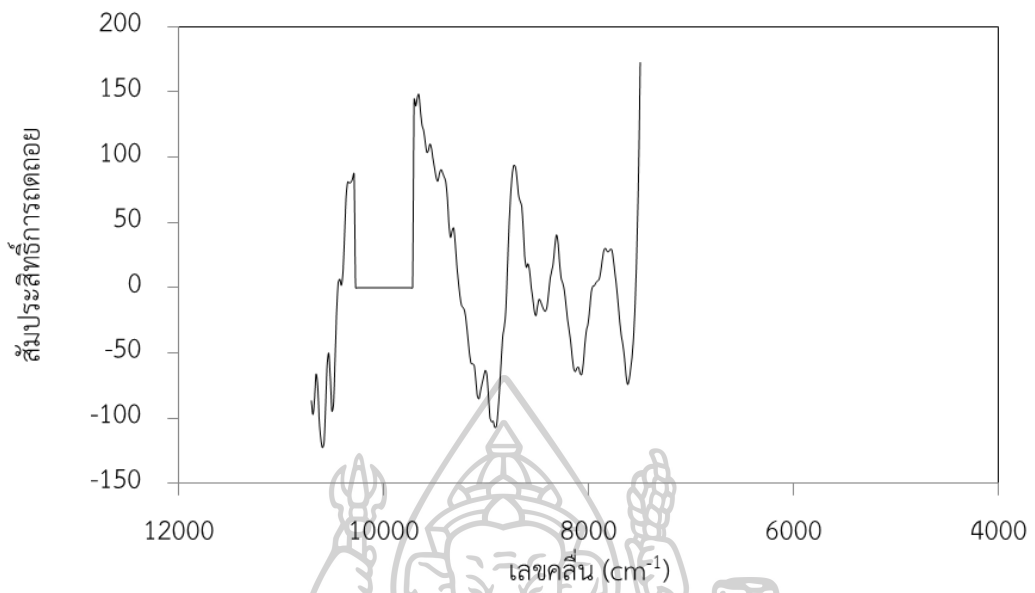
แสงของสเปกตรัม ดังนั้นจะเป็นว่าสมการทำนายคุณภาพของมะม่วงจะมีประสิทธิภาพการทำนายต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสมการทำนายคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มและมะละกอแช่อิ่ม เป็นต้น

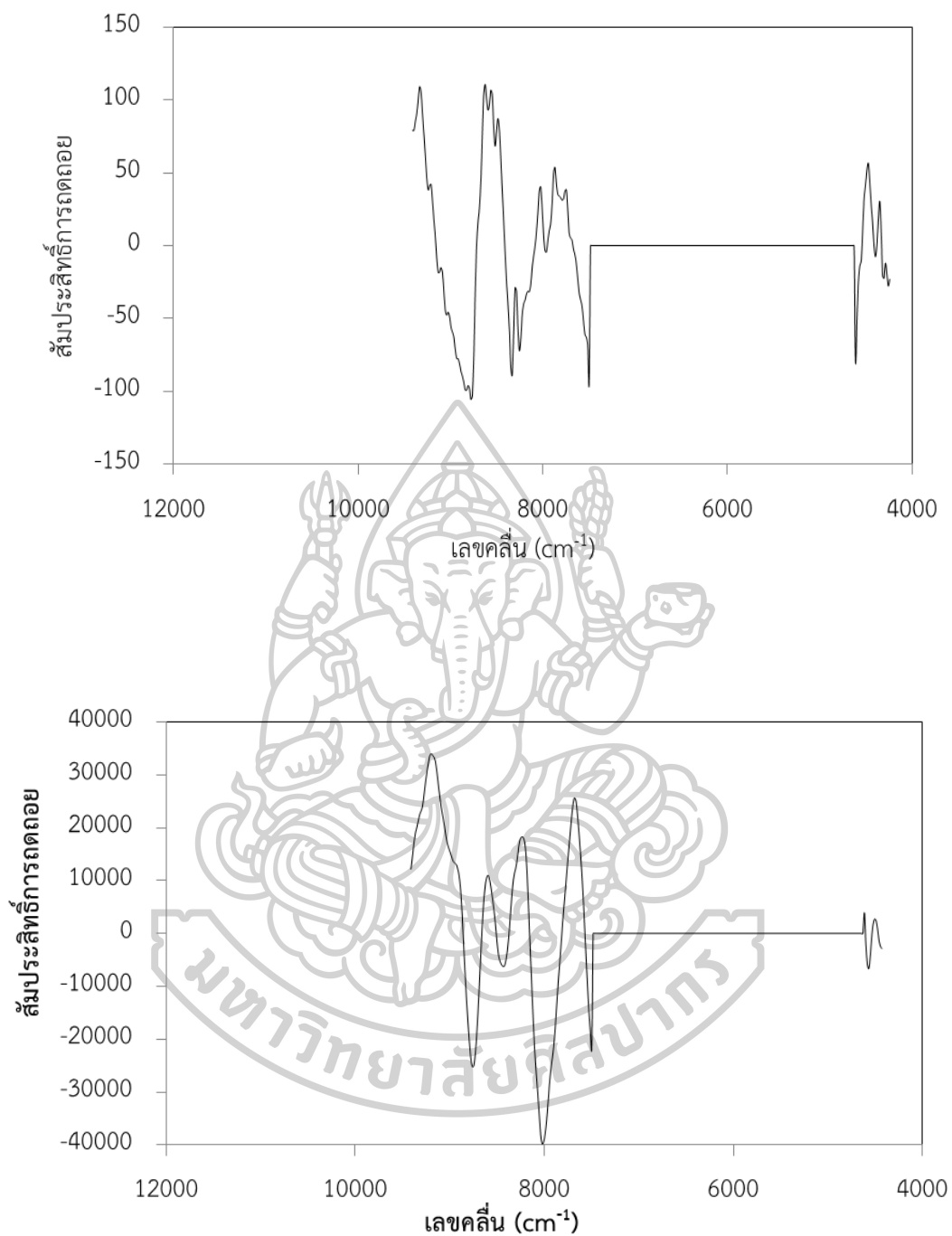




ภาพที่ 23 แสดงลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิด และผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด ซึ่งสามารถสังเกตเห็นข้อมูลมีการกระจายตัวแนวเดียวกับเส้นทแยงมุม มีความสัมพันธ์ที่ดีในเชิงเส้นตรง สามารถบ่งบอกถึงการทำนายได้อย่าง

๕๖ ก ต อ ง แ ล ล ๕





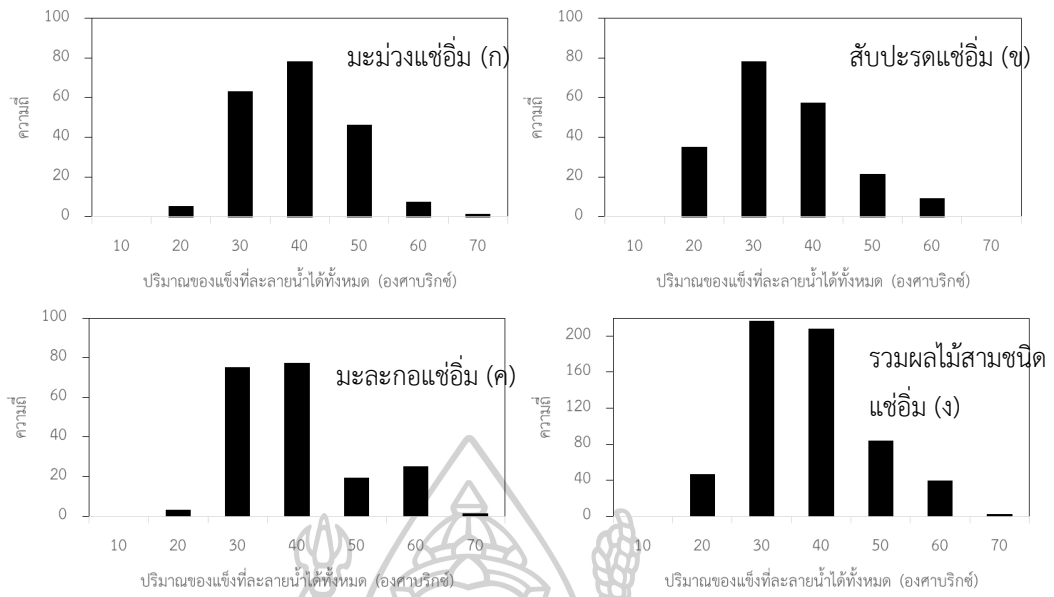
ภาพที่ 23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสมการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ที่เลขคลื่น 10614, 10352, 9704, 8964, 8732, 8146 และ 7637 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงของเส้นสเปกตรัมของมะม่วงแช่แข็งที่เลขคลื่นตั้งแต่ 9411.5-7498.4 cm^{-1} เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Matsumura และคณะ (2016) พบว่าสมการการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของ

มะเขือเทศสดมีความสัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่น $10309-7220\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นเดียวกันกับการสร้างสมการเทียบมาตรฐานสำหรับตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะม่วงแช่แข็ง



ตารางที่ 19 ค่าสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วง สับประรด และมะละกอภายใต้แช่เย็น

ชนิดผลไม้	สมการเทียบมาตรฐาน (70%)				สมการทวนสอบ (30%)			
	จำนวน	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (องศาบริกซ์)	ค่าเฉลี่ย (องศาบริกซ์)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	จำนวน	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (องศาบริกซ์)	ค่าเฉลี่ย (องศาบริกซ์)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (องศาบริกซ์)
มะม่วง	140	17.6-61.9	34.5	8.5	60	18.8-59.6	34.8	9.4
สับประรด	140	13.7-53.6	28.7	8.9	60	14.7-53.1	31.2	11.3
มะละกอ	140	19.5-60.1	33.3	8.9	60	20.4-56.8	37.5	10.3
รวมผลไม้ 3	413	13.7-61.9	32.4	9.0	177	14.5-60.1	33.0	11.0
ชนิด								

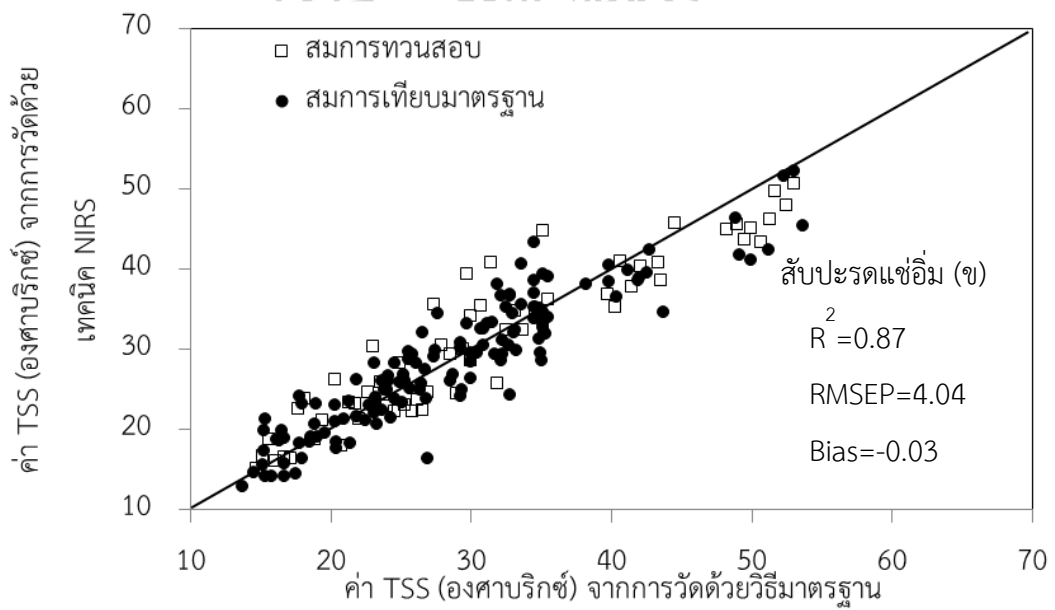
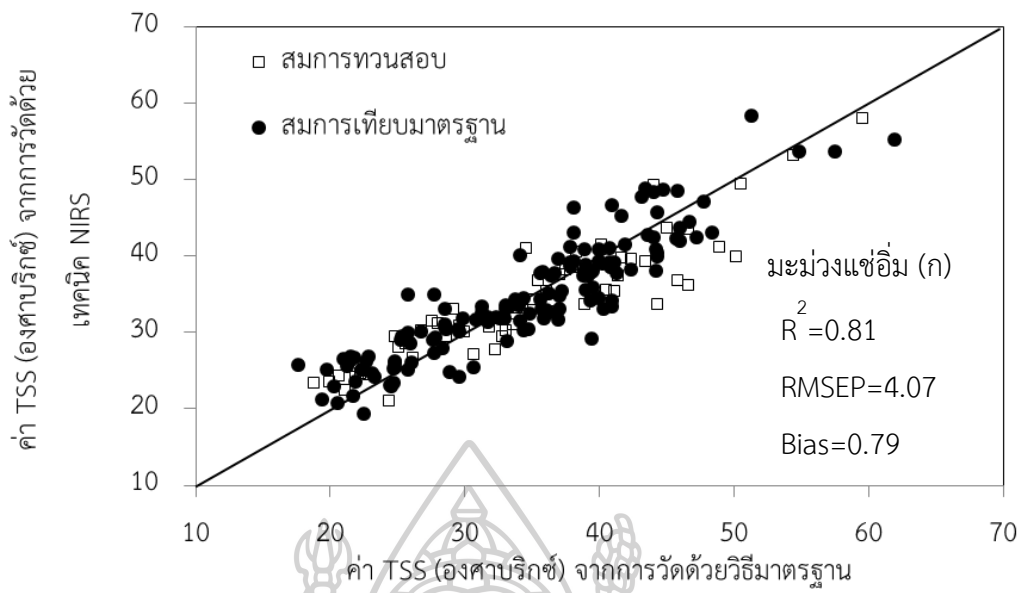


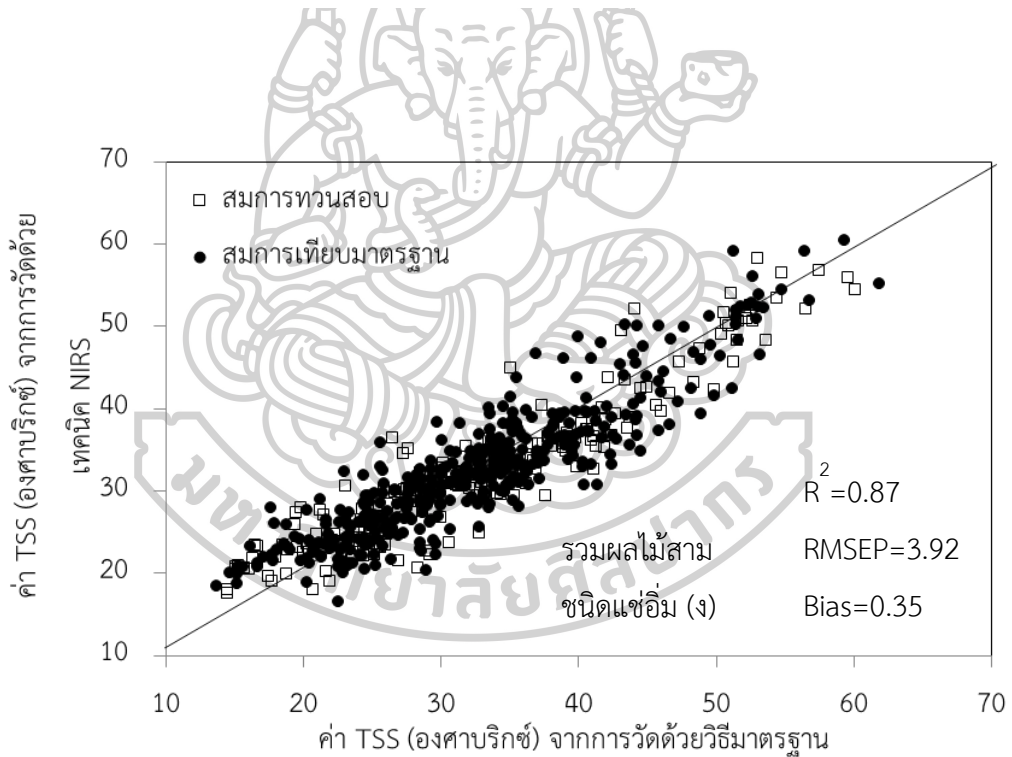
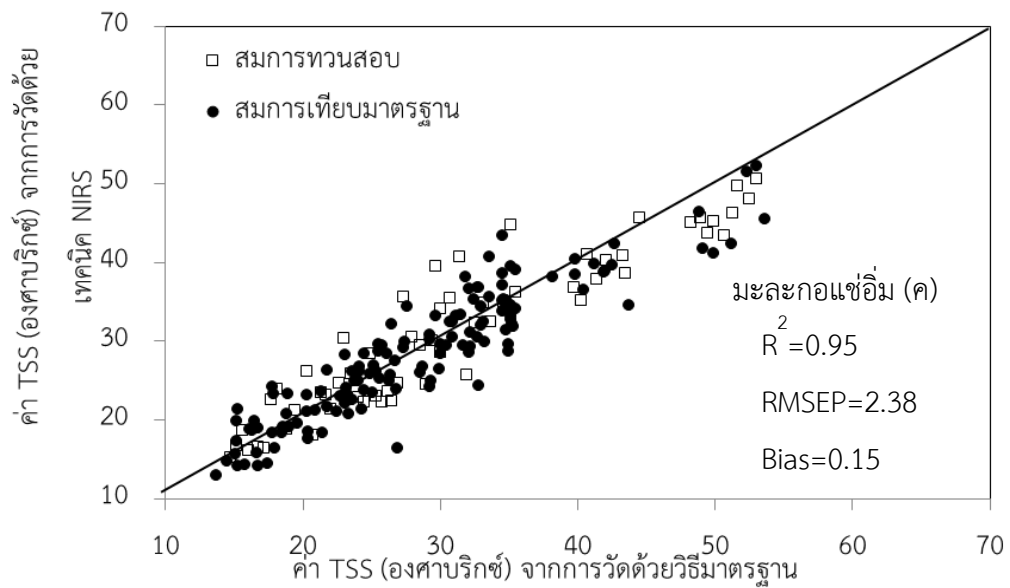
ภาพที่ 21 การกระจายตัวของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่อิ่ม (ง)



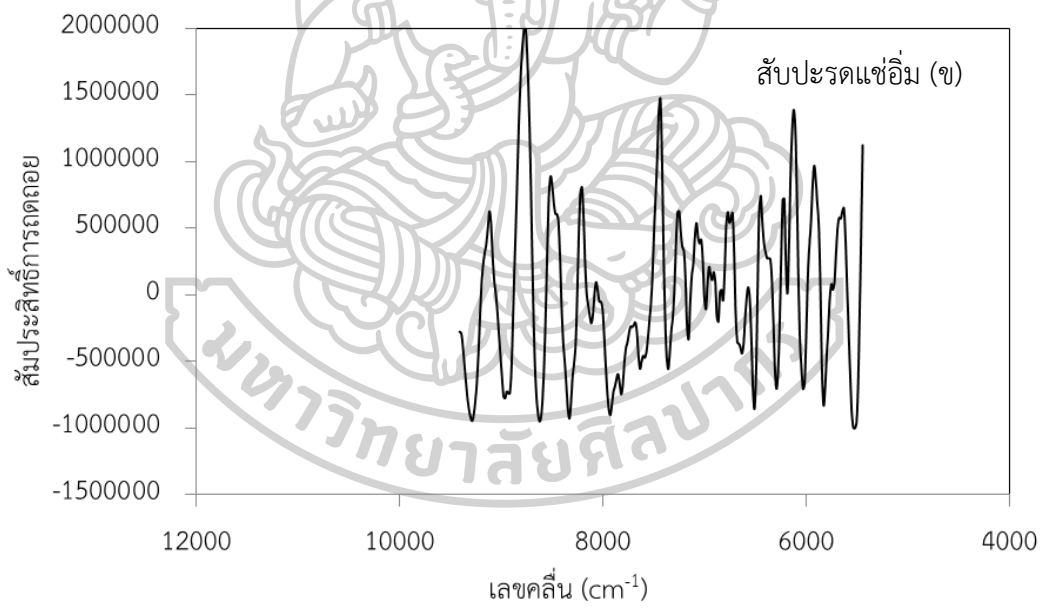
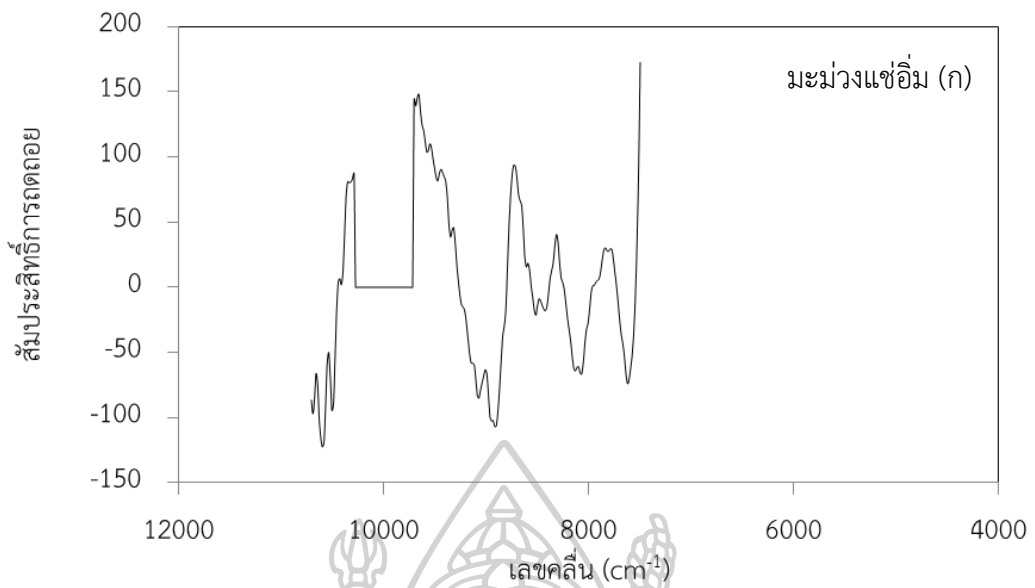
ตารางที่ 20 ค่าทางสถิติของสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วง สับขจร และมะละกอแช่เย็นภายใต้เงื่อนไข

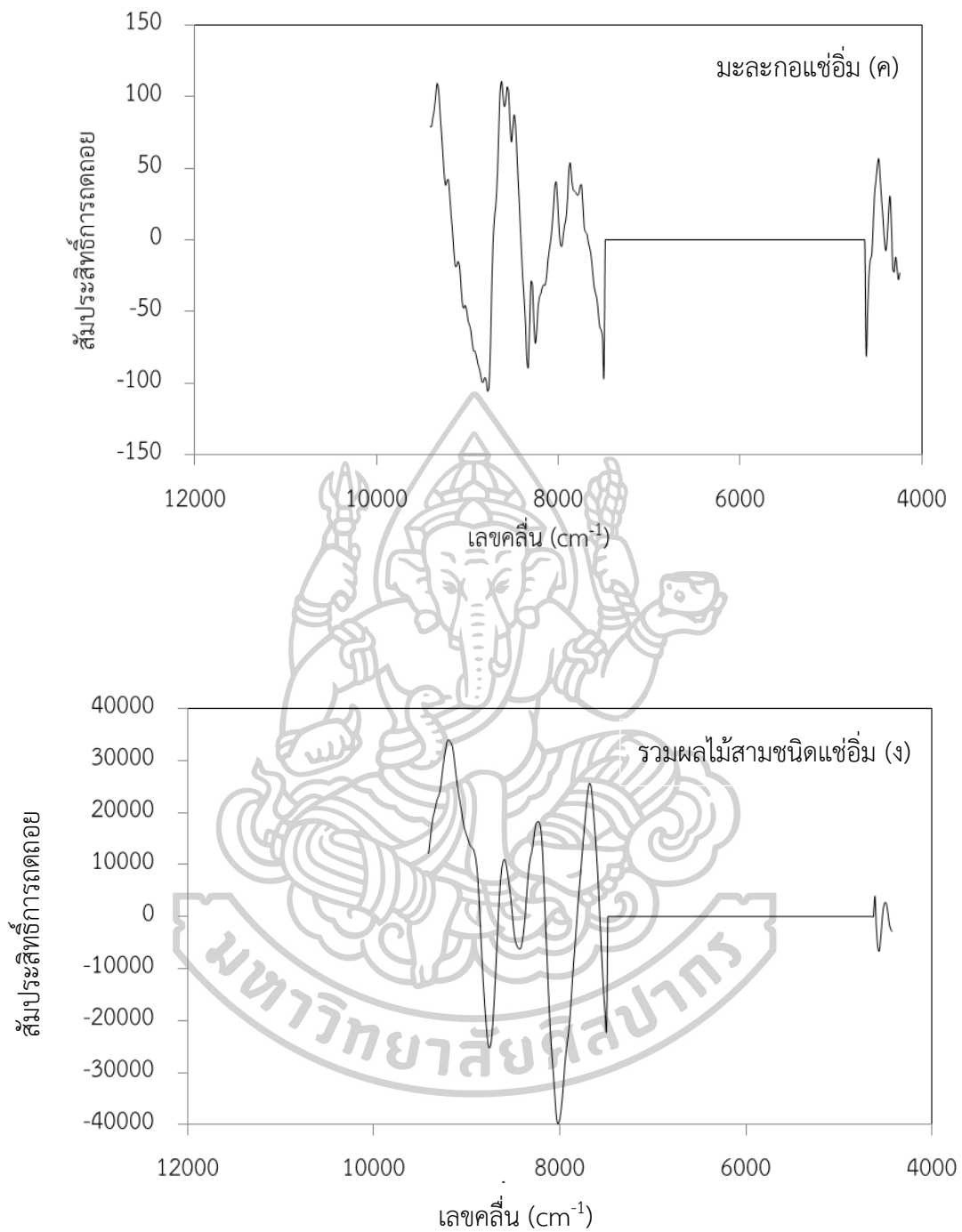
ชนิดผลไม้ ภายหลังแช่เย็น	การปรับแต่ง สเปกตรัม	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	PLR factor	สมการเทียบมาตรฐาน (70%)		สมการทวนสอบ (30%)		
				R ²	RMSEC (องศาบริกซ์)	RMSEP (องศาบริกซ์)	bias	RPD
มะม่วง	ไม่มีการ ปรับแต่ง	9411.5-7498.4	7	0.83	3.65	4.07	0.79	2.32
	d ₂	9411.5-5446.3	8	0.85	3.55	4.04	-0.03	2.77
มะละกอ	d ₂	9411.5-7498.4 4613.2-4242.9	7	0.89	2.96	2.38	0.15	4.29
	d ₁	9411.5-7498.4 4613.2-4428.0	8	0.82	3.85	3.92	0.35	2.78





ภาพที่ 22 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของ มะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่หั่น (ง)





ภาพที่ 23 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของ มะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่ส้ม (ง)

สำหรับการทดสอบสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในชั้นผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอภายหลังการแช่อิ่ม พบว่ามีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 12099 เนื่องจากมีค่า $\text{bias} < T_b$, $\text{SEP} < T_{ue}$ และ $T_{\text{obs}} < T_{\text{value}}$ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ มาตรฐาน ISO 12099 ดังตารางที่ 21 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 21 การทดสอบสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดตามมาตรฐาน ISO 12099

ชนิดผลไม้ภายหลังแช่อิ่ม	$\text{bias} < T_b$	$\text{SEP} < T_{ue}$	$T_{\text{obs}} < T_{\text{value}}$	กฎ 3 ข้อ
มะม่วง	$0.79 < 1.04$	$4.03 < 4.36$	$1.42 < 2.00$	✓
สับปะรด	$-0.34 < 1.05$	$4.07 < 4.24$	$-1.19 < 2.00$	✓
มะละกอ	$0.15 < 0.62$	$2.40 < 3.53$	$-0.65 < 2.00$	✓
รวมผลไม้ 3 ชนิด	$0.35 < 0.58$	$3.91 < 4.26$	$-2.56 < 1.97$	✓

4.4.2.4 อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ($TS.S^{-1}$)

- การสร้างสมการเทียบมาตรฐานอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยวิธี PLSR

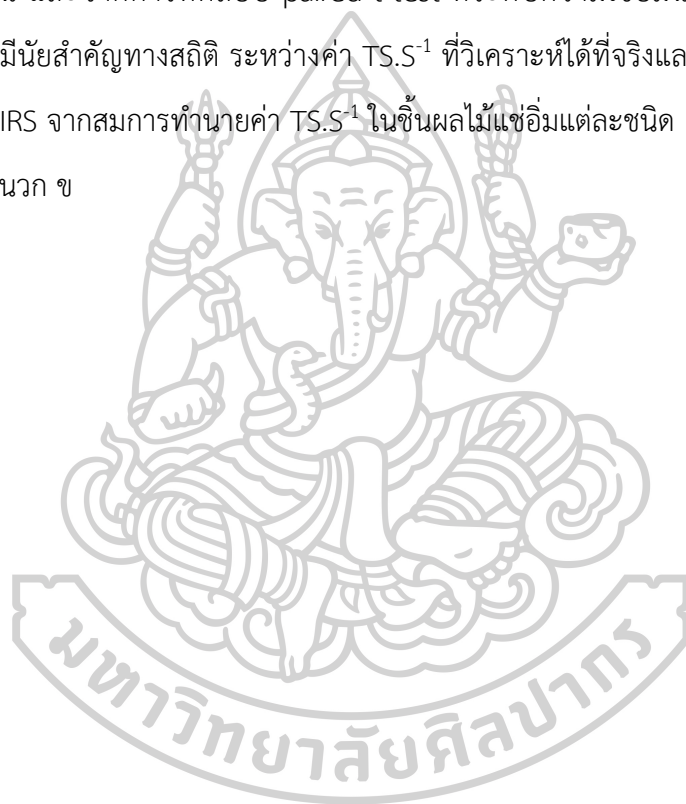
จากตารางที่ 22 แสดงค่าทางสถิติของอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม และผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด จะพบว่าในกลุ่มสมการเทียบมาตรฐานมีค่า $TS.S^{-1}$ อยู่ในช่วง 1.03-3.51 และในกลุ่มสมการทวนสอบมีค่า $TS.S^{-1}$ อยู่ในช่วง 1.04-3.36 จากภาพที่ 24 แสดงการกระจายตัวของข้อมูล $TS.S^{-1}$ ในชั้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่มพบว่าลักษณะข้อมูลมีกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) และข้อมูลเข้าสู่ค่ากลางหรือ dunne effect และตารางที่ 23 แสดงค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ในผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอ และผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด พบว่าสมการเทียบมาตรฐานที่เหมาะสมในการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ของมะม่วงแช่อิ่มที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี d_1+MSC เพื่อลดอิทธิพลจากการกระเจิงแสงเนื่องจากตัวอย่างมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ และมีปริมาณความชื้นของชิ้นตัวอย่างที่แตกต่าง พร้อมทั้งแก้ไขการเกิด scattering effect ซึ่งประสิทธิภาพของสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ของมะม่วงแช่อิ่มสามารถใช้ในการคัดเลือกหรือประเมินค่าเบื้องต้นได้เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.83 ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 0.31 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (bias) เท่ากับ 0.004 และ ค่าสัดส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มทวนสอบสมการ (RPD) เท่ากับ 2.39 ซึ่งประสิทธิภาพของสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ของสับปะรดแช่อิ่มมีลักษณะเช่นเดียวกับสมการทำนายของมะม่วงแช่อิ่มซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.82 RMSEP เท่ากับ 0.21 bias เท่ากับ -0.002 และ RPD เท่ากับ 2.37 และสเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธีเดียวกัน จากการรายงานของ William (2007) ที่กล่าวว่าค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.82-0.90 บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสมการที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพได้ โดยสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ของมะละกอแช่อิ่มที่ถูกปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี d_2 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.91 RMSEP เท่ากับ 0.17 bias เท่ากับ 0.001 และ RPD เท่ากับ 3.40 ในทางกลับกันสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ของผลไม้แช่อิ่มทั้งสามชนิดที่ถูกปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี d_1+SNV มีค่า R^2 เท่ากับ 0.76 RMSEP เท่ากับ 0.27 bias เท่ากับ 0.03 และ RPD เท่ากับ 2.04 ซึ่งเหมาะสำหรับงานสามารถใช้ในการคัดเลือกหรือประมาณค่าเบื้องต้น

จากภาพที่ 25 แสดงการกระจายตัวของค่า $TS.S^{-1}$ ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS ในผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอ ผลไม้แช่อิ่มรวมสองชนิดได้แก่ มะม่วงร่วมกับมะละกอ มะม่วงร่วมกับสับปะรด และสับปะรดร่วมกับมะละกอ และผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด พบว่าสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบสำหรับการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ในชิ้นมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม และสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับทำนายปริมาณความชื้นของผลไม้ภายหลังแช่อิ่มที่สร้างจากผลไม้สอง และสามชนิดมีความสัมพันธ์ที่ดีในเชิงเส้นตรงข้อมูลมีการกระจายตัวใกล้เส้นทแยงมุม (target line) บ่งบอกถึงการทำนายได้อย่างถูกต้อง

หากพิจารณาเลขคลื่นที่ใช้ในการสร้างสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ จะพบว่ามะม่วงและสับปะรดแช่อิ่มมีการดูดกลืนแสงของน้ำตาลกลูโคส ณ เลขคลื่น 6757 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบโอเวอร์ของพันธะ O-H (Niu และคณะ, 2012) ซึ่งมีลักษณะการดูดกลืนแสงคล้ายกับผงรากบัว และเมื่อนำเลขคลื่นของผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิด และผลไม้แช่อิ่มรวมทั้งสามชนิดที่ใช้ในการสร้างสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ พบว่ามีลักษณะการดูดกลืนแสงในตำแหน่งเดียวกับสารมาตรฐานซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ที่ตำแหน่งเลขคลื่น $8300, 7200, 6200$ และ 4600 cm^{-1} เมื่อพิจารณาสมการเทียบมาตรฐานสำหรับค่า $TS.S^{-1}$ พบว่ามีการเลือกใช้เลขคลื่นในช่วง $5461.8-4242.9\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นที่ช่วงที่มีความสัมพันธ์กับการดูดกลืนแสง NIRS ของโมเลกุลน้ำตาลบริเวณ $5882-4347\text{ cm}^{-1}$ (Tewari และคณะ, 2008) และเลขคลื่น $7489, 4401$ และ 4302 cm^{-1} ยังเป็นตำแหน่งการดูดกลืนแสงของน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส (Choung, 2010; Rodriguez-Chong และคณะ, 2004) ซึ่งตรงกับการใช้เลขคลื่นในการสร้างสมการเทียบมาตรฐานดังภาพที่ 26

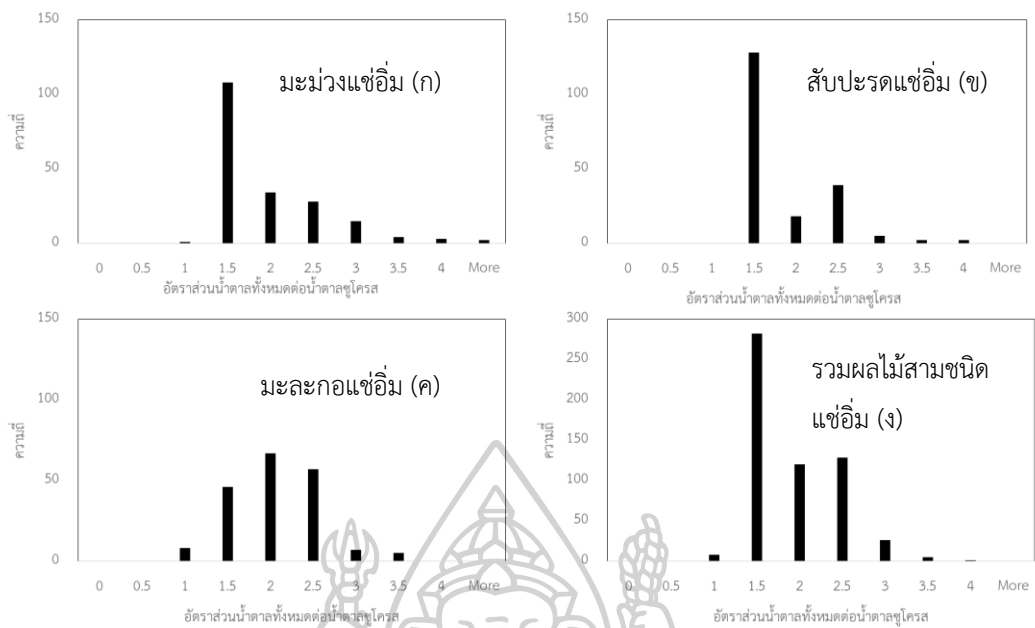
สำหรับสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ในชิ้นผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอ และผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิดมาทำการทดสอบสมการด้วยตัวอย่างกลุ่มใหม่จำนวน 60 ชิ้น ประกอบไปด้วยมะม่วงแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น สับปะรดแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น และมะละกอแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น พบว่าสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ในชิ้นมะม่วงแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้นสามารถทำนายได้ถูกต้องร้อยละ 80 คือในชิ้นมะม่วงแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้นสามารถทำนายอยู่ในช่วงต่ำกว่า 2.0 หรือมากกว่า 2.5 ได้เป็นจำนวน 16 ชิ้น และทำนายไม่ถูกต้องเป็นจำนวน 4 ชิ้น และมีร้อยละการทำนายที่ผิดพลาดเท่ากับ 14.99 สำหรับชิ้นสับปะรดแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้นสามารถ

ทำนายได้ถูกต้องร้อยละ 70 คือในชั้นสับปรดแฉ่อมจำนวน 20 ชั้นสามารถทำนายอยู่ในช่วงต่ำกว่า 2.0 หรือมากกว่า 2.5 ได้เป็นจำนวน 14 ชั้น และทำนายไม่ถูกต้องเป็นจำนวน 6 ชั้น และมีร้อยละ การทำนายที่ผิดพลาดเท่ากับ 22.30 ในชั้นมะละกอแฉ่อมจำนวน 20 ชั้นสามารถทำนายได้ถูกต้อง ร้อยละ 75 เนื่องจากทำนายถูกต้อง 15 ชั้น และมีร้อยละความผิดพลาดในการทำนายโดยเฉลี่ยเท่ากับ 15.35 และการทำนายตัวอย่างนอกกลุ่มของสมการเทียบมาตรฐานในผลไม้แฉ่อมสามชนิดพบว่า สามารถทำนายได้ถูกต้องร้อยละ 81.6 โดยตัวอย่างผลไม้แฉ่อมจำนวน 60 ชั้น สามารถทำนายได้ ถูกต้อง 49 ชั้น และจากการทดสอบ paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าไม่มีความ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างค่า $TS.S^{-1}$ ที่วิเคราะห์ได้ที่จริงและค่า $TS.S^{-1}$ ที่ทำนายได้ ด้วยเทคนิค NIRS จากสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ในชั้นผลไม้แฉ่อมแต่ละชนิด และผลไม้แฉ่อมรวมสาม ชนิด ดังภาคผนวก ข

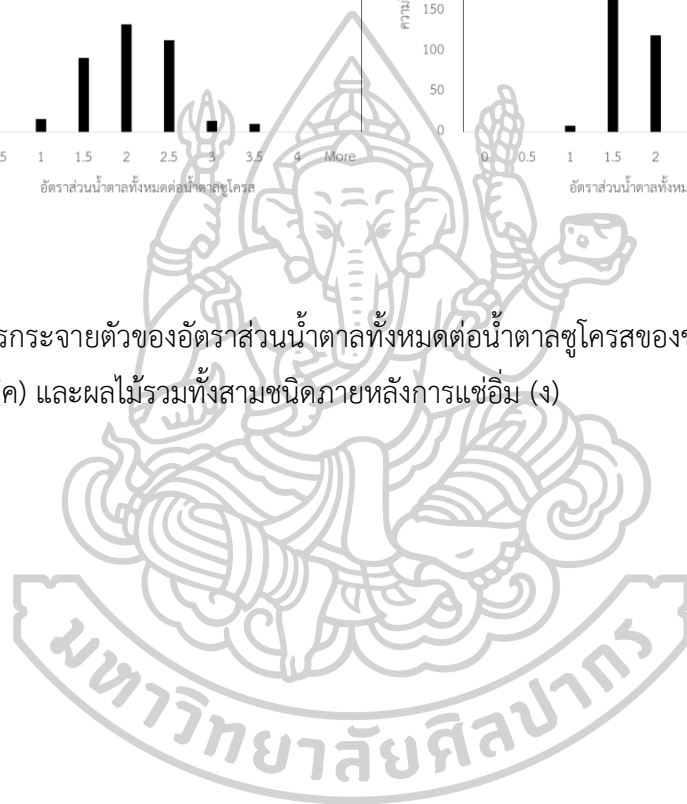


ตารางที่ 22 ค่าสถิติของปริมาณอัตราส่วนน้ำตาตาส่งทั้งหมดต่อน้ำตาตาส่งโครสของมะม่วง สับปรต และมะละกอภายหลังแช่เย็นสำหรับสร้างสมการเทียบมาตรฐาน และทวนสอบสมการด้วยเทคนิค NIRS

ชนิดผลไม้ภายหลังแช่เย็น	สมการเทียบมาตรฐาน (70%)				สมการทวนสอบ (30%)			
	จำนวนตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
มะม่วง	137	1.03-3.99	1.36	0.76	55	1.05-3.89	1.84	0.66
สับปรต	136	1.04-3.59	1.57	0.56	56	1.07-2.94	1.62	0.51
มะละกอ	140	1.04-3.36	1.83	0.43	46	1.05-3.14	1.83	0.53
รวมผลไม้ 3 ชนิด	397	1.03-3.51	1.62	0.47	165	1.04-3.36	1.79	0.54

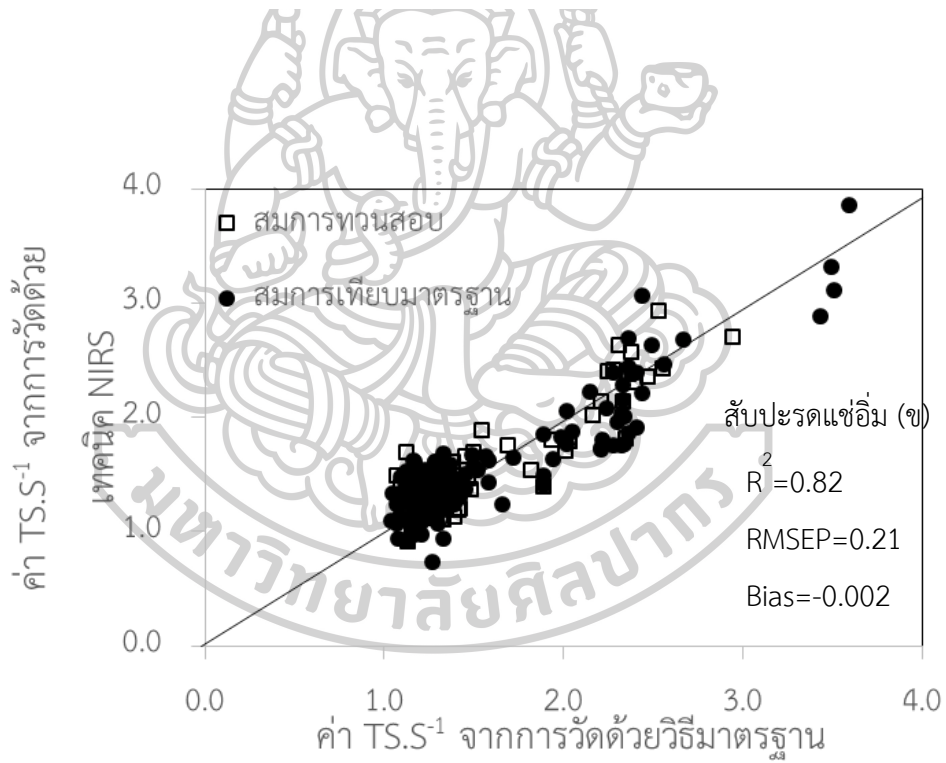
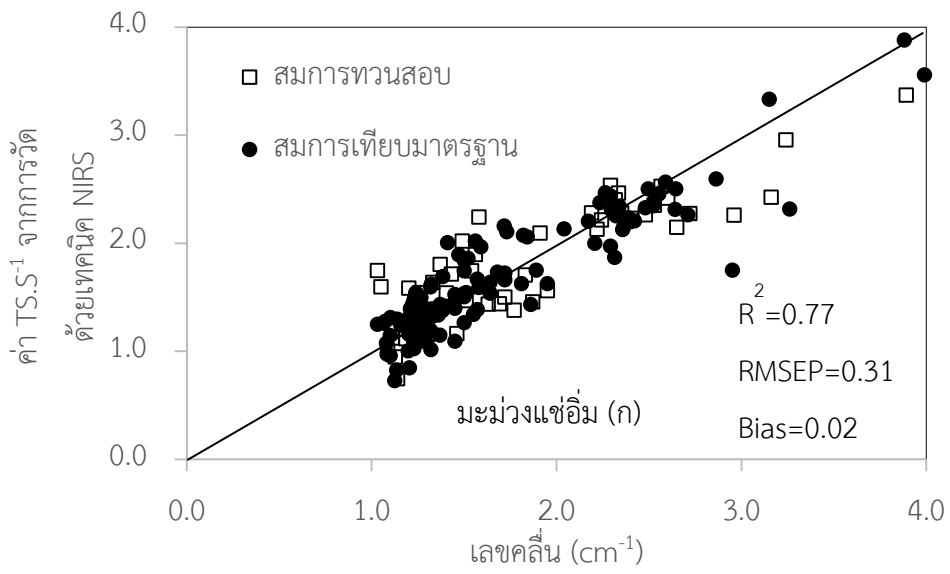


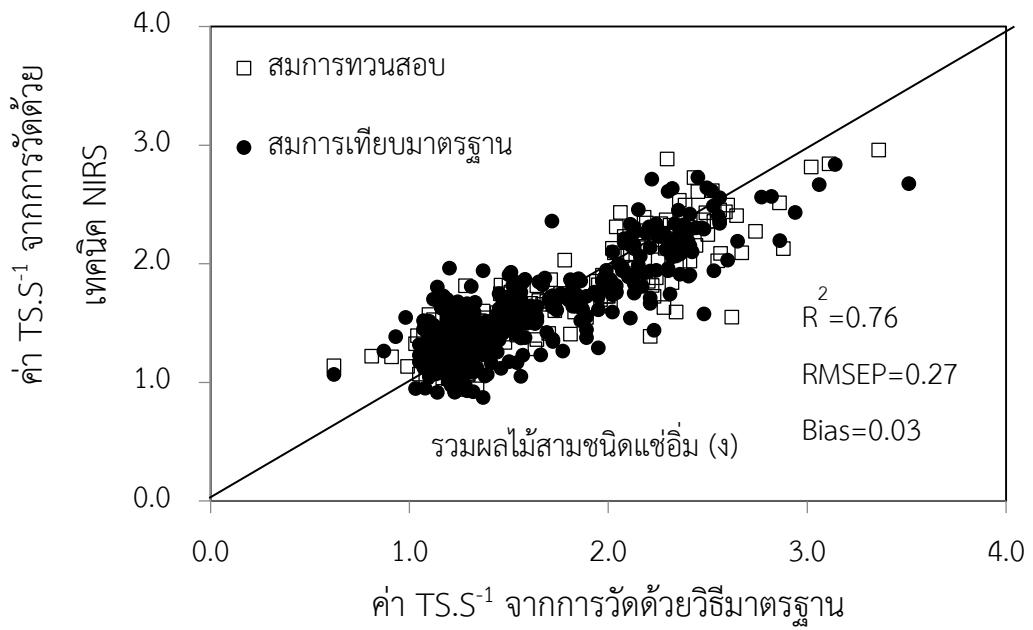
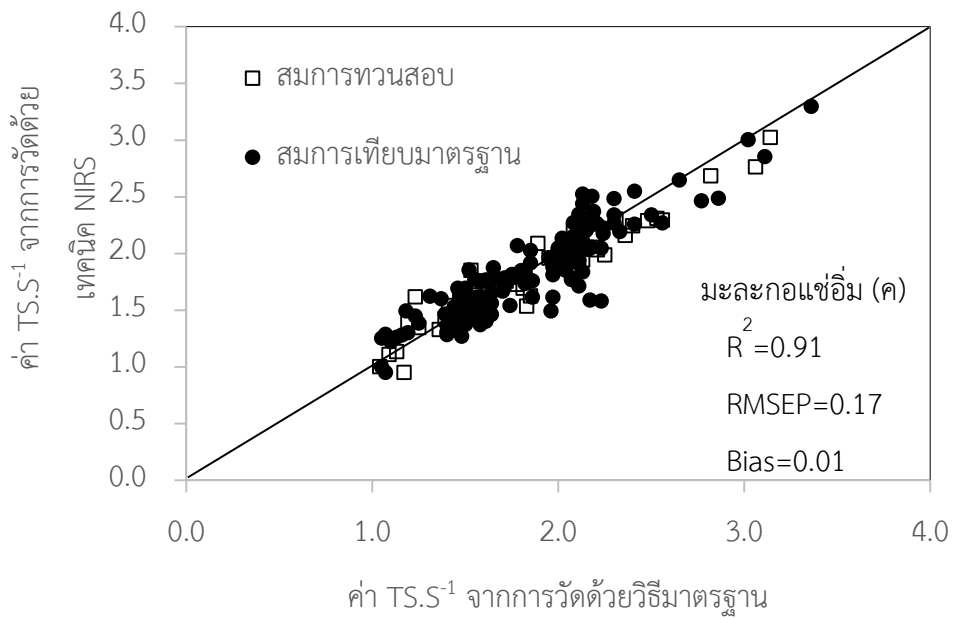
ภาพที่ 24 การกระจายตัวของอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสของของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ (ค) และผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่อิ่ม (ง)

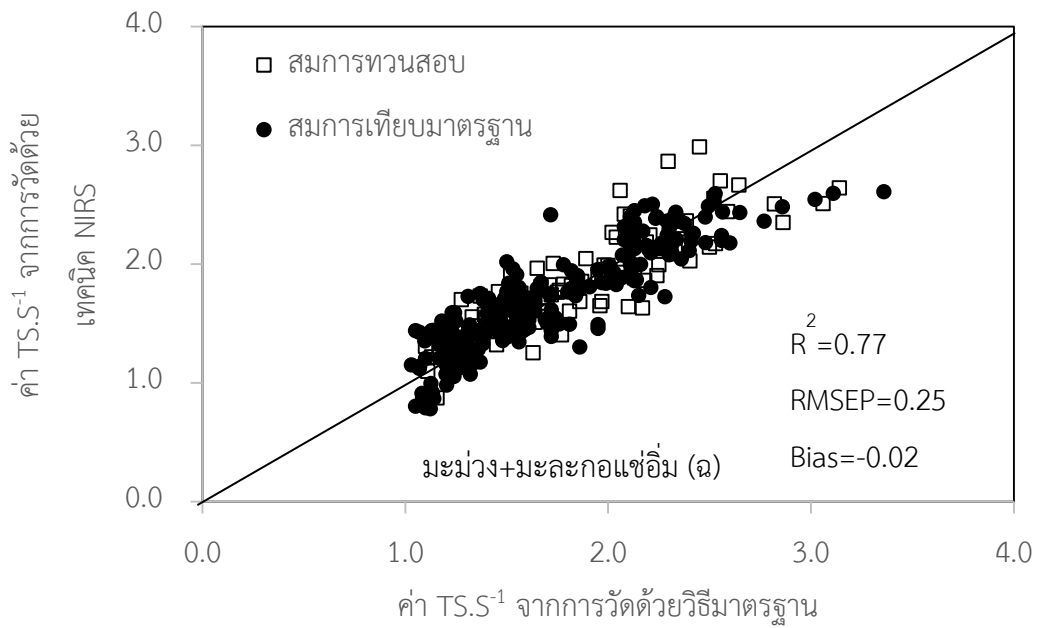
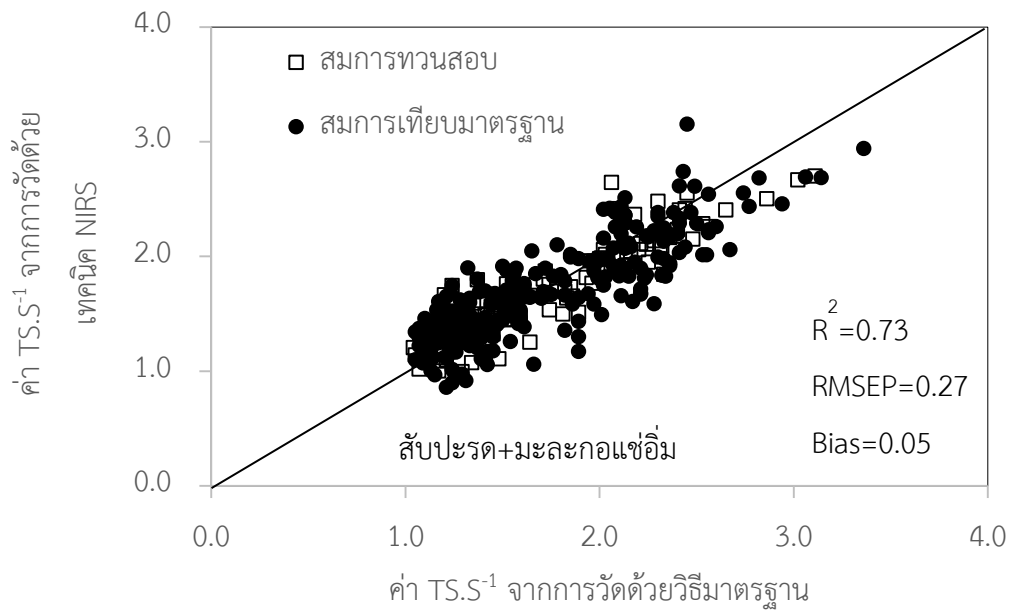


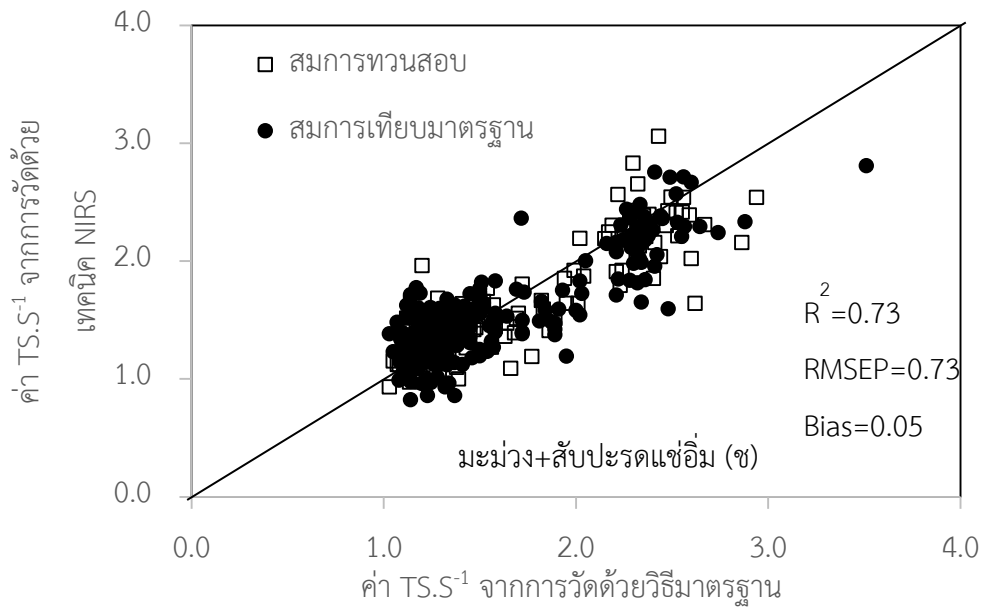
ตารางที่ 23 ค่าทางสถิติของสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ของมะม่วง สับปรต และมะละกอภายใต้แห้ง
 อิม

ชนิดผลไม้ภายใต้แห้งอิม	การปรับแต่ง สเปกตรัม	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	PLR factor	สมการเทียบมาตรฐาน (70%)		สมการทวนสอบ (30%)			
				R ²	RMSEC	R ²	RMSEP	bias	RPD
มะม่วง	d ₁ +MSC	9411.5-6094.3	10	0.81	0.26	0.77	0.31	0.02	2.10
		4613.2-4242.9							
สับปรต	d ₁ +MSC	9411.5-6094.3	9	0.80	0.26	0.82	0.21	-0.002	2.37
		5461.8-4242.9							
มะละกอ	d ₂	9411.5-7498.4	8	0.83	0.19	0.91	0.17	0.01	3.40
		6109.8-4242.9							
รวมผลไม้ 3 ชนิด	d ₁ +SNV	9411.5-7498.4	10	0.71	0.26	0.76	0.27	0.03	2.04
		6109.8-4242.9							
สับปรตและมะละกอ	d ₂	9411.5-5446.3	9	0.72	0.25	0.73	0.27	0.05	1.95
		9411.5-5446.3							
มะม่วงและมะละกอ	d ₂	9411.5-5446.3	10	0.80	0.22	0.77	0.25	-0.02	2.07
		4613.2-4242.9							
มะม่วงและสับปรต	d ₁ +SNV	9411.5-4242.9	9	0.72	0.26	0.73	0.27	0.05	1.95

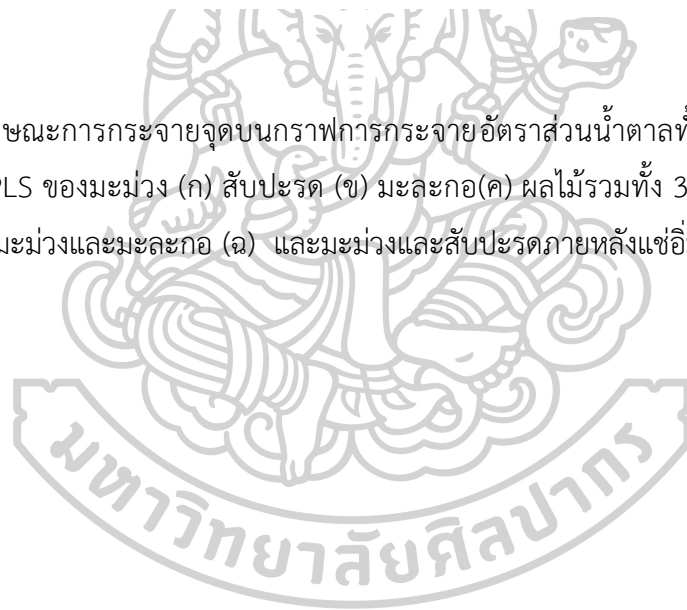


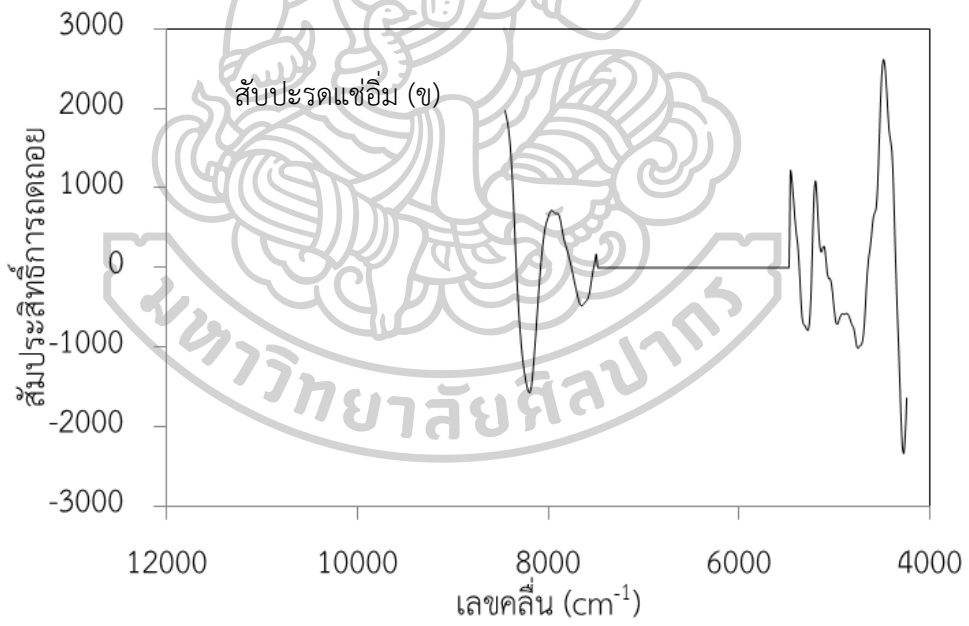
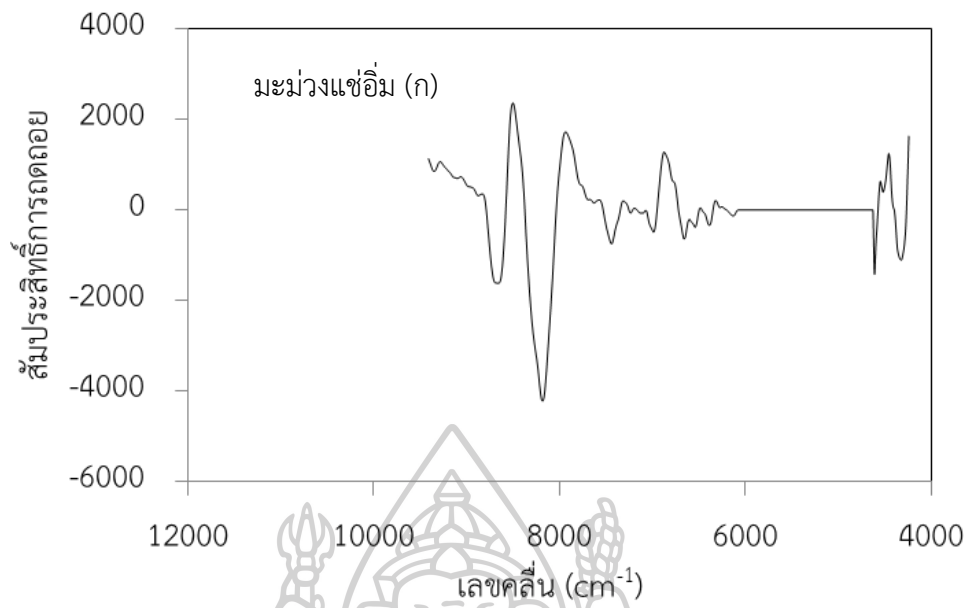


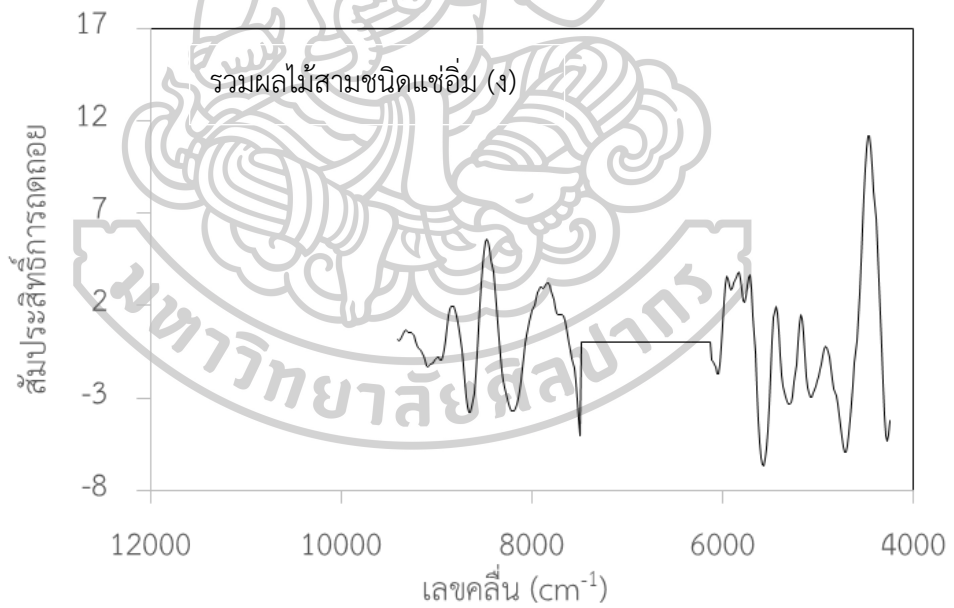
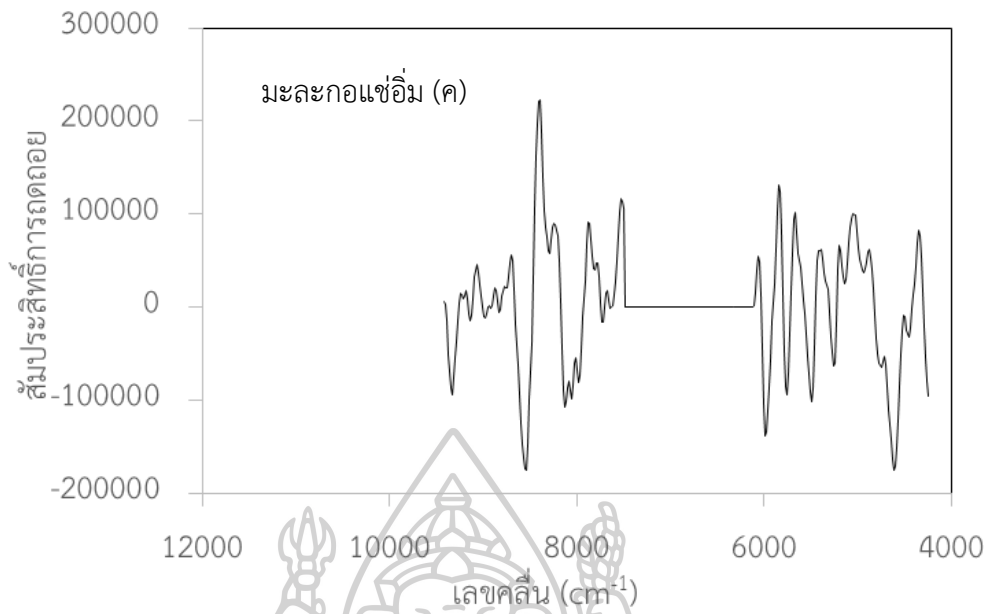


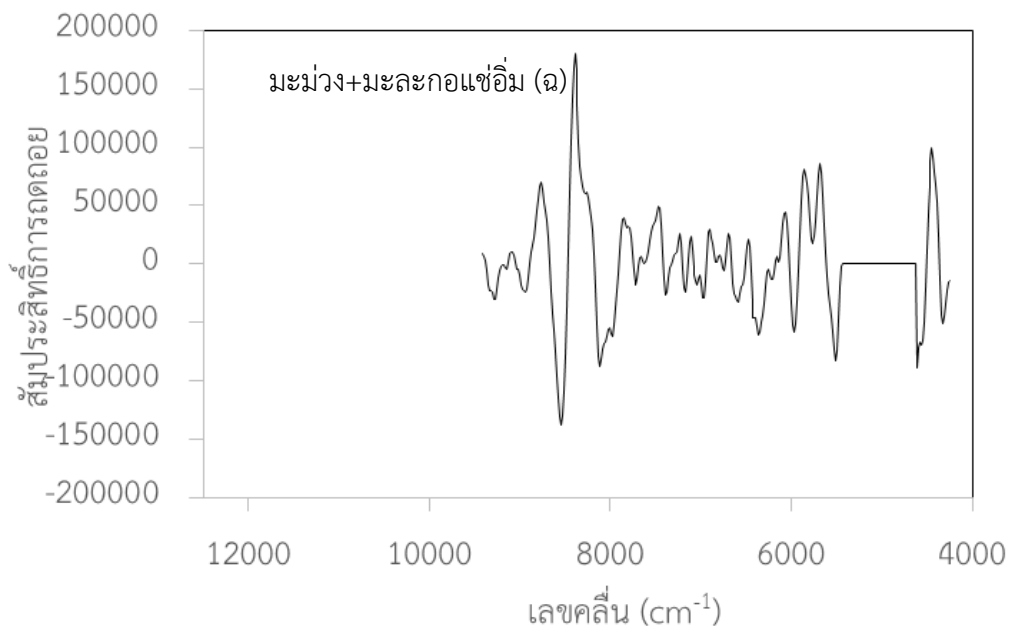
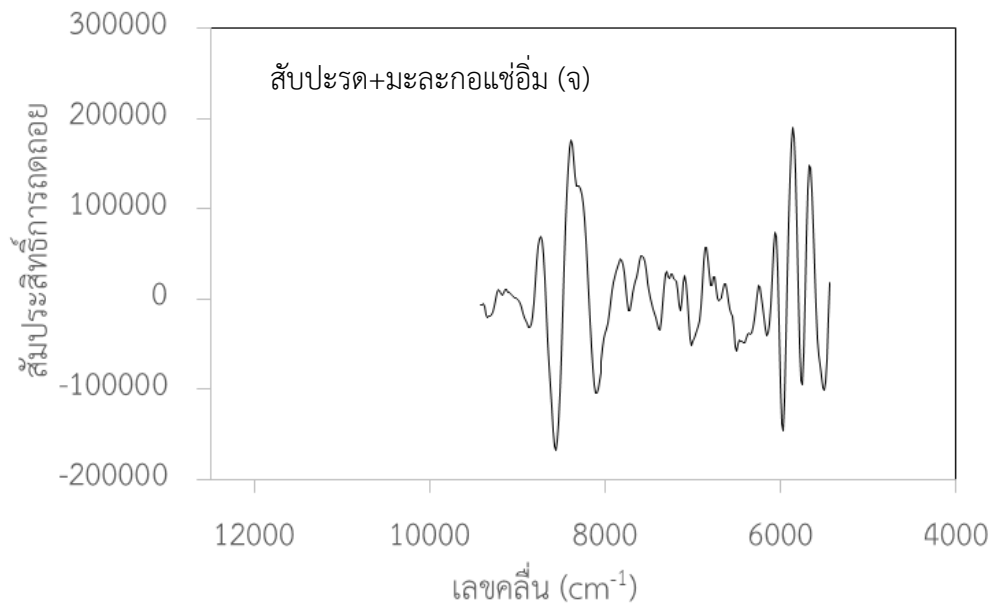


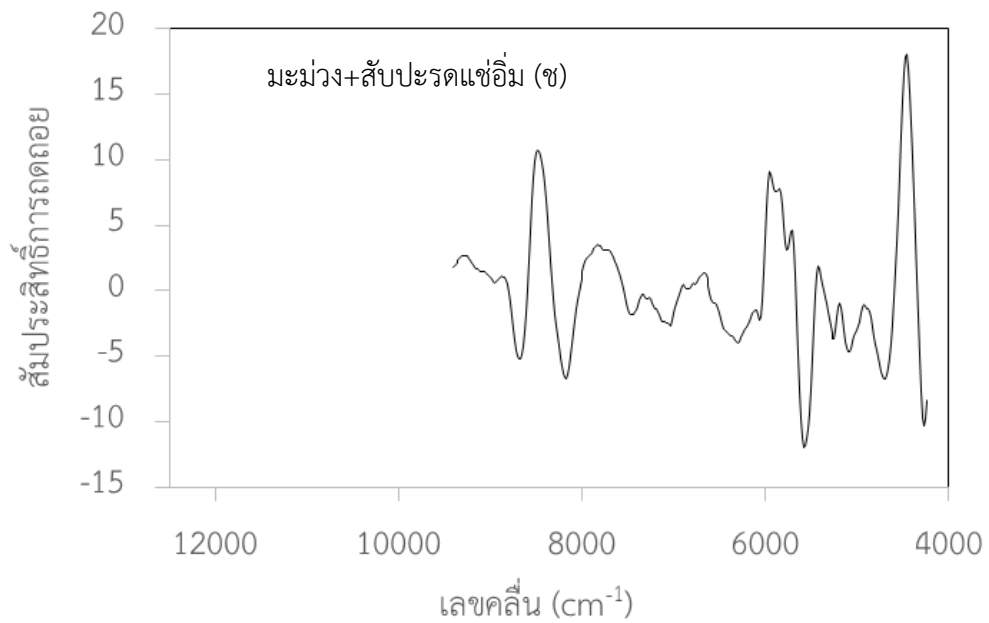
ภาพที่ 25 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ด้วยเทคนิค PLS ของมะม่วง (ก) สับปรด (ข) มะละกอ(ค) ผลไม้รวมทั้ง 3 ชนิด (ง) สับปรดและมะละกอ (จ) มะม่วงและมะละกอ (ฉ) และมะม่วงและสับปรดภายหลังแช่เย็น (ช)



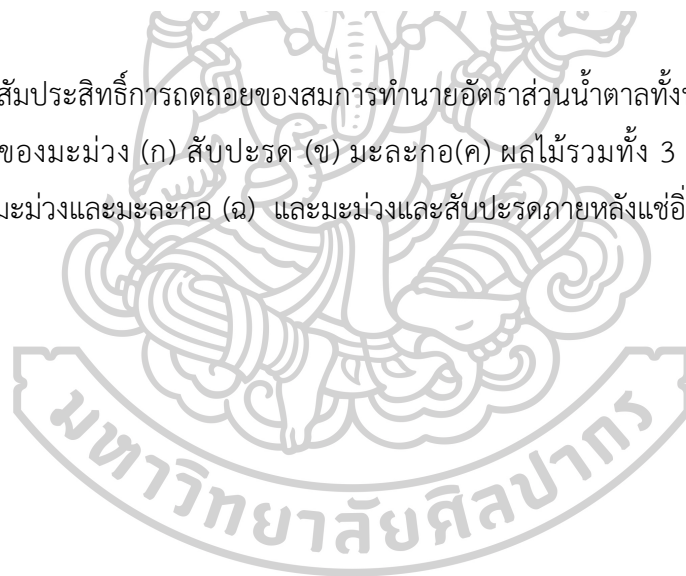








ภาพที่ 26 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยเทคนิค PLS ของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ(ค) ผลไม้รวมทั้ง 3 ชนิด (ง) สับปะรดและมะละกอ (จ) มะม่วงและมะละกอ (ฉ) และมะม่วงและสับปะรดภายหลังแช่ส้ม (ซ)



สำหรับการทดสอบสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ในชั้นผลไม้แช่
 อิ่มแต่ละชนิดได้แก่มะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม ชั้นผลไม้แช่อิ่มสองชนิดได้แก่ มะม่วงร่วมกับ
 มะละกอ และสับปะรดร่วมกับมะละกอ และสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ในชั้น
 ผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่อิ่ม พบว่ามีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 12099
 เนื่องจากมีค่า $bias < T_b$, $SEP < T_{ue}$ และ $T_{obs} < T_{value}$ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ มาตรฐาน ISO
 12099 ดังตารางที่ 24 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน
 ในขณะที่สมการที่สร้างจากชั้นผลไม้แช่อิ่มสองชนิดได้แก่ มะม่วงร่วมกับสับปะรดไม่ผ่านตามมาตรฐาน
 ISO 12099 เนื่องจากมี $bias$ มากกว่าค่า T_b หมายความว่าค่า $TS.S^{-1}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี
 มาตรฐานและค่า $TS.S^{-1}$ ที่ได้จากวิธี NIRS มีความแตกต่างกันอย่างมาก

ตารางที่ 24 การทดสอบสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสตามมาตรฐาน ISO
 12099

ชนิดผลไม้ภายหลังแช่อิ่ม	$bias < T_b$	$SEP < T_{ue}$	$T_{obs} < T_{value}$	กฎ 3 ข้อ
มะม่วง	0.003 < 0.08	0.31 < 0.37	1.51 < 1.98	✓
สับปะรด	0.01 < 0.03	0.10 < 0.34	1.66 < 1.98	✓
มะละกอ	0.01 < 0.05	0.17 < 0.22	1.43 < 1.98	✓
รวมผลไม้ 3 ชนิด	0.03 < 0.04	0.27 < 0.29	1.64 < 1.97	✓
สับปะรดและมะละกอ	0.005 < 0.04	0.21 < 0.30	1.47 < 1.98	✓
มะม่วงและมะละกอ	-0.02 < 0.05	0.24 < 0.25	1.22 < 1.98	✓
มะม่วงและสับปะรด	0.05 > 0.06	0.27 < 0.29	2.27 > 1.98	×

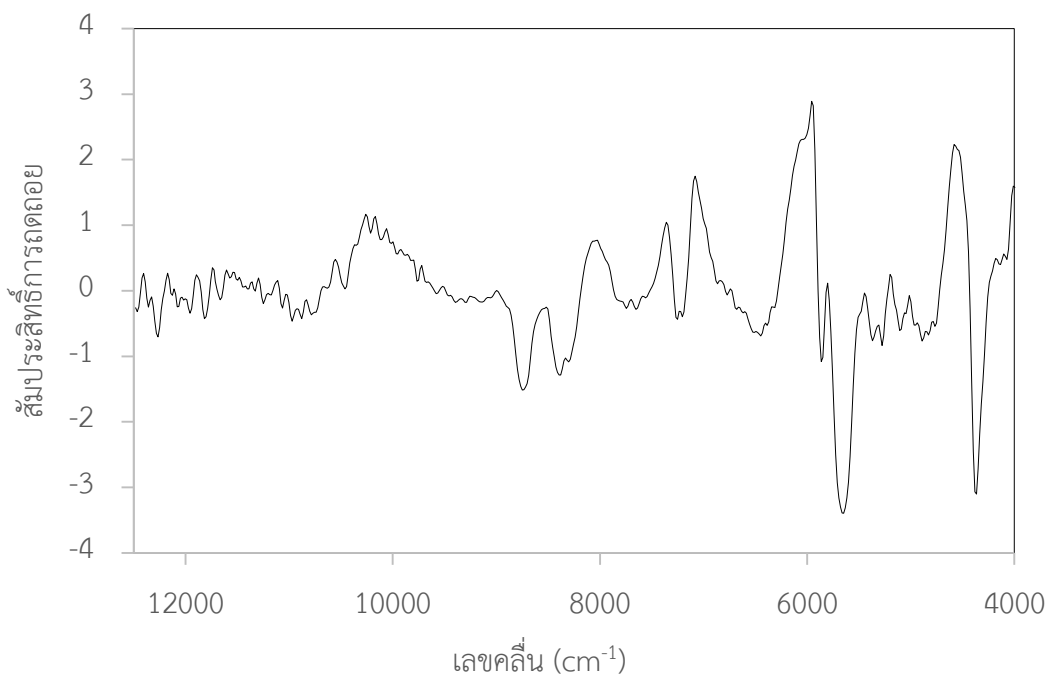
- การสร้างสมการเทียบมาตรฐานอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยวิธี

MLR

จากภาพที่ 27 แสดงค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า TS.S⁻¹ ของมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่โอ้มนก่อนการทำแห้งทั้งแบบสมการเดี่ยวและสมการรวมด้วยเทคนิควิธีการถดถอยพหุคูณ (MLR) แบบเลือกเลขคลื่นจำนวน 21 เลขคลื่น ได้แก่ 11772, 10198, 8733, 8563, 8548, 8301, 8023, 7545, 7298, 7205, 7097, 6897, 6804, 5940, 5925, 5847, 5431, 5277, 5215, 4536 และ 4366 cm⁻¹ สำหรับเลขคลื่นที่เลือกมาใช้ในการสร้างสมการทำนายพบว่าเป็นตำแหน่งการดูดกลืนแสงของน้ำตาลได้แก่ บริเวณ 4385-4291 cm⁻¹ เป็นการสั่นแบบคอมบิเนชันของพันธะ C-H (Thamasopinkul และคณะ, 2017) การดูดกลืนแสงของน้ำตาลกลูโคสบริเวณ 5990-5920 cm⁻¹ มีรูปแบบการสั่นแบบโอเวอร์โทนอันดับหนึ่งของพันธะ O-H เช่นเดียวกับช่วงเลขคลื่น 4400-4343 cm⁻¹ เป็นการดูดกลืนแสงของโพลีแซคคาไรด์โดยสับแบบการยืดของพันธะ C-O และการยืดของพันธะ C-H (Sinelli และคณะ, 2011) อีกทั้งยังมีรายงานว่าเลขคลื่นบริเวณ 7692-5555 cm⁻¹ ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงของน้ำตาลทั้งหมด.ในสารละลายกลูโคส ฟรุคโตสและซูโครสที่ระดับความเข้มข้น 11.2 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร (Rambla และคณะ, 1997) และยังมีเลขคลื่นที่คัดเลือกยังเป็นตำแหน่งที่มีสัมประสิทธิ์การถดถอยที่สำคัญ มีค่ามากซึ่งแสดงถึงความสำคัญของเลขคลื่นที่ดำเนินการคัดเลือกดังภาพที่ 29

จากตารางที่ 25 แสดงสำหรับสมการทำนายค่า TS.S⁻¹ ที่เหมาะสมของมะม่วงแช่โอ้มน มีค่า R² เท่ากับ 0.77 RMSEP เท่ากับ 0.38 bias เท่ากับ -0.10 และ RPD เท่ากับ 1.59 จะพบว่าประสิทธิภาพของสมการทำนายค่า TS.S⁻¹ ของมะม่วงแช่โอ้มนคือสามารถใช้คัดเลือกคุณภาพเบื้องต้นได้ เช่นเดียวกับสมการทำนายค่า TS.S⁻¹ ของสับปะรดแช่โอ้มนพบว่ามี R² เท่ากับ 0.76 RMSEP เท่ากับ 0.27 bias เท่ากับ -0.02 และ RPD เท่ากับ 2.06 และสมการทำนายค่า TS.S⁻¹ ของมะละกอแช่โอ้มนมีค่า R² เท่ากับ 0.75 RMSEP เท่ากับ 0.26 bias เท่ากับ 0.03 และ RPD เท่ากับ 2.01 ในขณะที่กลุ่มทวนสอบสมการ และสมการทำนาย TS.S⁻¹ ของผลไม้หลังแช่โอ้มนทั้งสามชนิดมีค่า R² เท่ากับ 0.60 RMSEP เท่ากับ 0.35 bias เท่ากับ 0.08 และ RPD เท่ากับ 1.57 กล่าวคือสมการมีประสิทธิภาพสามารถใช้คัดเลือกเบื้องต้นได้

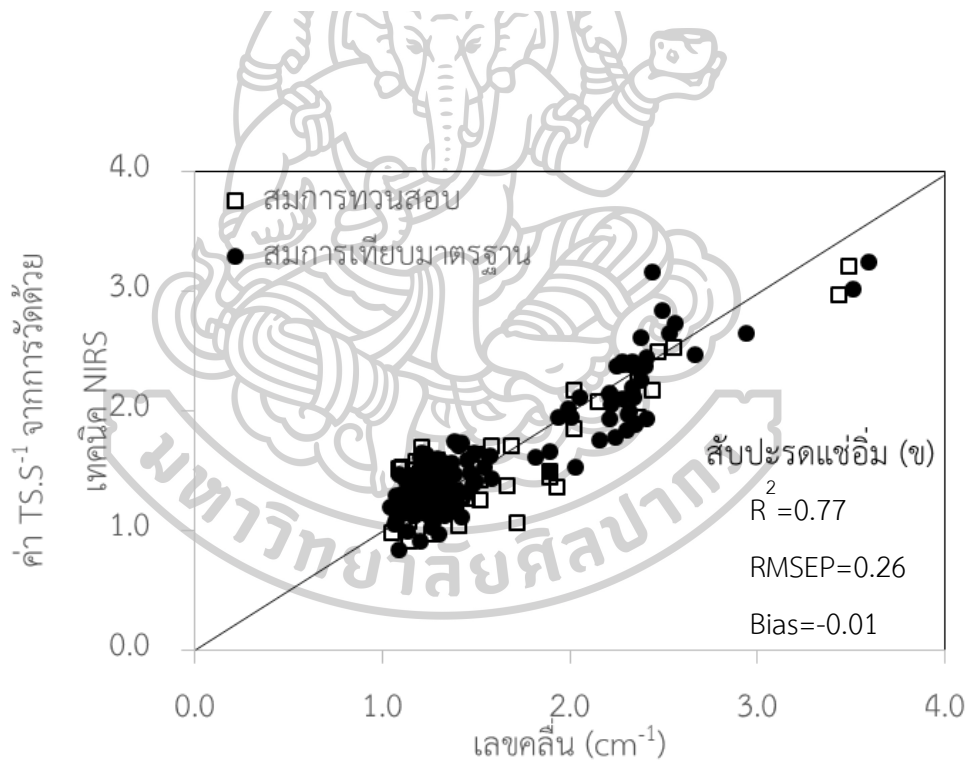
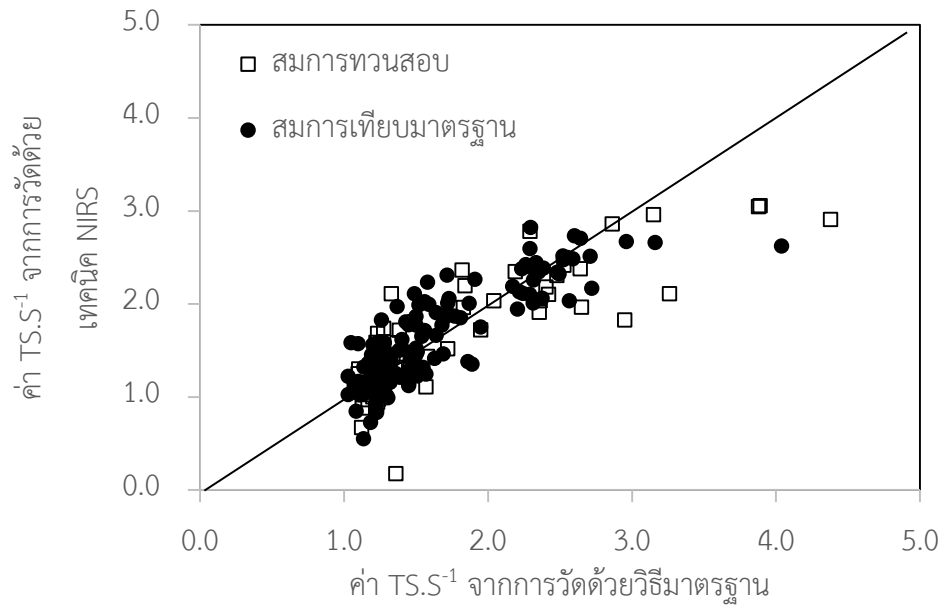
จากภาพที่ 30 แสดงการกระจายตัวของค่า $TS.S^{-1}$ ที่ได้จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบด้วยเทคนิค NIRS ในผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอ และผลไม้แช่อิ่มรวมสามชนิด พบว่าสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบสำหรับการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ในชิ้นสับปะรด และมะละกอแช่อิ่มมีการกระจายตัวใกล้เส้นทแยงมุม (target line) บ่งบอกถึงการทำนายได้อย่างถูกต้องและข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่รอบเส้นทแยงมุมตั้งแต่ค่า 1.0-4.0 ของ $TS.S^{-1}$.ในขณะที่การกระจายข้อมูลของมะม่วงแช่อิ่มและสมการเทียบมาตรฐานทั่วไปสำหรับทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ของผลไม้ภายหลังแช่อิ่มที่สร้างจากผลไม้สามชนิดจะมีลักษณะข้อมูลจำนวนมากบริเวณที่ค่า $TS.S^{-1}$ ต่ำกว่า 2.0 แต่ยังมีแนวโน้มข้อมูลกระจายตัวอยู่รอบเส้นทแยงมุม

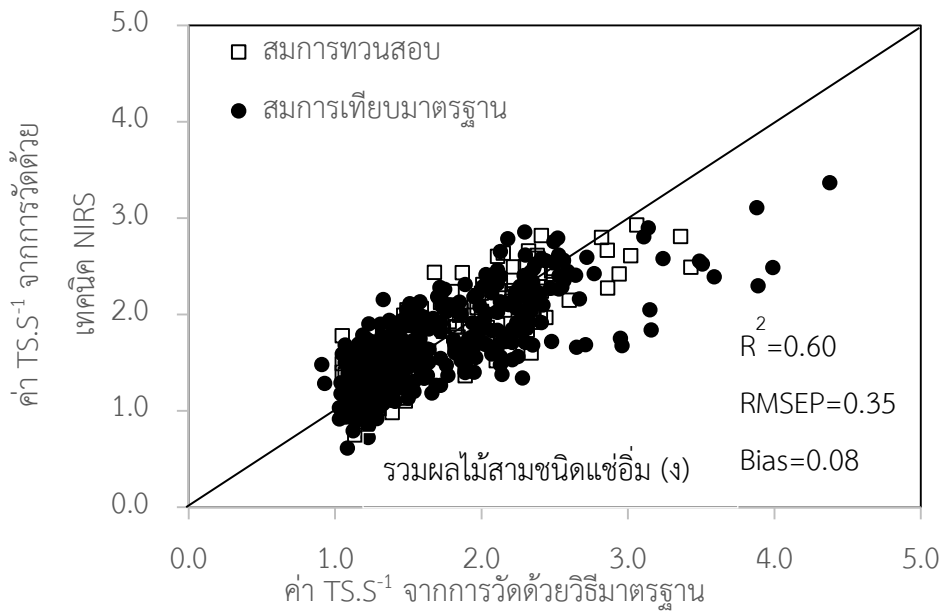
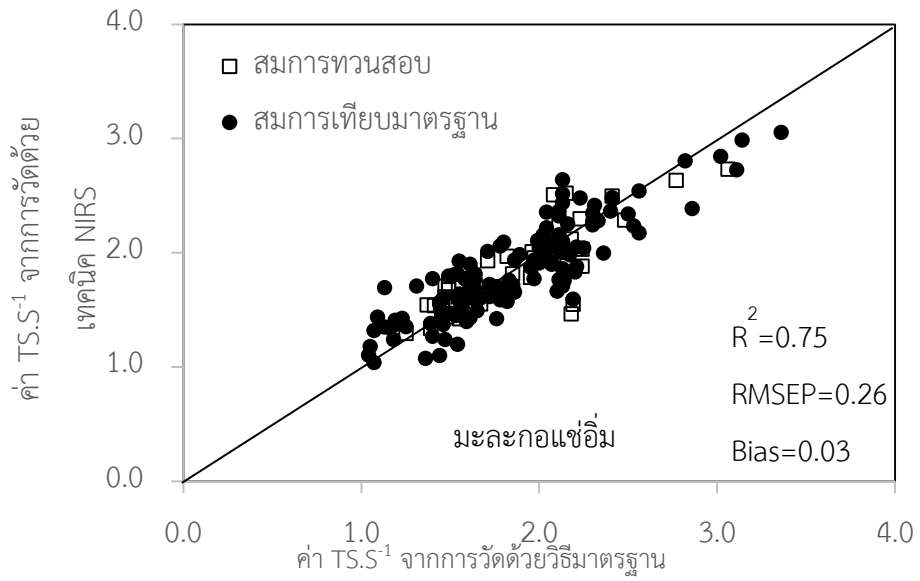


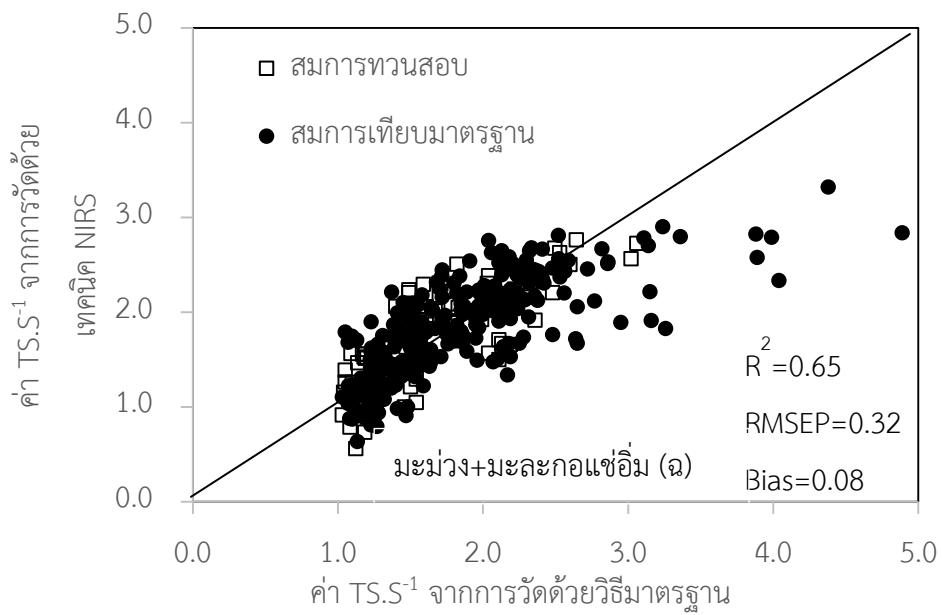
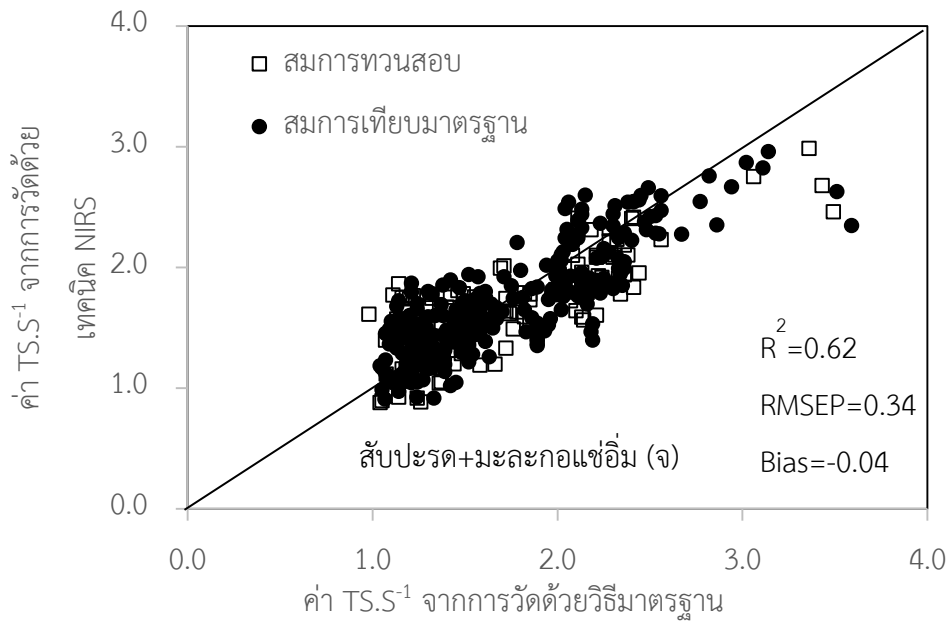
ภาพที่ 27 สัมประสิทธิ์การถดถอยอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสของสเปกตรัมผลไม้ ภายหลังแช่อิ่มทั้งสามชนิด

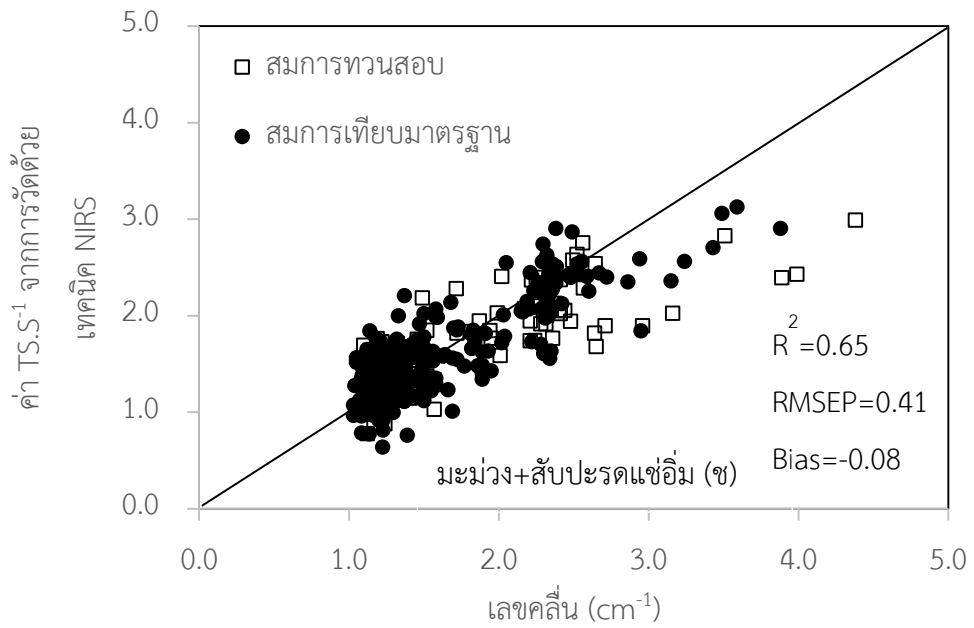
ตารางที่ 25 ค่าทางสถิติของสมการเทียบมาตรฐานและสมการทวนสอบอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดก่อนน้ำตาลซูโครสของมะม่วง สับปรต และมะละกอภายหลังแช่
 อิม

ชนิดผลไม้อีกหลัง แช่อิม	การปรับแต่ง สเปกตรัม	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	สมการเทียบมาตรฐาน (70%)			สมการทวนสอบ (30%)		
			R ²	RMSEC	R ²	RMSEP	bias	RPD
มะม่วง	SNV		0.79	0.25	0.77	0.38	-0.10	1.59
สับปรต	SNV		0.83	0.23	0.76	0.27	-0.02	2.06
มะละกอ	ไม่มีการ ปรับแต่ง	11772, 10198, 8733	0.79	0.24	0.75	0.26	0.03	2.01
รวมผลไม้ 3 ชนิด	ไม่มีการ ปรับแต่ง	8563, 8548, 8301,	0.63	0.35	0.60	0.35	0.08	1.57
	ไม่มีการ ปรับแต่ง	8023, 7545, 7298,						
สับปรตและมะละกอ	ไม่มีการ ปรับแต่ง	7205, 7097, 6897	0.71	0.28	0.62	0.34	-0.04	1.62
	ไม่มีการ ปรับแต่ง	6804, 5940, 5925,						
มะม่วงและมะละกอ	ไม่มีการ ปรับแต่ง	5847, 5431, 5277,	0.59	0.43	0.65	0.32	0.08	1.52
	ไม่มีการ ปรับแต่ง	5215, 4536, 4366						
มะม่วงและสับปรต	ไม่มีการ ปรับแต่ง		0.68	0.34	0.65	0.41	-0.08	1.63
	ไม่มีการ ปรับแต่ง							



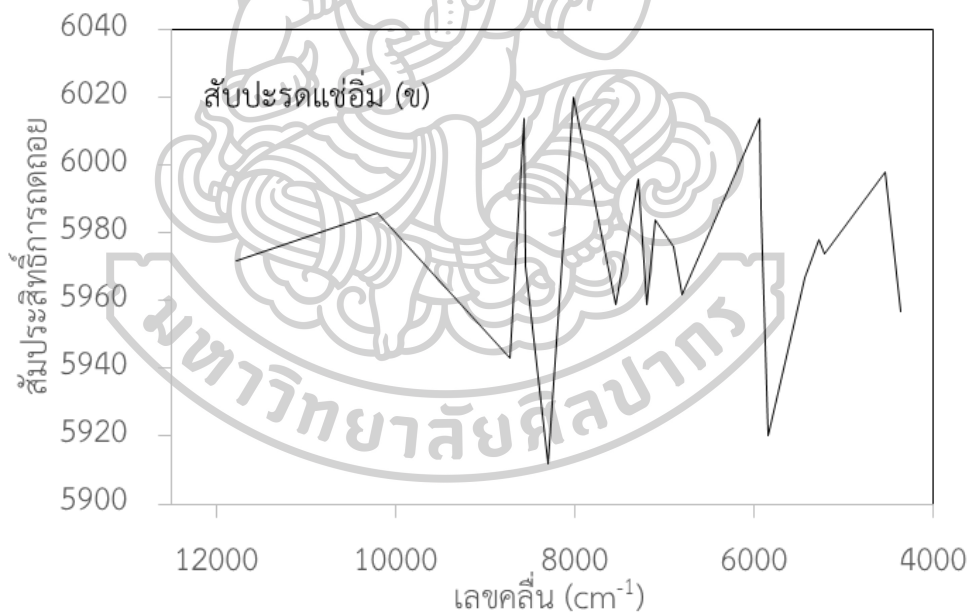
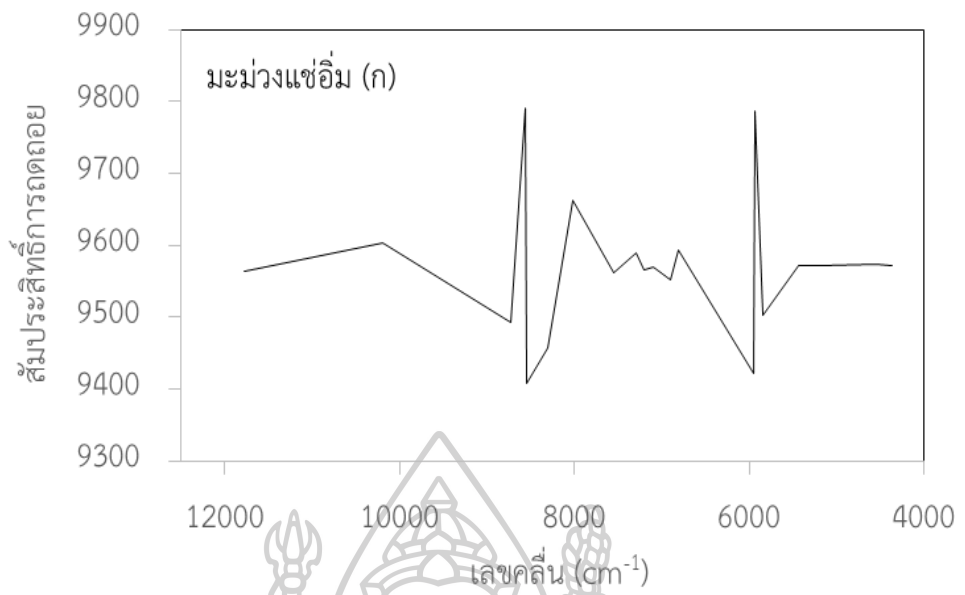


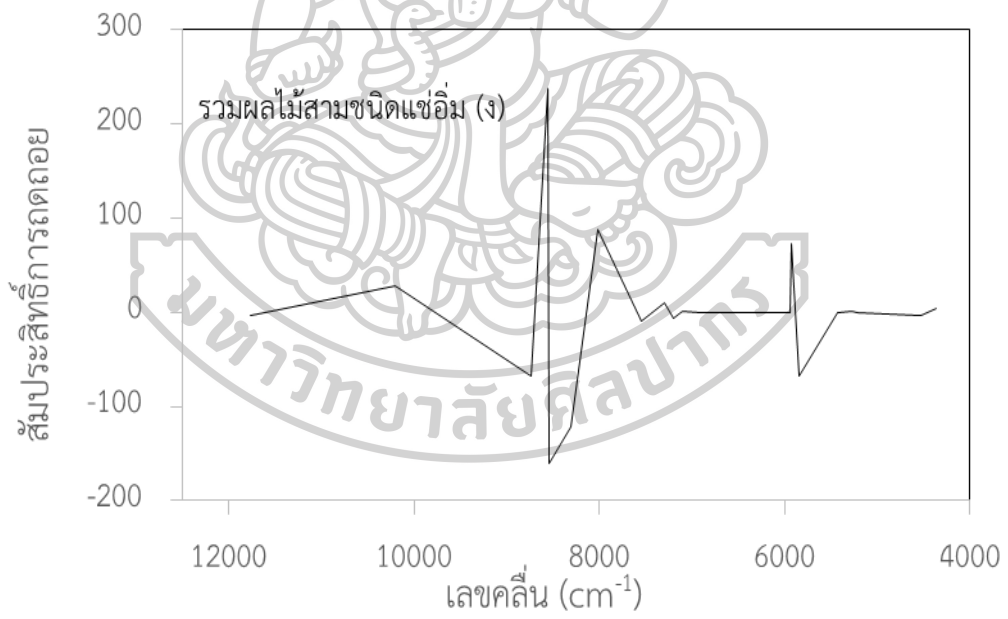
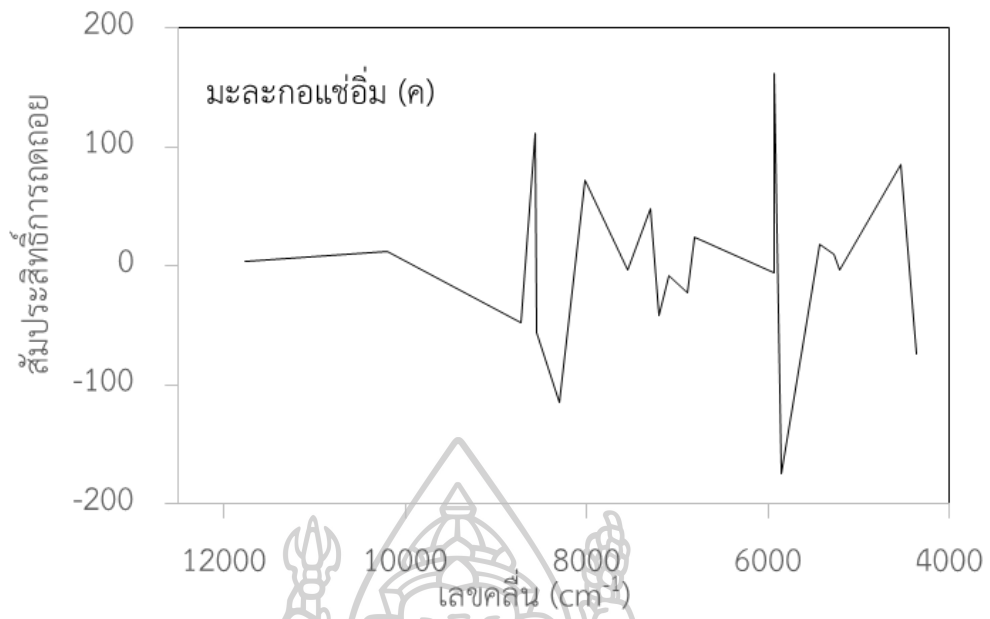


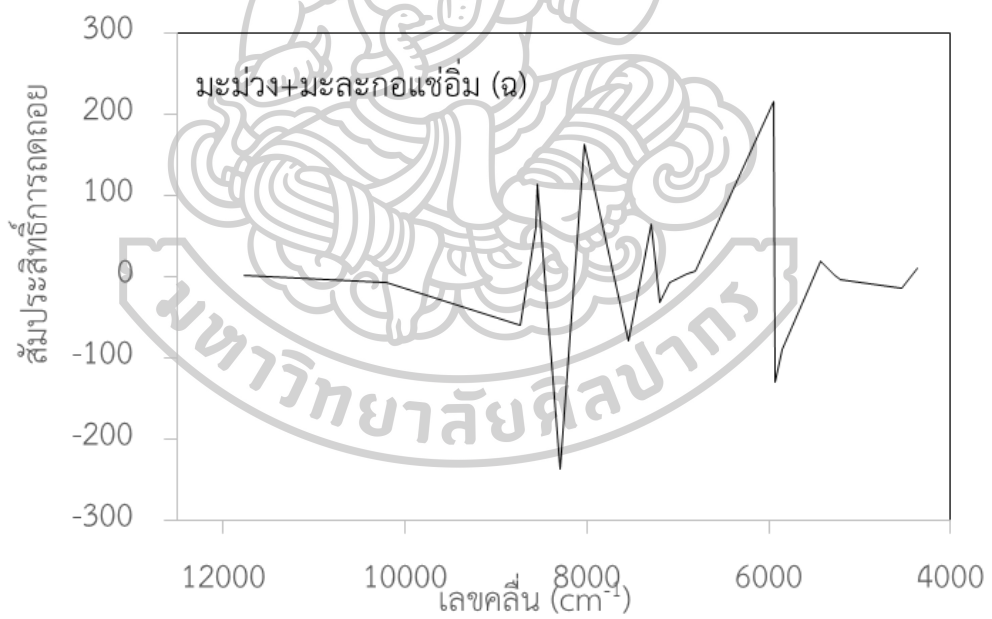
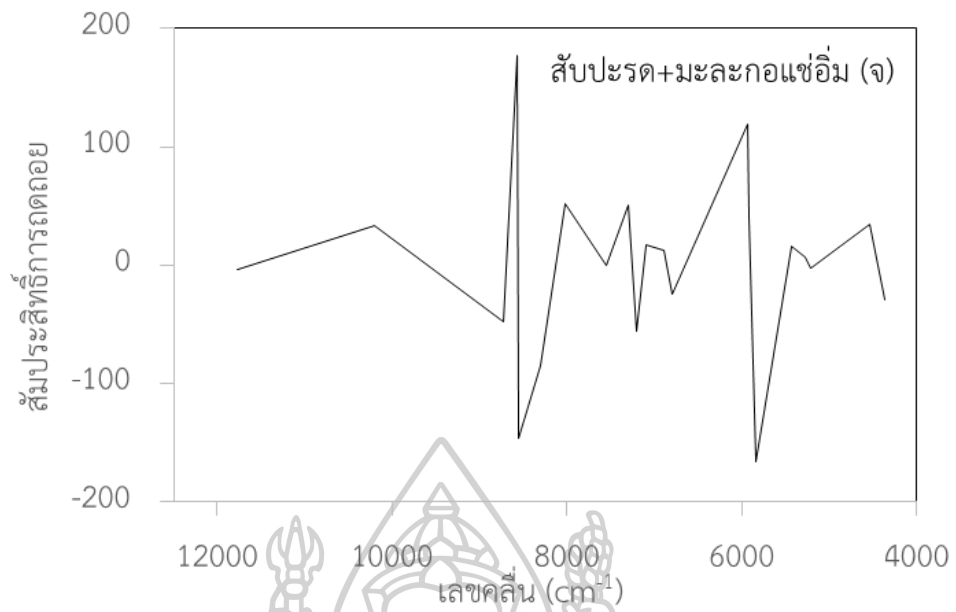


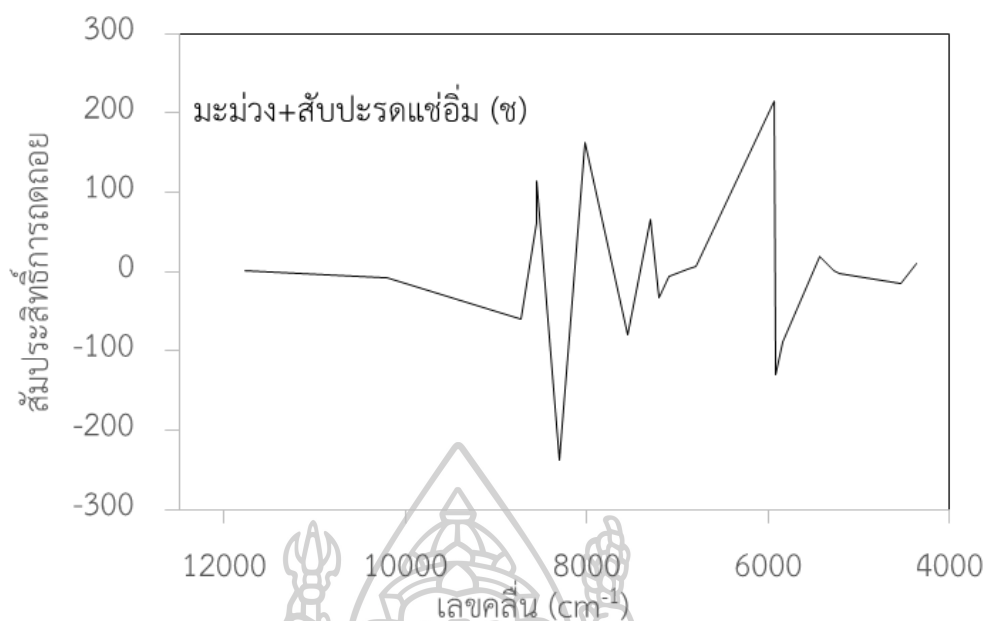
ภาพที่ 28 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ด้วยเทคนิค MLR ของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ(ค) ผลไม้รวมทั้ง 3 ชนิด (ง) สับปะรดและมะละกอ (จ) มะม่วงและมะละกอ (ฉ) และมะม่วงและสับปะรดภายหลังแช่อิ่ม (ช)











ภาพที่ 29 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ด้วยเทคนิค MLR ของของมะม่วง (ก) สับปะรด (ข) มะละกอ(ค) ผลไม้รวมทั้ง 3 ชนิด (ง) สับปะรด และมะละกอ (จ) มะม่วงและมะละกอ (ฉ) และมะม่วงและสับปะรดภายหลังแช่เย็น (ช)



สำหรับการทดสอบสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ในชั้นผลไม้แช่ อิ่มแต่ละชนิดได้แก่ สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม พบว่ามีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 12099 เนื่องจากมีค่า $bias < T_b$, $SEP < T_{ue}$ และ $T_{obs} < T_{value}$ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ มาตรฐาน ISO 12099 ดังตารางที่ 26 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการทำนายค่า $TS.S^{-1}$ มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน ในขณะที่สมการที่สร้างจากชั้นผลไม้ชนิดเดียวคือมะม่วง ผลไม้แช่อิ่มสองชนิดได้แก่ มะม่วงร่วมกับมะละกอ และสับปะรดร่วมกับมะละกอ และสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายค่า $TS.S^{-1}$ ในชั้นผลไม้รวมทั้งสามชนิดภายหลังการแช่อิ่ม ไม่ผ่านตามมาตรฐาน ISO 12099 เนื่องจากมี SEP มากกว่าค่า T_{ue}

ตารางที่ 26 การทดสอบสมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสตามมาตรฐาน ISO 12099

ชนิดผลไม้ภายหลังแช่อิ่ม	$bias < T_b$	$SEP < T_{ue}$	$T_{obs} < T_{value}$	กฎ 3 ข้อ
มะม่วง	$-0.01 < 0.10$	$0.38 > 0.33$	$0.79 < 2.01$	x
สับปะรด	$-0.002 < 0.07$	$0.27 < 0.30$	$1.35 < 2.01$	✓
มะละกอ	$0.001 < 0.06$	$0.23 < 0.30$	$0.86 < 2.01$	✓
รวมผลไม้ 3 ชนิด	$0.07 < 0.22$	$1.41 > 0.40$	$1.42 < 1.98$	x
สับปะรดและมะละกอ	$-0.04 < 0.25$	$1.29 > 0.33$	$0.61 < 1.98$	x
มะม่วงและมะละกอ	$0.08 < 0.26$	$1.34 > 0.50$	$2.65 > 1.98$	x
มะม่วงและสับปะรด	$-0.08 < 0.23$	$1.26 > 0.40$	$0.62 < 1.98$	x

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มีความเป็นไปได้ในการติดตามคุณภาพของขึ้นมะม่วง สับปะรดและมะละกอแช่อิ่มได้ ดังนี้

1. เทคนิค NIRS มีความสามารถในการทำนายปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในสมการผลไม้อิ่มแต่ละชนิด ได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม และทำนายปริมาณความชื้นในสมการผลไม้อิ่มรวมสามชนิดด้วยเทคนิค PLS และ MLR
2. เทคนิค NIRS มีความสามารถในการทำนายปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดในสมการมะม่วงแช่อิ่มด้วยเทคนิค PLS
3. เทคนิค NIRS สามารถทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสได้ในสมการผลไม้อิ่มแต่ละชนิด ได้แก่ มะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่ม และทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการผลไม้อิ่มรวมสามชนิดด้วยเทคนิค PLS และ MLR แต่ความแม่นยำของสมการด้วยวิธี PLS มีความแม่นยำมากกว่า
4. การทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยตัวอย่างกลุ่มใหม่คือมะม่วงแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น ด้วยสมการที่สร้างจากมะม่วงแช่อิ่มพบว่าร้อยละความถูกต้องโดยเฉลี่ยของการทำนายเท่ากับ 80 และร้อยละความผิดพลาดของการทำนายเท่ากับ 14.99
5. การทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยตัวอย่างกลุ่มใหม่คือสับปะรดแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น ด้วยสมการที่สร้างจากสับปะรดแช่อิ่มพบว่าร้อยละความถูกต้องโดยเฉลี่ยของการทำนายเท่ากับ 70 และร้อยละความผิดพลาดของการทำนายเท่ากับ 22.30
6. การทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสด้วยตัวอย่างกลุ่มใหม่คือมะละกอแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น ด้วยสมการที่สร้างจากมะละกอแช่อิ่มพบว่าร้อยละความถูกต้องโดยเฉลี่ยของการทำนายเท่ากับ 75 และร้อยละความผิดพลาดของการทำนายเท่ากับ 15.35
7. สมการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในผลไม้อิ่มรวมสามชนิดมีความแม่นยำในการทำนายร้อยละความถูกต้องโดยเฉลี่ยของการทำนายเท่ากับ 81.6 และเมื่อนำ

ขึ้นผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิดได้แก่มะม่วง สับปะรด และมะละกามาทำนายพบว่าร้อยละความ
ถูกต้องโดยเฉลี่ยของการทำนายเท่ากับ 75, 75 และ 95



รายการอ้างอิง

- A.O.A.C. 2000. Association of Official Analytical Chemists. 376-384.
- Ahmed, I., Qazi, I. M., Jamal, S. 2016. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 34: 29-43.
- Alakali, J. S., Ariahu, C. C., Nkpa, N. N. 2006. KINETICS OF OSMOTIC DEHYDRATION OF MANGO. *Journal of Food Processing and Preservation*. 30(5): 597-607.
- Alamar, P. D., Caramès, E. T. S., Poppi, R. J., Pallone, J. A. L. 2016. Quality evaluation of frozen guava and yellow passion fruit pulps by NIR spectroscopy and chemometrics. *Food Research International*. 85: 209-214.
- Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S., Bejar, A. K., Perez, C. T., Kechaou, N. 2017. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. *Ultrasonics sonochemistry*. 36: 286-300.
- Amodio, M. L., Ceglie, F., Chaudhry, M. M. A., Piazzolla, F., Colelli, G. 2017. Potential of NIR spectroscopy for predicting internal quality and discriminating among strawberry fruits from different production systems. *Postharvest Biology and Technology*. 125: 112-121.
- Bakier, S. 2008. Application of NIR spectroscopy for the analysis of water-carbohydrate interactions in water solutions. *Acta Agrophysica*. 11(1): 7-21.
- Barman, N., Badwaik, L. S. 2017. Effect of ultrasound and centrifugal force on carambola (*Averrhoa carambola* L.) slices during osmotic dehydration. *Ultrasonics sonochemistry*. 34: 37-44.
- Bolin, H. R., Huxsoll, C., Jackson, R., Ng, K. C. 1983. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*. 48(1): 202-205.
- Bruijn, J., Rivas, F., Rodriguez, Y., Loyola, C., Flores, A., Melin, P., Borquez, R. 2015. Effect of Vacuum Microwave Drying on the Quality and Storage Stability of Strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*. 40(5): 1104-1115.
- Budiastra, I. W., Widyotomo, S., Ayu, P. C. Prediction of Caffeine Content in Java Preanger Coffee Beans by NIR Spectroscopy Using PLS and MLR Method; 2017

2018. IOP Publishing. p 012004.
- Cen, H., He, Y. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Journal of Food Science and Technology*. 18(2): 72-83.
- Chavan, U. D., Amarowicz, R. 2012. Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Research*. 1: 202-209.
- Chiralt, A., Talens, P. 2005. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering*. 67(1): 167-177.
- Choung, M.-G. 2010. Determination of Sucrose Content in Soybean Using Near-infrared Reflectance Spectroscopy. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 53(4): 478-484.
- Collell, C., Gou, P., Arnau, J., Comaposada, J. 2011. Non-destructive estimation of moisture, water activity and NaCl at ham surface during resting and drying using NIR spectroscopy. *Food Chemistry*. 129(2): 601-607.
- Contreras, J. E., Smyrl, T. G. 1981. An Evaluation of Osmotic Concentration of Apple Rings Using Corn Syrup Solids Solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*. 14(4): 310-314.
- Corrêa, J. L. G., Pereira, L. M., Vieira, G. S., Hubinger, M. D. 2010. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. *Journal of Food Engineering*. 96(4): 498-504.
- da Costa Ribeiro, A. S., Aguiar-Oliveira, E., Maldonado, R. R. 2016. Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. *LWT - Food Science and Technology*. 72: 407-415.
- de Oliveira, G. A., Bureau, S., Renard, C. M.-G. C., Pereira-Netto, A. B., de Castilhos, F. 2014. Comparison of NIRS approach for prediction of internal quality traits in three fruit species. *Food Chemistry*. 143: 223-230.
- Delwiche, S. R., Mekwatanakarn, W., Wang, C. Y. 2008. Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy. *HortTechnology*. 18(3): 410-416.
- Di Egidio, V., Sinelli, N., Limbo, S., Torri, L., Franzetti, L., Casiraghi, E. 2009. Evaluation of

- shelf-life of fresh-cut pineapple using FT-NIR and FT-IR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 54(2): 87-92.
- Ditudompo, S., Pittarate, C. 2007. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Tomato Using Sucrose, Sorbitol and Maltitol. *Agricultural Sci. J.* 38(6): 115-118.
- Escobar, M. P., Galindo, F. G., Wadsö, L., Najera, J. R., Sjöholm, I. 2007. Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots (*Daucus carota* L. cv. Nerac). *Journal of Food Engineering*. 81(2): 313-317.
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Gaspareto, O. C. P., Oliveira, E. L. 2006. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. *Food Research International*. 39(4): 492-498.
- Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Cárcel, J. A., Villamiel, M., Garcia-Perez, J. V. 2014. Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. *Journal of Food Engineering*. 128: 132-139.
- Guthrie, J. A., Liebenberg, C. J., Walsh, K. B. 2006. NIR model development and robustness in prediction of melon fruit total soluble solids. *Australian Journal of Agricultural Research*. 57(4): 411-418.
- Henn, R., Kirchler, C. G., Huck, C. W. 2017. Miniaturized NIR spectroscopy for the determination of main carbohydrates in syrup. *NIR news*. 28(2): 3-6.
- Huang, Y., Lu, R., Chen, K. 2018. Assessment of tomato soluble solids content and pH by spatially-resolved and conventional Vis/NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering*. 236: 19-28.
- Jannok, P., Kamitani, Y., Kawano, S. 2014. Development of a Common Calibration Model for Determining the Brix Value of Intact Apple, Pear and Persimmon Fruits by near Infrared Spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 22(5): 367-373.
- Jha, S. N., Kingsly, A. R. P., Chopra, S. 2006. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. *Journal of Food Engineering*. 72(1): 73-76.
- Kaewsorn, K., Sirisomboon, P. 2014. Determination of the Gamma-Aminobutyric Acid

- Content of Germinated Brown Rice by near Infrared Spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 22(1): 45-54.
- Karathanos, V. T., Belessiotis, V. G. 1999. Application of a Thin-Layer Equation to Drying Data of Fresh and Semi-dried Fruits. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 74(4): 355-361.
- Liu, F.-X., Fu, S.-F., Bi, X.-F., Chen, F., Liao, X.-J., Hu, X.-S., Wu, J.-H. 2013. Physico-chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China. *Food Chemistry*. 138(1): 396-405.
- Liu, R., Qi, S., Lu, J., Han, D. 2015. Measurement of Soluble Solids Content of Three Fruit Species Using Universal near Infrared Spectroscopy Models. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 23(5): 301-309.
- Luo, X., Ye, Z., Xu, H., Zhang, D., Bai, S., Ying, Y. 2018. Robustness improvement of NIR-based determination of soluble solids in apple fruit by local calibration. *Postharvest Biology and Technology*. 139: 82-90.
- Madamba, P. S., Lopez, R. I. 2002. OPTIMIZATION OF THE OSMOTIC DEHYDRATION OF MANGO (*MANGIFERA INDICA* L.) SLICES. *Drying Technology*. 20(6): 1227-1242.
- Magwaza, L. S., Landahl, S., Cronje, P. J. R., Nieuwoudt, H. H., Mouazen, A. M., Nicolai, B. M., Terry, L. A., Opara, U. L. 2014. The use of Vis/NIRS and chemometric analysis to predict fruit defects and postharvest behaviour of 'Nules Clementine' mandarin fruit. *Food Chemistry*. 163: 267-274.
- Mahayothee, B., Leitenberger, M., Neidhart, S., Mühlbauer, W., Carle, R. 2002. Non-destructive determination of fruit maturity of Thai mango cultivars by near infrared spectroscopy. In *Proceeding of an International Symposium Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia*.
- Marques, E. J., de Freitas, S. T., Pimentel, M. F., Pasquini, C. 2016. Rapid and non-destructive determination of quality parameters in the 'Tommy Atkins' mango using a novel handheld near infrared spectrometer. *Food Chem*. 197 Pt B: 1207-1214.
- Matusek, A., Czukor, B., Merész, P. 2008. Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innovative Food Science &*

- Emerging Technologies. 9(3): 365-373.
- Mundada, M., Hathan Bahadur, S., Maske, S. 2010. Mass Transfer Kinetics during Osmotic Dehydration of Pomegranate Arils. *Journal of Food Science*. 76(1): E31-E39.
- Nasef, M. M., Saidi, H., Senna, M. M. 2005. Hydrolysis of sucrose by radiation grafted sulfonic acid membranes. *Chemical Engineering Journal*. 108(1): 13-17.
- Nicolaï, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., Lammertyn, J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*. 46(2): 99-118.
- Niu, X., Zhao, Z., Jia, K., Li, X. 2012. A feasibility study on quantitative analysis of glucose and fructose in lotus root powder by FT-NIR spectroscopy and chemometrics. *Food Chemistry*. 133(2): 592-597.
- Nordey, T., Joas, J., Davrieux, F., Chillet, M., Léchaudel, M. 2017. Robust NIRS models for non-destructive prediction of mango internal quality. *Scientia Horticulturae*. 216: 51-57.
- Osborne, B. G., Fearn, T., Hindle, P. H. 1993. *Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis*. Harlow: Longman Scientific and Technical. 227 pp. p.
- Özdemir, İ. S., Öztürk, B., Çelik, B., Santepe, Y., Aksoy, H. 2018. Rapid, simultaneous and non-destructive assessment of the moisture, water activity, firmness and SO₂ content of the intact sulphured-dried apricots using FT-NIRS and chemometrics. *Talanta*. 186: 467-472.
- Rambla, F. J., Garrigues, S., de la Guardia, M. 1997. PLS-NIR determination of total sugar, glucose, fructose and sucrose in aqueous solutions of fruit juices. *Analytica Chimica Acta*. 344(1): 41-53.
- Reich, G. 2005. Near-infrared spectroscopy and imaging: Basic principles and pharmaceutical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 57(8): 1109-1143.
- Reita, G., Peano, C., Saranwong, S., Kawano, S. 2008. An Evaluating Technique for Variety Compatibility of Fruit Applied to a near Infrared Brix Calibration System: A Case Study Using Brix Calibration for Nectarines. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 16(2): 83-89.

- Rodríguez-Chong, A., Alberto Ramírez, J., Garrote, G., Vázquez, M. 2004. Hydrolysis of sugar cane bagasse using nitric acid: a kinetic assessment. *Journal of Food Engineering*. 61(2): 143-152.
- Rungpichayapichet, P., Mahayothee, B., Khuwijitjaru, P., Nagle, M., Müller, J. 2015. Non-destructive determination of β -carotene content in mango by near-infrared spectroscopy compared with colorimetric measurements. *Journal of Food Composition and Analysis*. 38: 32-41.
- Rungpichayapichet, P., Mahayothee, B., Nagle, M., Khuwijitjaru, P., Müller, J. 2016. Robust NIRS models for non-destructive prediction of postharvest fruit ripeness and quality in mango. *Postharvest Biology and Technology*. 111: 31-40.
- Santagapita, P. R., Tylewicz, U., Panarese, V., Rocculi, P., Dalla Rosa, M. 2016. Non-destructive assessment of kiwifruit physico-chemical parameters to optimise the osmotic dehydration process: A study on FT-NIR spectroscopy. *biosystems engineering*. 142: 101-109.
- Saranwong, I., Sornsrivichai, J., Kawano, S. 2001. Improvement of PLS Calibration for Brix Value and Dry Matter of Mango Using Information from MLR Calibration. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 9(4): 287-295.
- Shafiee, S., Minaei, S. 2018. Combined data mining/NIR spectroscopy for purity assessment of lime juice. *Infrared Physics & Technology*. 91: 193-199.
- Simeone, M. L. F., Parrella, R. A. C., Schaffert, R. E., Damasceno, C. M. B., Leal, M. C. B., Pasquini, C. 2017. Near infrared spectroscopy determination of sucrose, glucose and fructose in sweet sorghum juice. *Microchemical Journal*. 134: 125-130.
- Sinelli, N., Casiraghi, E., Barzagli, S., Brambilla, A., Giovanelli, G. 2011. Near infrared (NIR) spectroscopy as a tool for monitoring blueberry osmo-air dehydration process. *Food Research International*. 44(5): 1427-1433.
- Tewari, J. C., Dixit, V., Cho, B.-K., Malik, K. A. 2008. Determination of origin and sugars of citrus fruits using genetic algorithm, correspondence analysis and partial least square combined with fiber optic NIR spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 71(3): 1119-1127.
- Thamasopinkul, C., Ritthiruangdej, P., Kasemsumran, S., Suwonsichon, T.,

- Haruthaithanasan, V., Ozaki, Y. 2017. Temperature compensation for determination of moisture and reducing sugar of longan honey by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 25(1): 36-44.
- Torres, I., Pérez-Marín, D., Haba, M.-J. D. l., Sánchez, M.-T. 2015. Fast and accurate quality assessment of Raf tomatoes using NIRS technology. *Postharvest Biology and Technology*. 107: 9-15.
- Wang, X., Wang, X., Guo, Y. 2017. Rapidly Simultaneous Determination of Six Effective Components in Cistanche tubulosa by Near Infrared Spectroscopy. *Molecules*. 22(5).
- Williams, P. 2007. Grains and seeds. *Near-infrared spectroscopy in food science and technology*. 165-217.
- Włodarska, K., Khmelinskii, I., Sikorska, E. 2018. Evaluation of Quality Parameters of Apple Juices Using Near-Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *Journal of Spectroscopy*. 2018.
- Xiaowei, H., Xiaobo, Z., Jiewen, Z., Jiyong, S., Xiaolei, Z., Holmes, M. 2014. Measurement of total anthocyanins content in flowering tea using near infrared spectroscopy combined with ant colony optimization models. *Food Chemistry*. 164: 536-543.
- Xie, L., Ye, X., Liu, D., Ying, Y. 2009. Quantification of glucose, fructose and sucrose in bayberry juice by NIR and PLS. *Food Chemistry*. 114(3): 1135-1140.
- Zapata Montoya, J. E., Montoya Rodas, A. 2012. Deshidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins aplicando metodología de superficies de respuesta. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*. 65(1).
- Zornoza, R., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Scow, K. M., Arcenegui, V., Mataix-Beneyto, J. 2008. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 40(7): 1923-1930.
- ฤทธิธรม, ร. 2559. Technical terms in NIR. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 01212543 สเปกโทรสโกปีอินฟราเรด.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. ระบบแสดงข้อมูลทางสถิติ เรื่อง สถิติการส่งออก (Export).





ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์และคำนวณความถูกต้องของสมการมาตรฐาน

1. Residuals (error)

$$e_i = \hat{y}_i - y_i$$

เมื่อ y_i คือ ค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐาน

\hat{y}_i คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ

2. Standard error of calibration (SEC)

$$SEC = \left[\frac{\sum d_i^2}{n_c - p - 1} \right]^{1/2}$$

เมื่อ n_c คือ จำนวนของตัวอย่างในกลุ่มสมการเทียบมาตรฐาน (calibration set)

p คือ จำนวน terms หรือจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

3. Bias (systematic error)

สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากการเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ที่ไม่เคยพบในสมการเทียบมาตรฐาน การเปลี่ยนแปลงของเครื่องมือการวิเคราะห์ทางเคมี หรือการเปลี่ยนกระบวนการผลิต การเตรียมตัวอย่าง ค่า bias คำนวณได้จาก

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum e_i$$

เมื่อ n คือ จำนวนตัวอย่าง

e_i คือ ค่า residual

Bias เป็น + หากค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

4. การตรวจสอบ bias (pair t-test)

การตรวจสอบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า bias สามารถทำได้โดยการใช้ t-test โดยคำนวณค่า bias confidence limits (BCLs), T_b ซึ่งเป็นขีดจำกัดการยอมรับหรือปฏิเสธประสิทธิภาพการทำนายของสมการคำนวณตามสูตรคือ

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

เมื่อ α คือ probability of making a type I error, 5%

n คือ จำนวนตัวอย่างในกลุ่มทวนสอบ

t คือ t-value for two-tailed test with deg. of freedom associated SEP

5. Coefficient of determination (R^2)

$$R^2 = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{Ti} - Y_{Pi})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_{Ti} - Y_m)^2} \right]$$

เมื่อ Y_{Ti} คือ ค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐาน

Y_{Pi} คือ ค่าที่ได้จากสมการทำนาย

Y_m คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีมาตรฐาน

6. Standard error of prediction (Collell และคณะ)

$$SEP = \left[\frac{\sum (d_i - bias)^2}{n_v - 1} \right]^{1/2}$$

เมื่อ n_v คือ จำนวนตัวอย่างในชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบสมการ

d_i คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าคุณลักษณะทางเคมีที่ได้จากการทำนายด้วยสมการทำนายกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน

7. Ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP (RPD)

$$RPD = \frac{SD_{val}}{SEP}$$

8. The unexplained error confidence limits (UECL_s) (F-test, ratio of 2 variances)

- SEP checking

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

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum e_i^2}{n_c - p - 1}}$$

เมื่อ T_{UE} คือ The unexplained error confidence limit (UECL_s)

α คือ probability of making a type I error, 5%

V คือ $n-1$ (degree of freedom associated with SEP)

M คือ $n_c - p - 1$ (degree of freedom associated with SEC)

$SEP < T_{UE}$; SEP is accepted (at 95% confidence)

- Slope checking

$$T_{obs} = |b - 1| \sqrt{\frac{S_y^2 (n - 1)}{S_{res}^2}}$$

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

เมื่อ S_y^2 คือ variance of the n predicted values

S_{res} คือ residual standard deviation

a คือ intercept

b คือ slope

ภาคผนวก ข

ตรวจสอบความถูกต้องของสมการเทียบมาตรฐาน

เมื่อทำการตรวจสอบความแม่นยำของสมการทำนายตามมาตรฐาน ISO 12099 ได้แก่ การตรวจสอบ Bias SEP และ Slope โดยตรวจสอบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการทำนาย (bias) การเปรียบเทียบค่าทางเคมีหรือค่าที่วิเคราะห์ได้จากวิธีมาตรฐานกับค่าที่ทำนายได้จากสมการการทำนายด้วยการทดสอบ pair t-test ตามสูตรที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก โดยค่า bias ที่ได้ต้องมีค่าน้อยกว่า T_b ซึ่งหมายถึงค่าที่ทำนายได้จากสมการทำนายไม่แตกต่างจากค่าทางเคมีอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ P น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 พิจารณาความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างทวนสอบสมการ (Colllell และคณะ) ซึ่งการตรวจสอบค่า unexplained error confidence limits (UECLs, T_{UE}) คำนวณได้จาก F-test โดยค่า SEP ที่ได้ควรมีค่าน้อยกว่าค่า TUE (รณฤทธิ์, 2552) และตรวจสอบค่าความชัน (slope) ของกราฟการกระจาย ตามสูตรในภาคผนวก ก พิจารณา t_{obs} โดย ค่า t_{obs} ที่ได้ต้องน้อยกว่าค่า t-value โดยค่าความชันที่ดีที่สุดควรมีค่าเท่ากับ 1 เพื่อให้ได้สมการที่มีความแม่นยำต่อการนำไปใช้วิเคราะห์ได้ดีที่สุด

ทำการทดสอบ อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ในสมการของขึ้นผลไม้แช่อิ่มแต่ละชนิด ได้แก่ มะม่วง สับปะรดและมะละกอ และสมการของผลไม้แช่อิ่มรวมสามด้วยวิธี PLSR โดยผลการทำนายมีดังนี้

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส ใน
สมการรวมผลไม้สามชนิดแช่แข็ง

ลำดับ	ค่า TS.S ⁻¹ ที่ ได้จากกร วัดจริง	ค่า TS.S ⁻¹ ที่ ได้จากกร ทำนาย	การแยกกลุ่ม 2.0 < TS.S ⁻¹ < 2.5	ร้อยละ ความ ผิดพลาด	ระยะห่างมาหาลา โนบิสเฉลี่ย	ลิมิต
1	2.60	2.45	×	5.66	0.04	0.55
2	2.53	2.27	×	10.15	0.05	0.55
3	2.86	2.53	✓	11.57	0.05	0.55
4	2.50	2.23	✓	10.48	0.08	0.55
5	2.57	2.21	×	13.96	0.13	0.55
6	2.55	2.25	×	11.80	0.04	0.55
7	1.20	1.57	✓	31.07	0.02	0.55
8	1.23	1.51	✓	22.44	0.03	0.55
9	1.27	1.53	✓	20.86	0.06	0.55
10	1.14	0.94	✓	17.57	0.07	0.55
11	1.12	0.87	✓	22.59	0.04	0.55
12	1.08	1.11	✓	2.88	0.04	0.55
13	1.25	1.15	✓	8.20	0.04	0.55
14	1.24	1.47	✓	18.61	0.02	0.55

15	1.30	1.27	✓	2.22	0.04	0.55
16	1.24	1.53	✓	23.95	0.03	0.55
17	1.26	1.53	✓	21.65	0.04	0.55
18	1.24	1.34	✓	8.33	0.03	0.55
19	1.21	1.39	✓	14.84	0.03	0.55
20	1.22	1.48	✓	20.94	0.02	0.55
ค่าเฉลี่ย				14.99		

ตารางที่ 28 สรุปการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส
ในสมการมะม่วงแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น

ค่า $TS.S^{-1}$	การทำนายถูกต้อง	การทำนายไม่ถูกต้อง	รวมจำนวนชิ้นผลไม้แช่อิ่ม
$TS.S^{-1} < 2.0$	14	0	14
$TS.S^{-1} > 2.5$	1	4	5
$2.0 < TS.S^{-1} < 2.5$	1	0	1
ผลรวม	16	4	20

ตารางที่ 29 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการมะม่วงแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น ด้วย paired t-test

Paired Samples Test								
	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
ค่าจริง								
ค่าทำนาย	-.00100	.25221	.05640	-.11904	.11704	-.018	19	.986



ตารางที่ 30 การเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตลทั้งหมดต่อน้ำตลชูโครส ใน
สมการของสับปรดแซมม์จำนวน 20 ชั้น

ลำดับ	ค่า $TS.S^{-1}$ ที่ ได้จากการ วัดจริง	ค่า $TS.S^{-1}$ ที่ ได้จากการ ทำนาย	การแยกกลุ่ม $2.0 < TS.S^{-1} < 2.5$	ร้อยละ ความ ผิดพลาด	ระยะห่างมาหาลา โนบิสเฉลี่ย	ลิมิต
1	1.14	1.49	✓	30.28	0.05	0.48
2	1.26	1.18	✓	6.47	0.07	0.48
3	2.14	1.57	×	26.67	0.03	0.48
4	1.10	1.49	✓	35.75	0.05	0.48
5	1.16	1.62	✓	39.71	0.07	0.48
6	1.15	1.53	✓	32.84	0.09	0.48
7	1.13	1.32	✓	16.46	0.08	0.48
8	1.24	1.34	✓	7.93	0.05	0.48
9	1.24	1.53	✓	23.22	0.24	0.48
10	1.40	1.28	✓	8.51	0.03	0.48
11	1.31	1.41	✓	7.81	0.03	0.48
12	1.40	1.46	✓	4.29	0.03	0.48
13	2.41	1.73	×	28.07	0.05	0.48
14	1.28	1.29	✓	0.83	0.03	0.48

15	1.23	1.14	✓	7.71	0.04	0.48
16	1.40	1.69	✓	20.44	0.03	0.48
17	1.26	1.89	✓	50.15	0.06	0.48
18	2.61	1.87	×	28.42	0.04	0.48
19	2.71	1.61	×	40.44	0.15	0.48
20	2.60	1.82	×	30.02	0.04	0.48
ค่าเฉลี่ย				22.30		

ตารางที่ 31 สรุปการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส
ในสมการสับประรดแช่อิ่มจำนวน 20 ชิ้น

ค่า $TS.S^{-1}$	การทำนายถูกต้อง	การทำนายไม่ถูกต้อง	รวมจำนวนชิ้นผลไม้แช่อิ่ม
$TS.S^{-1} < 2.0$	15	0	15
$TS.S^{-1} > 2.5$	0	3	3
$2.0 < TS.S^{-1} < 2.5$	0	2	2
ผลรวม	15	5	20

ตารางที่ 32 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการสับประรดเชื่อมจำนวน 20 ชิ้น ด้วย paired t-test

Paired Samples Test								
	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
ค่าจริง	.04550	.48102	.10756	-.17963	.27063	.423	19	.677
ค่าทำนาย								



ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตลทั้งหมดต่อน้ำตลชูโครสใน
สมการของซินมะลอกอแซ่อิมจำนวน 20 ชิ้น

ลำดับ	ค่า $TS.S^{-1}$ ที่ ได้จากการ วัดจริง	ค่า $TS.S^{-1}$ ที่ ได้จากการ ทำนาย	การแยกกลุ่ม $2.0 < TS.S^{-1} < 2.5$	ร้อยละ ความ ผิดพลาด	ระยะห่างมาหาลา โนบิสเฉลี่ย	ลิมิต
1	1.80	1.51	✓	15.87	0.17	0.55
2	1.79	1.07	✓	40.07	0.09	0.55
3	1.79	1.58	✓	11.63	0.17	0.55
4	1.99	1.97	✓	1.25	0.19	0.55
5	1.56	1.52	✓	2.55	0.06	0.55
6	1.50	1.34	✓	10.55	0.05	0.55
7	1.50	1.54	✓	2.89	0.06	0.55
8	1.50	1.12	✓	25.55	0.08	0.55
9	1.70	2.21	×	30.09	0.21	0.55
10	1.69	1.50	✓	11.14	0.13	0.55
11	1.90	2.29	×	20.68	0.07	0.55
12	1.89	2.11	×	11.86	0.09	0.55
13	1.70	1.95	✓	14.54	0.11	0.55
14	1.70	1.76	✓	3.72	0.06	0.55

15	1.70	2.14	×	25.88	0.11	0.55
16	1.80	1.99	✓	10.44	0.11	0.55
17	2.10	2.88	×	36.91	0.12	0.55
18	2.00	2.30	✓	15.02	0.05	0.55
19	2.01	2.24	✓	11.42	0.15	0.55
20	2.10	2.20	✓	4.84	0.05	0.55
ค่าเฉลี่ย				15.35		

ตารางที่ 34 สรุปการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราสวนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส
ในสมการมะละกอเชื่อมจำนวน 20 ชิ้น

ค่า $TS.S^{-1}$	การทำนายถูกต้อง	การทำนายไม่ถูกต้อง	รวมจำนวนชิ้นผลไม้เชื่อม
$TS.S^{-1} < 2.0$	12	4	16
$TS.S^{-1} > 2.5$	3	1	4
$2.0 < TS.S^{-1} < 2.5$	0	0	0
ผลรวม	15	5	20

ตารางที่ 35 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสในสมการมะละกอเชื่อมจำนวน 20 ชิ้น ด้วย paired t-test

Paired Samples Test								
	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
ค่าจริง	-.07500	.34500	.07714	-.23647	.08647	-.972	19	.343
ค่าทำนาย								



ตารางที่ 36 การเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครสใน
สมการของขึ้นผลไม้แช่อิ่มสามชนิดจำนวน 60 ชิ้น

ลำดับ	ค่า $TS.S^{-1}$ ที่ ได้จากการ วัดจริง	ค่า $TS.S^{-1}$ ที่ ได้จากการ ทำนาย	การแยกกลุ่ม $2.0 < TS.S^{-1} < 2.5$	ร้อยละ ความ ผิดพลาด	ระยะห่างมาหาลา โนบิสเฉลี่ย	ลิมิต
1	1.80	1.72	✓	4.64	0.08	0.20
2	1.79	1.71	✓	4.28	0.08	0.20
3	1.79	1.79	✓	0.02	0.13	0.20
4	1.99	2.00	✓	0.70	0.10	0.20
5	1.56	1.67	✓	7.28	0.05	0.20
6	1.50	1.44	✓	4.03	0.14	0.20
7	1.50	1.55	✓	3.57	0.10	0.20
8	1.50	1.39	✓	7.31	0.21	0.20
9	1.70	1.68	×	1.01	0.27	0.20
10	1.69	1.74	✓	2.85	0.17	0.20
11	1.90	1.88	✓	1.27	0.14	0.20
12	1.89	1.92	✓	1.80	0.19	0.20
13	1.70	1.68	✓	1.09	0.15	0.20
14	1.70	1.68	✓	1.42	0.14	0.20

ลำดับ	ค่า TS.S ⁻¹ ที่ ได้จากการ วัดจริง	ค่า TS.S ⁻¹ ที่ ได้จากการ ทำนาย	การแยกกลุ่ม 2.0 < TS.S ⁻¹ < 2.5	ร้อยละ ความ ผิดพลาด	ระยะห่างมาหาลา โนบิสเฉลี่ย	ลิมิต
15	1.70	1.71	✓	0.58	0.19	0.20
16	1.80	1.83	✓	1.47	0.24	0.20
17	2.10	2.16	✓	2.70	0.30	0.20
18	2.00	2.06	✓	2.93	0.15	0.20
19	2.01	2.00	✓	0.67	0.16	0.20
20	2.10	1.99	✓	5.28	0.06	0.20
21	2.60	2.45	×	5.66	0.01	0.20
22	2.53	2.27	×	10.15	0.04	0.20
23	2.86	2.53	×	11.57	0.01	0.20
24	2.50	2.23	✓	10.48	0.06	0.20
25	2.57	2.21	×	13.96	0.03	0.20
26	2.55	2.25	×	11.80	0.03	0.20
27	1.20	1.57	✓	31.07	0.01	0.20
28	1.23	1.51	✓	22.44	0.01	0.20
29	1.27	1.53	✓	20.86	0.02	0.20
30	1.14	0.94	✓	17.57	0.04	0.20

ลำดับ	ค่า TS.S ⁻¹ ที่ ได้จากการ วัดจริง	ค่า TS.S ⁻¹ ที่ ได้จากการ ทำนาย	การแยกกลุ่ม 2.0 < TS.S ⁻¹ < 2.5	ร้อยละ ความ ผิดพลาด	ระยะห่างมาหาลา โนบิสเฉลี่ย	ลิมิต
31	1.12	0.87	✓	22.59	0.03	0.20
32	1.08	1.11	✓	2.88	0.03	0.20
33	1.25	1.15	✓	8.20	0.02	0.20
34	1.24	1.47	✓	18.61	0.01	0.20
35	1.30	1.27	✓	2.22	0.03	0.20
36	1.24	1.53	✓	23.95	0.02	0.20
37	1.26	1.53	✓	21.65	0.03	0.20
38	1.24	1.34	✓	8.33	0.02	0.20
39	1.21	1.39	✓	14.84	0.02	0.20
40	1.22	1.48	✓	20.94	0.02	0.20
41	1.14	1.52	✓	32.99	0.01	0.20
42	1.26	1.49	✓	18.33	0.02	0.20
43	2.14	1.59	×	25.50	0.01	0.20
44	1.10	1.52	✓	38.30	0.01	0.20
45	1.16	1.73	✓	48.85	0.01	0.20
46	1.15	1.53	✓	32.93	0.01	0.20

ลำดับ	ค่า TS.S ⁻¹ ที่ ได้จากการ วัดจริง	ค่า TS.S ⁻¹ ที่ ได้จากการ ทำนาย	การแยกกลุ่ม 2.0 < TS.S ⁻¹ < 2.5	ร้อยละ ความ ผิดพลาด	ระยะห่างมาหาลา โนบิสเฉลี่ย	ลิมิต
47	1.13	1.34	✓	18.85	0.02	0.20
48	1.24	1.42	✓	14.69	0.01	0.20
49	1.24	1.44	✓	15.96	0.02	0.20
50	1.40	1.40	✓	0.14	0.02	0.20
51	1.31	1.62	✓	23.43	0.01	0.20
52	1.40	1.50	✓	7.44	0.02	0.20
53	2.41	1.67	×	30.83	0.02	0.20
54	1.28	1.48	✓	15.80	0.02	0.20
55	1.23	1.61	✓	30.68	0.02	0.20
56	1.40	1.47	✓	4.66	0.02	0.20
57	1.26	1.96	✓	55.77	0.01	0.20
58	2.61	1.91	×	26.79	0.03	0.20
59	2.71	1.82	×	32.70	0.02	0.20
60	2.60	1.82	×	29.99	0.02	0.20
ค่าเฉลี่ย				14.32		

ตารางที่ 37 สรุปการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส
ในสมการผลไม้แช่อิ่มสามชนิดจำนวน 60 ชิ้น

ค่า $TS.S^{-1}$	การทำนายถูกต้อง	การทำนายไม่ถูกต้อง	รวมจำนวนชิ้นผลไม้แช่อิ่ม
$TS.S^{-1} < 2.0$	44	1	45
$TS.S^{-1} > 2.5$	0	8	8
$2.0 < TS.S^{-1} < 2.5$	5	2	7
ผลรวม	49	11	60

ตารางที่ 38 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่าจริงและค่าการทำนายอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาล
ซูโครสในสมการผลไม้แช่อิ่มสามชนิดจำนวน 60 ชิ้นด้วย paired t-test

Paired Samples Test								
	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
ค่าจริง								
ค่าทำนาย	-.00950	.31238	.04033	-.09020	.07120	-.236	59	.815

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS)

โดยใช้มาตรฐานซีพีทีเค โดยนำวัตถุดิบก่อนแช่อิมและผลไม้หลังผ่านกระบวนการแช่อิมมาลดขนาดและทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและหยดลงบน Digital refractometer ทำการวัดจำนวน 2 ซ้ำต่อหนึ่งตัวอย่างและบันทึกค่า

2. การวิเคราะห์ความเป็นกรด - ด่าง

โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH meter) นำวัตถุดิบก่อนแช่อิมและผลไม้หลังผ่านกระบวนการแช่อิมมาลดขนาดและทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางมาวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter) และนำหัว probe จุ่มลงในตัวอย่างให้ท่วม บันทึกค่า

3. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ซึ่งตัวอย่างสดและกระป๋องอลูมิเนียม พร้อมบันทึกน้ำหนัก และนำไปวิเคราะห์ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่ 105 องศาเซลเซียส ด้วยวิธี AOAC (2000) พร้อมทั้งคำนวณความชื้นในฐานเปียก

4. การวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด

ซึ่งตัวอย่างสดจำนวน 5.0 กรัมด้วยเครื่องชั่งชนิดหยาบ 2 ตำแหน่ง แล้วบันทึกค่าจากนั้นเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร พร้อมหยดสารฟีนอล์ฟทาเลอิน 2-3 หยด และทำการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น (NaOH) 0.1 นอร์มัล โดยระหว่างไทเทรตจะกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารละลายจนกระทั่งสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีชมพูอ่อน จากนั้นบันทึกค่าปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และนำไปคำนวณ หาค่า TA โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ

5. อัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อน้ำตาลซูโครส

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างสดจะถูกสกัดตามวิธีของ Liu และคณะ (2013) เริ่มจากนำชิ้นตัวอย่างมาปั่นละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นซึ่งตัวอย่างจำนวน 1.0 กรัม ใส่หลอดทดลองและเติมน้ำกลั่นจำนวน 9 มิลลิลิตร และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบ เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำส่วนใสรองผ่านกระดาษกรอง และนำส่วนที่เป็นผลไม้ผสมน้ำกลั่นอีกครั้งเพื่อสกัดน้ำตาลซ้ำ จากนั้นทำการปรับปริมาตรเป็น 20 มิลลิลิตร และนำไปผ่านตัวกรองไนลอนขนาด 0.45 ไมครอน โดยสารสกัดจะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ภายใต้ขวดสีชา

การเตรียมสภาวะสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล

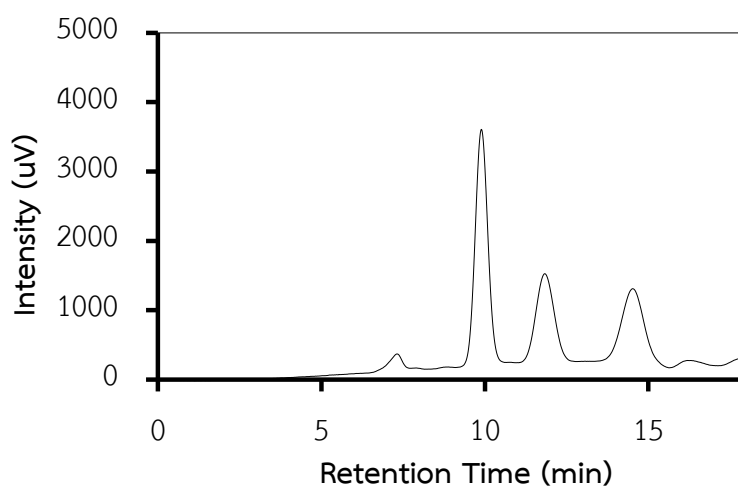
สำหรับสภาวะการวิเคราะห์น้ำตาลจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1 สำหรับวิเคราะห์น้ำตาลในชั้นสับปรดแช่อิม จะใช้คอลัมน์ Rezex-Monosaccharie Ca^{+2} (300 x 7.8 mm i.d., 5 μm partical size) และคอลัมน์จะควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส โดยเฟสเคลื่อนที่คือน้ำกลั่น และอัตราการไหลเท่ากับ 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรของสารที่ฉีดเข้าเครื่องเท่ากับ 20 ไมโครลิตร และระยะเวลาในการฉีดต่อหนึ่งตัวอย่างเท่ากับ 18 นาที โดยโครมาโตแกรมของน้ำตาลเป็นดัง

ภาพที่ 30

วิธีที่ 2 สำหรับวิเคราะห์น้ำตาลในชั้นมะม่วง และมะละกอแช่อิมจะใช้คอลัมน์ Intertsil NH_2 (4.6 x 250 mm i.d., 5 μm partical size) และคอลัมน์จะควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส โดยเฟสเคลื่อนที่คือ อะซิโตนไตรลความเข้มข้นร้อยละ 85 และน้ำกลั่นความเข้มข้นร้อยละ 15 และอัตราการไหลเท่ากับ 3.0 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรของสารที่ฉีดเข้าเครื่องเท่ากับ 20 ไมโครลิตร และระยะเวลาในการฉีดต่อหนึ่งตัวอย่างเท่ากับ 30 นาที

โดยน้ำตาลแต่ละชนิดจะถูกตรวจสอบด้วย refractive index detector (RID-10A, Shimadzu, Japan) ซึ่งการวิเคราะห์จะเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุคโตส และจะถูกคำนวณให้อยู่ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่างสด (mg/g sample)

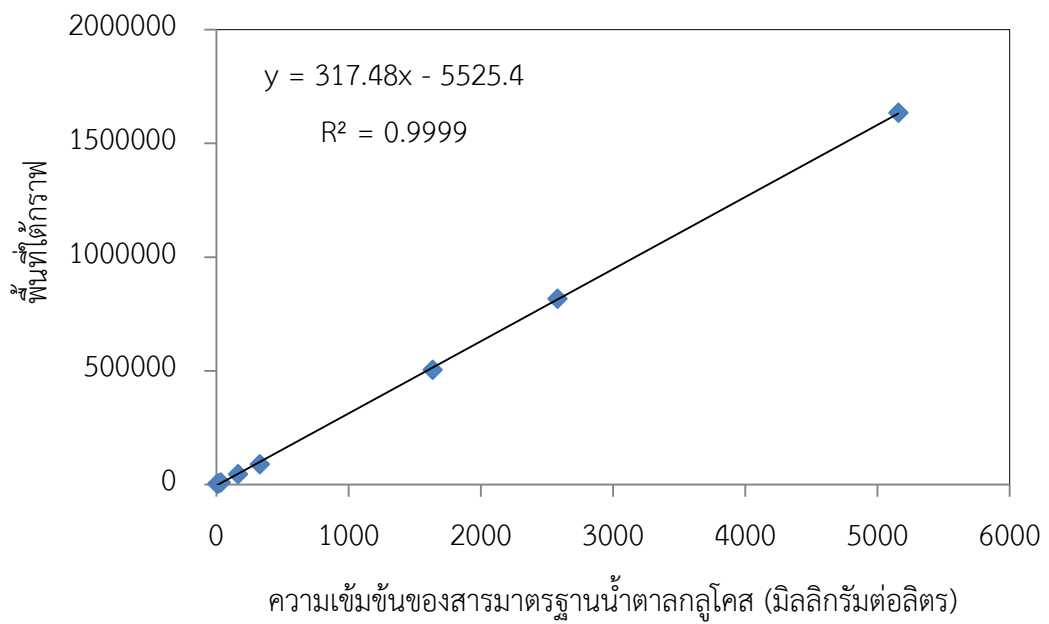
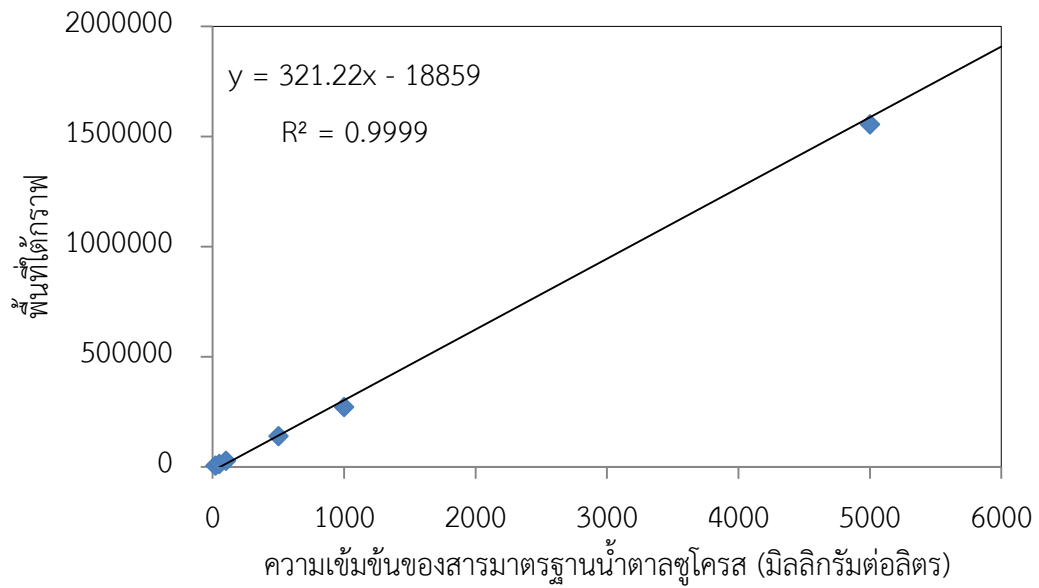


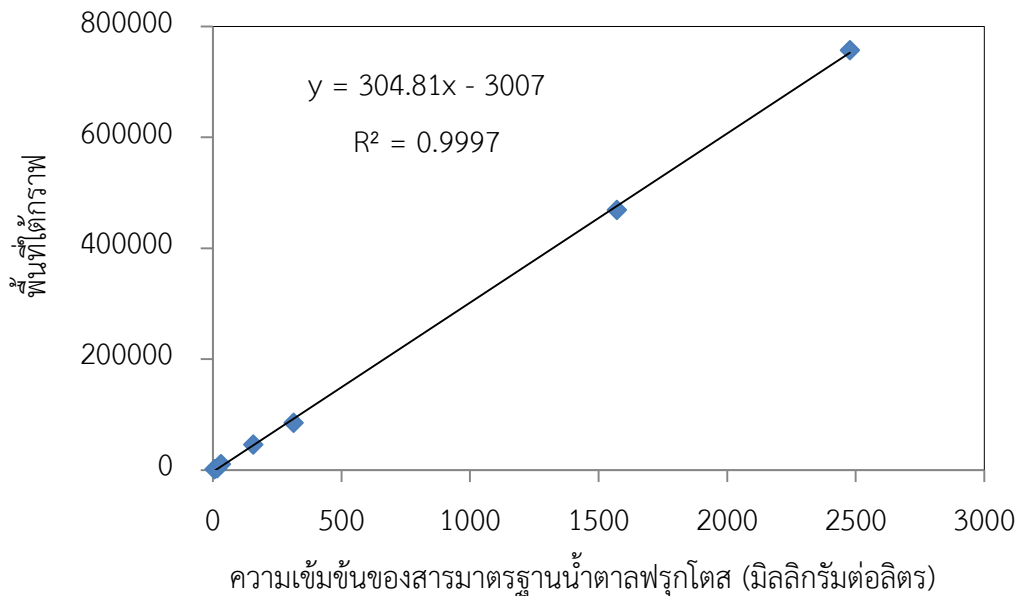
ภาพที่ 30 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส

จากผลิตภัณฑ์! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง แสดงความเข้มข้นของสารมาตรฐานในช่วงความเข้มข้นที่วิเคราะห์หาปริมาณ โดยเทียบระยะเวลาที่พบสาร (Retention time) เดียวกัน เพื่อยืนยันว่าเป็นสารชนิดเดียวกัน

ตารางที่ 39 พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานของน้ำตาลที่ความเข้มข้นต่างๆสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในชิ้นสับประรดแช่แข็ง

ความเข้มข้น สารมาตรฐาน (mg/L)	น้ำตาลซูโครส	ความเข้มข้น สารมาตรฐาน (mg/L)	น้ำตาลกลูโคส	ความเข้มข้น สารมาตรฐาน (mg/L)	น้ำตาลฟรุก โตส
20	4883	6.54	2185	6.29	1321
50	13095	16.36	4243	15.71	3140
100	26936	32.71	8932	31.43	10945
500	139743	163.55	45469	157.13	45703
1000	271427	327.10	99957	314.25	85455
5000	1555037	1635.48	504379	1571.27	469258
7883.75	2525941.5	2578.75	816808	2477	757191





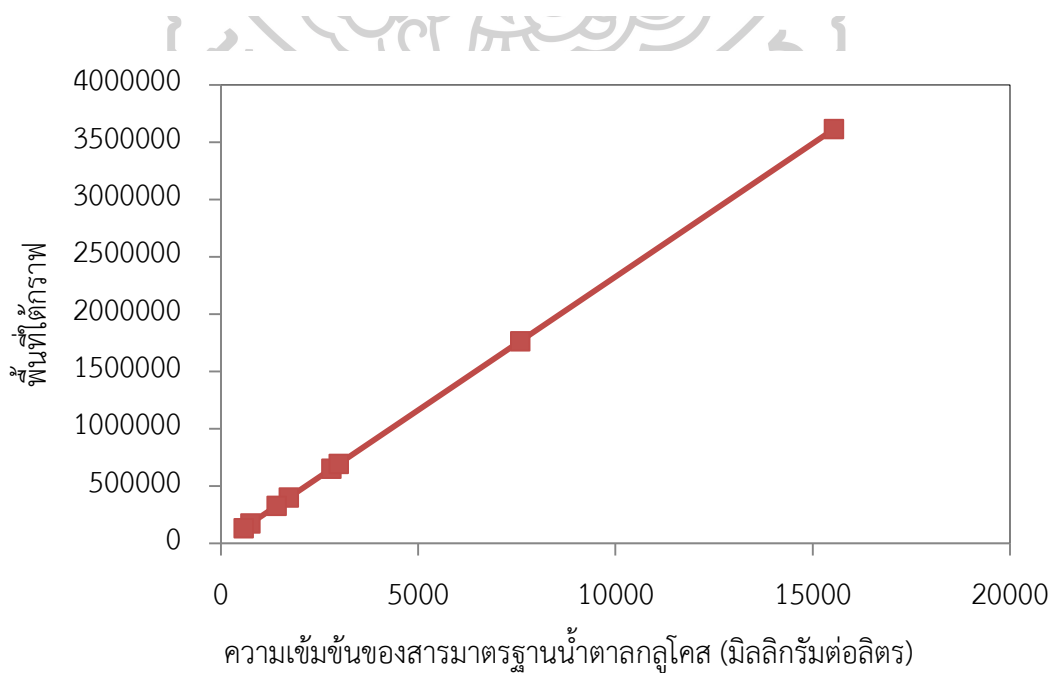
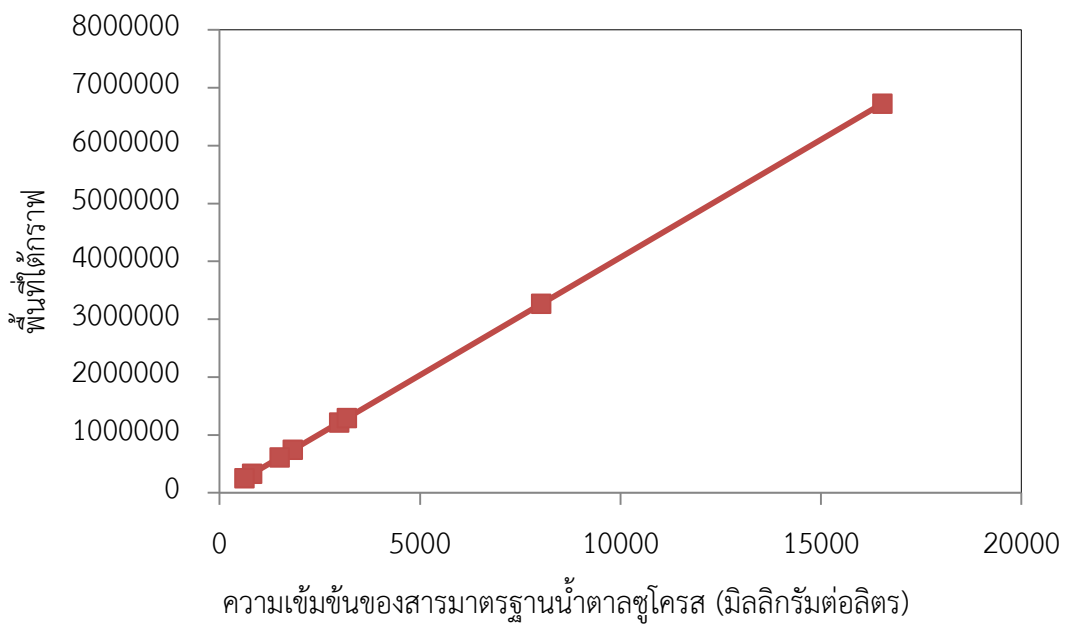
ภาพที่ 31 กราฟมาตรฐานสารน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุคโตสสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างสับประรดแช่แข็ง

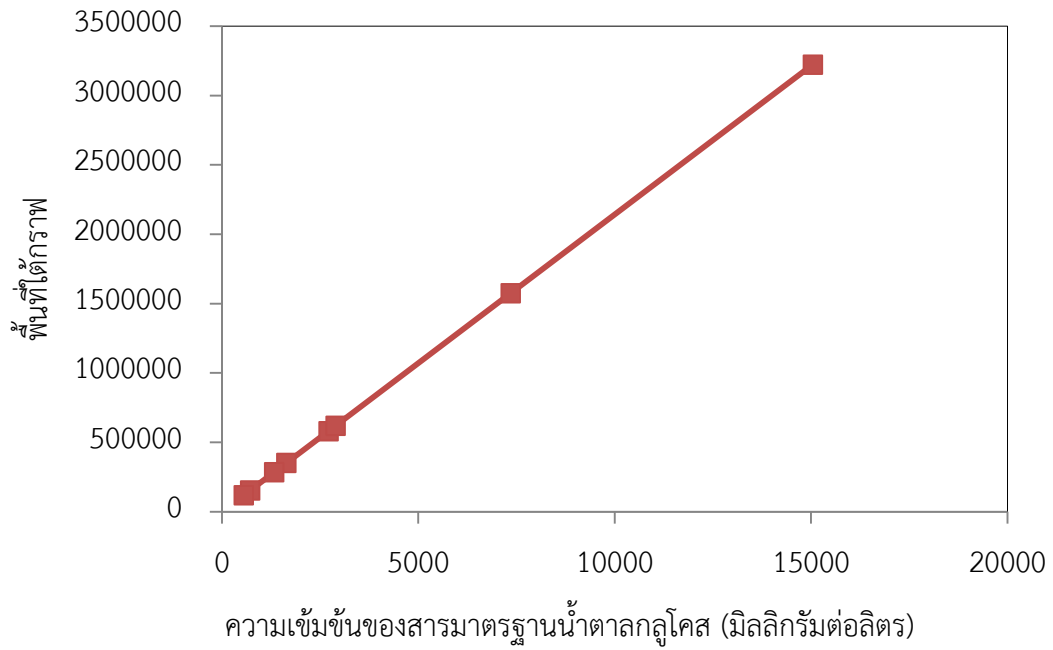
จากสมการเส้นตรงพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r) มีค่าเท่ากับ 0.999, 0.999 และ 0.997 ซึ่งมีความมากกว่าเกณฑ์การยอมรับคือ 0.995 ดังนั้นช่วงของการวิเคราะห์ (Working Range) ที่มีความเป็นเส้นตรง (Linearity) ในช่วงของการใช้งานสารมาตรฐาน

ตารางที่ 40 พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานของน้ำตาลที่ความเข้มข้นต่างๆสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในชิ้นมะม่วงและมะละกอแช่แข็ง

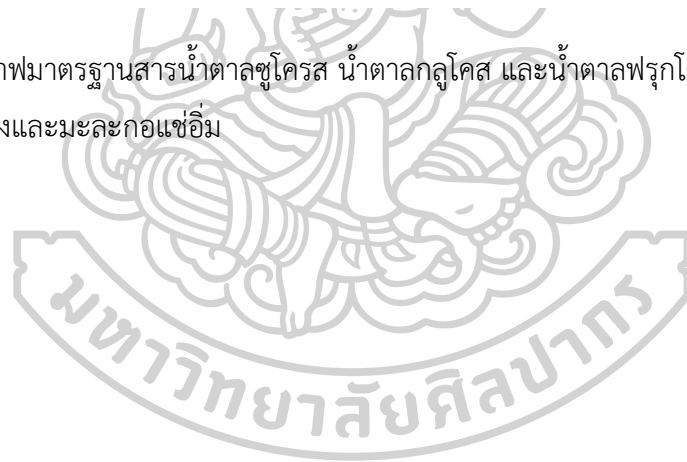
ความเข้มข้น สารมาตรฐาน (mg/L)	ความเข้มข้น น้ำตาลซูโครส	ความเข้มข้น สารมาตรฐาน (mg/L)	ความเข้มข้น น้ำตาลกลูโคส	ความเข้มข้น สารมาตรฐาน (mg/L)	น้ำตาลฟรุค โตส
16527.5	6725361	15537.0	3614757	15045.0	3223536
8020.9	3263867	7583.8	1764405	7352.3	1575299
2982.0	1213418	2797.6	650886	2711.6	580984

3173.2	1291257	2982.3	693855	2895.7	620433
1828.4	744016	1720.1	400192	1641.8	351767
1498.1	609592	1410.1	328061	1331.6	285309
809.1	329235	746.6	173706	720.7	154417
621.6	252961	573.0	133304	555.6	119044





ภาพที่ 32 กราฟมาตรฐานสารน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตสสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างมะม่วงและมะละกอแช่แข็ง



ภาคผนวก ง

ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสในผลไม้แช่อิ่ม

ตารางที่ 41 ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และ ฟรุกโตสในชิ้นมะม่วงแช่อิ่มจำนวน 200 ชิ้น

น้ำตาลซูโครส (mg/g)	น้ำตาลกลูโคส (mg/g)	น้ำตาลฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาลทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹	น้ำตาลซูโครส (mg/g)	น้ำตาลกลูโคส (mg/g)	น้ำตาลฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาลทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
183.50	19.68	17.06	220.23	1.20	243.40	17.86	16.10	277.36	1.14
216.75	26.69	23.12	266.56	1.23	228.25	13.74	14.36	256.35	1.12
189.71	25.80	24.71	240.22	1.27	303.01	12.85	11.06	326.92	1.08
152.99	10.77	23.74	187.50	1.23	239.84	12.63	13.71	266.18	1.11
217.86	11.78	9.77	239.41	1.10	208.33	13.59	14.62	236.54	1.14
159.31	6.93	14.96	181.21	1.14	261.37	11.40	10.11	282.88	1.08
138.21	12.83	18.74	169.78	1.23	240.02	44.96	15.17	300.16	1.25
156.24	12.84	13.21	182.29	1.17	216.65	42.62	14.77	274.03	1.26
196.15	9.97	9.11	215.23	1.10	193.73	37.63	13.34	244.71	1.26
201.37	20.26	16.92	238.55	1.18	201.12	35.27	13.00	249.39	1.24
197.50	23.15	20.63	241.29	1.22	203.81	36.72	10.91	251.43	1.23
208.26	24.90	23.22	256.38	1.23	181.44	34.76	13.75	229.94	1.27
192.65	15.31	14.92	222.87	1.16	232.53	38.11	10.54	281.17	1.21
259.32	11.80	14.13	285.25	1.10	216.54	34.25	9.13	259.93	1.20
237.77	11.42	12.91	262.10	1.10	229.94	37.55	10.47	277.95	1.21
253.08	9.75	8.48	271.31	1.07	233.09	52.92	21.15	307.15	1.32
251.22	10.71	10.62	272.55	1.08	183.27	42.01	16.92	242.20	1.32
209.65	12.49	14.10	236.23	1.13	221.49	48.78	18.46	288.73	1.30
195.00	24.51	20.91	240.42	1.23	225.91	38.98	12.21	277.11	1.23
228.22	26.93	19.71	274.86	1.20	195.71	39.23	13.54	248.48	1.27
212.77	23.14	18.29	254.20	1.19	208.71	37.53	12.22	258.46	1.24

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
204.22	35.74	14.53	254.48	1.25
236.93	36.76	9.59	283.29	1.20
238.08	36.29	11.68	286.05	1.20
233.53	49.61	20.67	303.81	1.30
206.75	43.27	16.60	266.62	1.29
254.55	51.94	19.65	326.14	1.28
251.65	44.71	15.23	311.59	1.24
213.48	40.96	14.45	268.88	1.26
203.80	37.72	11.31	252.83	1.24
232.47	38.55	14.23	285.25	1.23
247.67	40.01	11.90	299.58	1.21
240.58	39.97	13.24	293.80	1.22
151.18	29.06	29.06	209.30	1.38
136.49	25.99	26.16	188.64	1.38
170.11	32.32	35.99	238.43	1.40
159.88	22.92	24.31	207.11	1.30
150.60	21.70	22.23	194.53	1.29
149.97	22.49	24.41	196.87	1.31
160.85	21.93	22.57	205.35	1.28
160.77	23.91	20.97	205.65	1.28
157.99	22.67	23.06	203.72	1.29
190.21	32.86	34.75	257.82	1.36
183.94	32.12	33.73	249.79	1.36
173.32	37.03	41.97	252.31	1.46
212.70	23.28	26.54	262.52	1.23
213.14	24.35	29.21	266.70	1.25
198.78	26.52	24.51	249.81	1.26
254.16	24.55	24.00	302.72	1.19
182.78	29.99	29.19	241.96	1.32
207.93	22.50	29.33	259.76	1.25
192.32	27.57	29.75	249.64	1.30

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
281.43	31.31	32.00	344.74	1.22
151.95	23.21	32.77	207.93	1.37
220.91	28.77	26.34	276.02	1.25
233.08	28.84	27.41	289.33	1.24
177.17	22.96	29.51	229.64	1.30
208.66	25.93	38.10	272.69	1.31
232.65	26.90	30.36	289.91	1.25
229.34	27.87	27.93	285.14	1.24
76.96	66.00	57.14	200.10	2.60
89.61	81.03	55.93	226.57	2.53
74.05	73.73	64.13	211.92	2.86
95.15	66.63	51.58	213.36	2.24
88.12	65.38	58.25	211.75	2.40
86.25	63.78	58.77	208.80	2.42
99.72	66.30	54.01	220.03	2.21
86.11	59.76	53.35	199.22	2.31
89.95	64.57	51.08	205.60	2.29
108.17	95.16	76.68	280.01	2.59
93.32	82.21	71.19	246.73	2.64
99.45	85.76	65.51	250.73	2.52
104.49	74.81	64.88	244.19	2.34
98.15	69.91	63.89	231.95	2.36
110.34	78.68	73.20	262.22	2.38
119.76	79.30	60.96	260.02	2.17
123.10	9.65	78.46	211.21	1.72
113.26	76.93	62.88	253.08	2.23
116.39	93.94	78.22	288.55	2.48
126.62	93.79	73.45	293.86	2.32
112.81	93.82	77.84	284.47	2.52
121.31	85.25	71.28	277.84	2.29
124.81	88.16	78.36	291.33	2.33

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
124.88	90.49	70.69	286.06	2.29
132.46	87.13	70.30	289.89	2.19
125.79	86.23	66.97	278.99	2.22
118.94	86.40	74.29	279.63	2.35
124.08	104.06	81.38	309.52	2.49
103.97	85.45	77.28	266.70	2.57
110.19	87.21	83.92	281.32	2.55
138.18	95.34	83.71	317.24	2.30
124.81	88.02	76.23	289.06	2.32
123.82	82.42	77.42	283.65	2.29
123.83	91.15	80.49	295.47	2.39
116.66	86.57	71.71	274.94	2.36
148.55	105.22	82.45	336.22	2.26
73.76	22.41	39.42	135.58	1.84
79.33	27.86	44.18	151.37	1.91
85.49	23.84	46.21	155.53	1.82
75.66	30.21	48.60	154.47	2.04
163.45	21.22	31.96	216.62	1.33
143.54	25.41	38.73	207.68	1.45
119.90	27.39	33.36	180.66	1.51
140.18	26.17	34.98	201.33	1.45
108.50	25.36	35.24	169.10	1.56
101.40	27.91	36.82	166.13	1.64
81.78	28.31	38.88	148.97	1.83
123.52	19.87	34.29	177.68	1.44
96.32	20.15	36.39	152.87	1.59
90.37	22.98	34.79	148.15	1.64
120.33	17.15	25.69	163.17	1.36
129.75	18.41	29.80	177.95	1.37
141.50	46.59	68.07	256.17	1.81
106.58	55.40	77.72	239.70	2.72

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
67.98	52.65	53.56	174.19	2.95
113.61	37.29	44.52	195.43	1.72
126.77	24.82	38.56	190.15	1.50
120.38	24.37	31.29	176.05	1.46
105.03	29.67	50.85	185.55	1.87
114.51	27.66	43.95	186.13	1.63
160.60	30.58	51.63	242.81	1.51
205.09	35.19	56.53	296.82	1.45
192.61	37.00	52.73	282.34	1.47
187.00	37.50	53.76	278.26	1.49
60.30	21.22	27.51	109.03	1.81
94.79	16.63	30.91	142.33	1.50
82.15	15.95	26.40	124.50	1.52
80.43	17.10	29.54	127.07	1.58
90.55	35.07	44.77	170.39	1.89
85.85	29.65	31.73	147.22	1.72
91.53	31.09	39.44	162.06	1.77
73.46	29.18	40.65	143.29	1.95
93.57	26.15	41.79	161.51	1.73
95.92	28.49	38.20	162.61	1.70
90.98	29.32	36.47	156.78	1.72
121.40	23.64	37.62	182.66	1.50
99.57	37.37	57.05	193.99	1.95
97.47	33.60	49.86	180.93	1.86
139.39	31.70	47.77	218.86	1.57
97.96	26.36	40.48	164.81	1.68
109.19	23.56	38.36	171.11	1.57
120.41	25.07	40.99	186.47	1.55
115.85	25.24	33.20	174.29	1.50
120.64	27.82	42.57	191.03	1.58
173.04	25.44	30.14	228.62	1.32

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
239.70	30.70	35.21	305.61	1.28
258.25	16.25	26.19	300.69	1.17
221.95	25.84	32.83	280.62	1.27
26.66	41.05	49.02	116.73	4.38
34.57	45.59	54.40	134.56	3.89
21.07	29.90	55.23	106.21	5.13
24.29	31.06	52.01	107.36	4.71
32.62	44.73	52.87	130.22	3.99
32.36	42.80	55.59	130.75	4.04
46.43	45.67	57.99	150.08	3.24
22.34	41.39	45.69	109.42	4.89
130.61	21.22	43.51	195.34	1.50
110.79	24.38	35.71	170.88	1.54
138.00	24.86	34.10	196.96	1.43
127.07	22.55	48.74	198.37	1.56
141.87	23.64	39.04	204.55	1.44
156.02	25.46	42.65	224.13	1.44
283.07	18.50	22.45	324.02	1.48
134.79	27.32	38.08	200.19	1.48
143.58	21.30	31.79	196.67	1.37
173.88	21.77	33.80	229.45	1.32
142.41	18.15	30.45	191.02	1.34
166.90	22.89	45.90	235.70	1.41
75.86	49.95	74.86	200.67	2.65
79.49	52.50	82.99	214.98	2.71
84.74	55.47	83.66	223.87	2.64
90.06	48.94	84.55	223.55	2.48
66.50	56.09	86.69	209.28	3.15
63.38	55.75	87.66	206.79	3.26
67.22	48.63	82.93	198.78	2.96
59.44	48.13	79.46	187.03	3.16

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
17.58	27.19	32.12	76.89	4.37
35.74	54.92	65.92	156.57	4.38
25.93	39.41	57.39	122.73	4.73

ตารางที่ 42 ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสในชั้นสับปะรดแช่เย็นจำนวน 200 ชิ้น

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹	น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
130.85	8.20	9.42	148.46	1.13	79.40	12.07	12.90	104.38	1.31
96.20	6.31	7.16	109.67	1.14	76.26	11.13	13.27	100.66	1.32
102.20	8.18	8.01	118.39	1.16	137.06	21.94	22.71	181.71	1.33
186.46	18.43	20.16	225.05	1.21	73.45	10.80	13.57	97.83	1.33
94.47	10.30	9.38	114.16	1.21	162.53	33.88	20.11	216.52	1.33
94.18	9.73	10.21	114.11	1.21	82.40	12.74	15.39	110.52	1.34
87.62	9.49	9.07	106.19	1.21	95.03	20.43	12.34	127.80	1.34
87.62	9.32	9.32	106.27	1.21	85.81	19.24	12.21	117.25	1.37
94.33	10.72	11.58	116.63	1.24	71.50	11.71	14.54	97.75	1.37
39.38	4.80	4.58	48.77	1.24	57.23	13.17	8.30	78.70	1.38
168.26	17.29	23.26	208.81	1.24	84.03	14.49	17.15	115.67	1.38
104.76	15.39	9.86	130.01	1.24	105.05	19.53	20.94	145.52	1.39
108.19	12.77	13.73	134.68	1.24	93.77	22.84	15.74	132.35	1.41
148.15	25.15	11.90	185.20	1.25	90.27	17.91	19.45	127.63	1.41
102.18	16.58	9.47	128.23	1.25	72.22	14.19	15.91	102.32	1.42
142.29	17.22	19.42	178.92	1.26	85.02	18.22	20.08	123.32	1.45
104.59	13.05	14.09	131.73	1.26	77.25	22.39	14.79	114.43	1.48
98.49	18.19	9.07	125.75	1.28	140.55	43.14	26.52	210.21	1.50
114.43	21.50	11.15	147.07	1.29	85.60	19.66	23.39	128.64	1.50
113.34	16.81	16.58	146.72	1.29	66.26	16.07	18.48	100.80	1.52
102.01	13.01	17.36	132.38	1.30	131.38	43.54	27.12	202.04	1.54
134.50	17.48	24.06	176.03	1.31	44.61	11.95	13.67	70.23	1.57
149.10	22.42	23.86	195.38	1.31	51.82	16.90	18.91	87.63	1.69
77.06	11.13	13.06	101.25	1.31	63.40	20.97	24.55	108.92	1.72

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
79.63	34.99	38.68	153.31	1.93
62.82	31.25	32.84	126.91	2.02
65.41	32.99	34.21	132.61	2.03
87.31	44.99	46.56	178.86	2.05
40.24	40.68	39.60	120.53	3.00
17.40	17.70	17.09	52.19	3.00
21.06	20.83	19.97	61.86	2.94
22.01	21.15	20.19	63.34	2.88
22.59	25.59	24.55	72.73	3.22
20.51	25.14	24.02	69.67	3.40
18.00	21.90	20.98	60.89	3.38
18.02	24.12	22.92	65.07	3.61
31.77	39.62	39.49	110.88	3.49
39.42	51.47	50.78	141.68	3.59
37.62	46.81	44.51	128.95	3.43
32.96	42.09	40.74	115.80	3.51
188.40	122.88	124.28	435.56	2.31
257.46	154.48	157.44	569.38	2.21
274.47	171.45	170.79	616.71	2.25
206.18	125.64	124.37	456.18	2.21
141.49	107.18	109.44	358.11	2.53
184.07	135.33	134.99	454.39	2.47
295.86	204.46	202.37	702.69	2.38
273.36	192.13	184.26	649.74	2.38
206.38	7.68	11.31	225.38	1.09
227.22	10.42	13.53	251.17	1.11
157.21	11.09	12.27	180.57	1.15

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
116.97	7.18	8.10	132.25	1.13
128.19	104.43	109.08	341.70	2.67
140.13	107.49	109.76	357.37	2.55
64.09	55.16	56.36	175.61	2.74
135.33	94.46	96.11	325.91	2.41
201.94	19.18	8.95	230.07	1.14
180.29	18.84	9.89	209.02	1.16
233.18	36.69	26.76	296.63	1.27
238.62	31.53	18.63	288.78	1.21
87.08	9.51	4.21	100.80	1.16
218.49	20.49	9.31	248.29	1.14
141.41	15.77	8.02	165.20	1.17
202.13	20.18	9.41	231.72	1.15
163.57	19.14	27.88	210.59	1.29
69.61	12.92	16.44	98.98	1.42
131.68	17.83	24.05	173.55	1.32
82.46	13.33	17.47	113.26	1.37
131.26	22.38	27.52	181.15	1.38
103.41	21.22	27.12	151.75	1.47
214.17	32.27	42.49	288.94	1.35
152.63	19.77	26.73	199.12	1.30
249.90	174.34	187.00	611.24	2.45
268.06	181.98	196.62	646.66	2.41
99.94	69.79	73.30	243.03	2.43
176.14	120.60	132.23	428.98	2.44
374.36	285.06	300.78	960.20	2.56
278.41	221.26	224.78	724.46	2.60

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
319.12	234.78	241.21	795.11	2.49
199.24	152.82	157.24	509.30	2.56
230.43	11.31	13.49	255.23	1.11
197.88	17.03	19.51	234.41	1.18
260.89	10.54	14.11	285.54	1.09
220.22	14.97	18.71	253.90	1.15
118.94	81.75	84.94	285.63	2.40
179.88	121.24	123.64	424.76	2.36
226.68	153.66	154.83	535.18	2.36
228.99	149.85	153.56	532.40	2.32
215.95	-	12.18	227.25	1.05
200.57	5.88	8.66	215.11	1.07
225.91	9.16	10.57	245.64	1.09
148.08	6.87	7.16	162.11	1.09
214.04	8.70	11.98	234.72	1.10
146.69	7.04	8.14	161.87	1.10
220.00	11.27	12.96	244.24	1.11
222.73	12.01	13.87	248.61	1.12
256.59	13.87	16.53	286.99	1.12
185.75	10.16	12.78	208.68	1.12
111.54	7.09	6.71	125.33	1.12
256.71	15.51	17.04	289.25	1.13
234.78	15.64	16.26	266.68	1.14
179.43	11.36	13.20	204.00	1.14
120.61	13.95	5.03	139.59	1.16
126.02	10.25	10.19	146.46	1.16
232.14	17.88	20.51	270.53	1.17

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
198.65	27.74	7.84	234.24	1.18
63.35	5.40	6.11	74.86	1.18
227.41	20.03	21.34	268.78	1.18
100.12	13.96	4.55	118.63	1.18
122.27	17.44	5.32	145.04	1.19
150.9	13.10	15.45	179.25	1.19
126.89	11.47	12.72	151.08	1.19
137.56	19.34	7.17	164.07	1.19
98.42	13.16	5.86	117.43	1.19
113.07	15.50	6.54	135.10	1.19
59.19	5.79	5.99	70.96	1.20
118.15	16.64	7.18	141.97	1.20
143.47	13.93	16.03	173.43	1.21
125.71	19.71	6.95	152.37	1.21
125.98	10.81	16.34	153.13	1.22
103.04	16.16	6.16	125.36	1.22
68.39	9.87	5.02	83.28	1.22
98.17	15.72	6.49	120.38	1.23
168.73	17.60	19.87	206.19	1.23
57.97	5.42	8.03	71.42	1.23
70.06	7.80	9.00	86.86	1.24
122.70	22.67	11.71	157.08	1.28
217.69	31.90	24.66	274.26	1.28
107.31	21.37	9.29	137.96	1.29
109.46	20.05	11.51	141.02	1.29
174.00	20.81	19.60	214.41	1.30
61.16	8.86	10.45	80.47	1.32

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
91.86	13.09	14.20	119.16	1.32
82.03	13.57	13.49	109.09	1.33
98.48	14.18	18.68	131.34	1.33
110.82	26.58	14.29	151.68	1.37
109.43	19.35	22.26	151.04	1.38
76.18	13.43	17.42	107.02	1.40
154.91	31.74	32.87	219.52	1.42
161.75	38.20	33.85	233.80	1.45
78.81	22.00	13.44	114.25	1.45
33.45	-	14.95	49.89	1.49
69.58	21.76	14.70	106.04	1.52
107.02	37.35	24.39	168.76	1.58
28.32	-	14.82	44.70	1.58
98.49	46.88	33.48	178.86	1.82
52.92	25.19	24.39	102.50	1.94
52.76	23.96	28.26	104.99	1.99
33.69	17.61	16.07	67.38	2.00
33.65	17.36	16.64	67.65	2.01
33.89	12.20	22.23	68.32	2.02
55.71	29.79	26.91	112.42	2.02
86.34	51.36	48.30	186.00	2.15
49.12	27.99	28.84	105.95	2.16
67.21	42.37	38.88	148.45	2.21
40.08	22.51	26.22	88.81	2.22
47.26	29.98	28.07	105.31	2.23
34.92	22.37	20.77	78.06	2.24
28.93	19.15	17.77	65.86	2.28

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
66.10	43.59	40.76	150.44	2.28
69.41	45.61	43.58	158.61	2.28
36.39	24.87	22.54	83.80	2.30
44.62	30.38	28.62	103.61	2.32
56.97	39.10	36.45	132.52	2.33
49.90	33.84	31.39	115.13	2.33
57.58	39.86	36.57	134.00	2.33
79.21	54.37	51.65	185.23	2.34
35.78	24.86	23.03	83.68	2.34
36.41	25.73	23.74	85.89	2.36
52.95	36.43	35.56	124.94	2.36
43.05	31.01	29.42	103.48	2.41
44.45	33.17	30.54	108.16	2.44
470.38	243.97	274.88	659.15	2.12
312.86	193.66	233.27	739.78	2.37
251.79	137.12	428.86	817.76	3.47
293.49	145.32	503.91	942.73	3.21
275.32	40.18	20.33	315.74	1.15
705.23	81.16	175.83	817.77	1.36
695.94	104.60	166.88	830.90	1.38
523.22	59.55	46.58	629.34	1.21
628.08	88.13	82.47	798.68	1.27
238.40	70.08	20.01	328.49	1.40
600.84	79.90	152.72	833.46	1.39
314.88	87.63	653.42	718.66	3.35

ตารางที่ 43 ปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสในชั้นมะละกอแช่ส้มจำนวน 200 ชั้น

น้ำตาลซูโครส (mg/g)	น้ำตาลกลูโคส (mg/g)	น้ำตาลฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาลทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹	น้ำตาลซูโครส (mg/g)	น้ำตาลกลูโคส (mg/g)	น้ำตาลฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาลทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
412.00	7.40	7.93	427.33	1.04	93.77	22.84	15.74	132.35	1.41
336.00	10.20	10.21	356.41	1.06	85.02	18.22	20.08	123.32	1.45
347.00	14.77	14.89	376.67	1.09	77.25	22.39	14.79	114.43	1.48
309.23	13.43	13.54	336.20	1.09	140.55	43.14	26.52	210.21	1.50
309.23	13.43	13.54	336.20	1.09	85.60	19.66	23.39	128.64	1.50
305.85	12.75	12.77	331.37	1.08	66.26	16.07	18.48	100.80	1.52
332.00	15.93	15.28	363.21	1.09	76.18	13.43	17.42	107.02	1.40
213.34	13.43	13.54	240.31	1.13	154.91	31.74	32.87	219.52	1.42
213.34	13.43	13.54	240.31	1.13	161.75	38.20	33.85	233.80	1.45
213.75	15.93	15.28	244.96	1.15	78.81	22.00	13.44	114.25	1.45
250.00	19.43	18.54	287.97	1.15	78.81	22.00	13.44	114.25	1.45
309.00	25.87	24.98	359.85	1.16	77.25	22.39	14.79	114.43	1.48
320.00	25.87	23.84	369.71	1.16	196.18	50.43	47.42	294.02	1.50
183.50	19.68	17.06	220.23	1.20	194.91	51.74	42.87	289.52	1.49
216.75	26.69	23.12	266.56	1.23	228.75	58.20	53.85	340.80	1.49
152.99	10.77	23.74	187.50	1.23	358.81	82.00	93.44	534.25	1.49
208.26	24.90	23.22	256.38	1.23	478.81	122.00	113.44	714.25	1.49
240.02	44.96	15.17	300.16	1.25	477.25	122.39	114.79	714.43	1.50
216.65	42.62	14.77	274.03	1.26	301.25	80.39	80.79	462.43	1.54
233.09	52.92	21.15	307.15	1.32	377.25	82.39	74.79	534.43	1.42
183.27	42.01	16.92	242.20	1.32	477.25	132.00	124.97	734.22	1.54
151.18	29.06	29.06	209.30	1.38	359.53	98.34	89.46	547.33	1.52
136.49	25.99	26.16	188.64	1.38	346.40	89.53	89.53	525.46	1.52
190.21	32.86	34.75	257.82	1.36	249.16	78.12	76.34	403.62	1.62
137.59	22.93	37.86	198.38	1.44	579.16	156.70	155.40	891.26	1.54
146.14	24.35	40.22	210.72	1.44	309.16	90.44	79.30	478.90	1.55
156.36	25.52	42.75	224.63	1.44	431.43	78.53	78.97	588.93	1.37
90.27	17.91	19.45	127.63	1.41	379.16	99.44	99.29	577.89	1.52

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
249.16	78.12	76.34	403.62	1.62
579.16	156.70	155.40	891.26	1.54
309.16	90.44	79.30	478.90	1.55
431.43	78.53	78.97	588.93	1.37
379.16	99.44	99.29	577.89	1.52
249.16	78.12	76.34	403.62	1.62
579.16	156.70	155.40	891.26	1.54
309.16	90.44	79.30	478.90	1.55
431.43	78.53	78.97	588.93	1.37
379.16	99.44	99.29	577.89	1.52
249.16	78.12	76.34	403.62	1.62
579.16	156.70	155.40	891.26	1.54
309.16	90.44	79.30	478.90	1.55
431.43	78.53	78.97	588.93	1.37
379.16	99.44	99.29	577.89	1.52
309.16	90.44	79.30	478.90	1.55
431.43	78.53	78.97	588.93	1.37
379.16	99.44	99.29	577.89	1.52
171.97	113.14	12.98	298.09	1.73
143.13	87.64	3.80	234.57	1.64
171.97	113.14	12.98	298.09	1.73
171.97	113.14	12.98	298.09	1.73
130.40	87.23	34.64	252.26	1.93
171.97	113.14	12.98	298.09	1.73
171.97	113.14	12.98	298.09	1.73
171.97	113.14	12.98	298.09	1.73
171.97	113.14	12.98	298.09	1.73
155.80	97.09	23.64	276.54	1.77
116.94	42.97	40.67	200.58	1.72
118.22	41.56	43.12	202.90	1.72
165.51	58.18	60.37	284.06	1.72

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
175.41	64.45	61.01	300.86	1.72
350.81	128.90	122.02	601.73	1.72
137.79	31.65	47.59	217.03	1.58
140.98	31.76	47.95	220.69	1.57
96.05	25.31	38.83	160.19	1.67
99.88	27.42	42.13	169.43	1.70
113.20	24.45	39.78	177.43	1.57
105.17	22.67	36.94	164.78	1.57
163.62	104.63	30.73	298.98	1.83
185.41	133.36	14.88	333.65	1.80
216.62	126.35	66.21	409.18	1.89
235.04	136.66	55.06	426.76	1.82
180.80	105.12	42.36	328.28	1.82
180.80	105.12	42.36	328.28	1.82
135.60	78.84	31.77	246.21	1.82
138.87	83.59	39.18	261.64	1.88
134.70	81.08	38.00	253.79	1.88
170.39	102.56	44.79	317.74	1.86
200.49	129.00	60.39	389.88	1.94
176.37	116.83	44.76	337.96	1.92
104.58	57.99	37.04	199.61	1.91
117.50	65.16	41.62	224.28	1.91
173.95	108.13	51.38	333.46	1.92
168.97	99.26	65.20	333.44	1.97
211.21	124.08	81.51	416.80	1.97
169.62	120.51	47.68	337.81	1.99
240.00	147.00	91.00	478.00	1.99
232.79	146.03	90.58	469.40	2.02
175.99	109.57	74.05	359.61	2.04
125.56	125.56	3.76	254.88	2.03
138.12	138.12	4.14	280.37	2.03

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
69.06	69.06	4.55	142.67	2.07
140.54	102.83	43.63	287.00	2.04
158.61	111.95	48.07	318.63	2.01
108.51	101.27	12.09	221.87	2.04
192.55	131.73	72.29	396.57	2.06
232.57	141.12	98.82	472.51	2.03
73.64	31.40	47.90	152.94	2.08
77.67	32.03	51.30	161.00	2.07
163.59	110.46	67.77	341.82	2.09
143.51	111.64	43.73	298.88	2.08
158.42	103.68	62.92	325.02	2.05
73.64	31.40	47.90	152.94	2.08
77.67	32.03	51.30	161.00	2.07
179.61	115.83	81.27	376.71	2.10
67.21	42.37	38.88	148.45	2.21
100.81	63.55	58.31	222.67	2.21
202.08	180.47	36.85	419.40	2.08
265.87	175.67	120.00	561.54	2.11
332.34	219.59	150.00	701.93	2.11
232.73	144.30	120.20	497.22	2.14
265.45	156.12	-	421.57	1.59
155.15	96.20	80.13	331.48	2.14
103.43	64.13	53.42	220.99	2.14
175.15	119.20	77.25	371.60	2.12
175.15	119.20	77.25	371.60	2.12
175.15	119.20	77.25	371.60	2.12
175.15	119.20	77.25	371.60	2.12
175.15	119.20	77.25	371.60	2.12
175.15	119.20	77.25	371.60	2.12
175.15	119.20	77.25	371.60	2.12
175.15	119.20	77.25	371.60	2.12
175.15	119.20	77.25	371.60	2.12
175.15	119.20	77.25	371.60	2.12

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
227.04	162.92	100.97	490.93	2.16
139.60	101.04	61.28	301.92	2.16
41.43	22.51	26.22	90.15	2.18
46.76	26.98	28.07	101.81	2.18
54.92	34.00	30.77	119.69	2.18
82.38	51.00	46.16	179.54	2.18
168.26	114.60	82.21	365.07	2.17
67.21	42.37	38.88	148.45	2.21
134.41	84.73	77.75	296.90	2.21
67.21	42.37	38.88	148.45	2.21
191.38	145.55	96.13	433.06	2.26
203.18	142.44	109.16	454.78	2.24
184.57	148.19	80.49	413.25	2.24
167.80	119.74	83.87	371.41	2.21
229.29	164.69	116.50	510.48	2.23
169.25	147.83	66.59	383.67	2.27
218.25	163.75	130.59	512.59	2.35
171.65	124.99	102.05	398.69	2.32
286.08	312.48	255.13	853.68	2.98
257.48	187.49	153.08	598.04	2.32
343.30	249.98	204.10	797.38	2.32
171.65	124.99	102.05	398.69	2.32
174.52	137.76	109.26	421.54	2.42
157.07	123.98	98.34	379.39	2.42
163.72	151.84	95.47	411.03	2.51
165.98	139.91	96.89	402.78	2.43
188.92	169.66	110.11	468.69	2.48
157.54	131.26	108.57	397.37	2.52
166.13	169.19	82.23	417.55	2.51
159.75	157.05	85.81	402.61	2.52
250.91	207.15	174.60	632.66	2.52

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
162.70	136.29	119.87	418.86	2.57
286.08	112.48	155.13	553.68	1.94
130.51	149.25	89.27	369.03	2.83
156.27	149.86	116.20	422.33	2.70
194.57	174.79	221.47	590.83	3.04
242.55	202.79	290.48	735.82	3.03

น้ำตาล ซูโครส (mg/g)	น้ำตาล กลูโคส (mg/g)	น้ำตาล ฟรุกโตส (mg/g)	น้ำตาล ทั้งหมด (mg/g)	TS.S ⁻¹
102.73	120.38	121.37	344.48	3.35
250.62	236.06	297.22	783.90	3.13
240.17	247.24	314.12	801.53	3.34
218.25	143.75	120.59	482.59	2.21
109.13	71.88	60.30	241.30	2.21
61.25	50.08	62.73	174.05	2.84







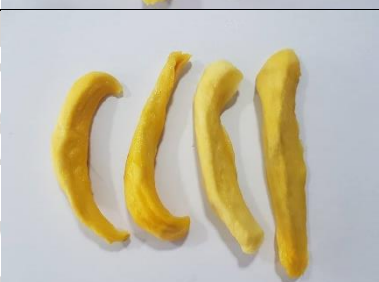


ภาคผนวก จ






ลักษณะมะม่วง สับปะรด และมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง



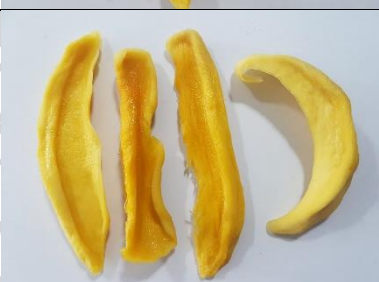


สำหรับชิ้นผลไม้แช่อิ่มจำนวน 20 สภาวะที่ถูกแบ่งมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีลักษณะดังนี้




ตารางที่ 44 ลักษณะของชิ้นมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งจำนวน 20 สภาวะ

สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
ชนิดน้ำตาลทราย 100%	
30 องศาบริกซ์ pH 2.5	
30 องศาบริกซ์ pH 3.8	

สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
40 องศาบริกซ์ pH 2.5	
40 องศาบริกซ์ pH 3.8	
50 องศาบริกซ์ pH 2.5	
50 องศาบริกซ์ pH 3.8	
60 องศาบริกซ์ pH 2.5	






สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
60 องศาบริกซ์ pH 3.8	
ชนิดน้ำเชื่อมสำเร็จรูป	
30 องศาบริกซ์ pH 2.5	
30 องศาบริกซ์ pH 3.8	
40 องศาบริกซ์ pH 2.5	
40 องศาบริกซ์ pH 3.8	



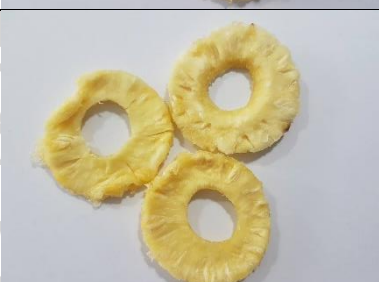


สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
50 องศาบริกซ์ pH 2.5	
50 องศาบริกซ์ pH 3.8	
60 องศาบริกซ์ pH 2.5	
60 องศาบริกซ์ pH 3.8	
ชนิดน้ำตาลทราย 100%	
30 องศาบริกซ์ pH 2.5 + กลีเซอรีน 5% และซอร์บิทอล5%	






สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
30 องศาบริกซ์ pH 3.8 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	
40 องศาบริกซ์ pH 2.5 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	
40 องศาบริกซ์ pH 3.8 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	


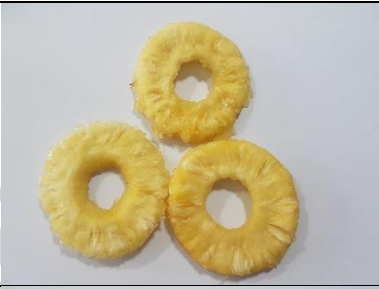





ตารางที่ 45 ลักษณะของชิ้นสับประรดแช่เชื่อมอบแห้งจำนวน 20 สภาวะ






สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์	
ชนิดน้ำตาลทราย 100%		
30 องศาบริกซ์ pH 2.5		
30 องศาบริกซ์ pH 3.8		
40 องศาบริกซ์ pH 2.5		
40 องศาบริกซ์ pH 3.8		
50 องศาบริกซ์ pH 2.5		






สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
50 องศาบริกซ์ pH 3.8	
60 องศาบริกซ์ pH 2.5	
60 องศาบริกซ์ pH 3.8	
ชนิดน้ำเชื่อมสำเร็จรูป	
30 องศาบริกซ์ pH 2.5	
30 องศาบริกซ์ pH 3.8	



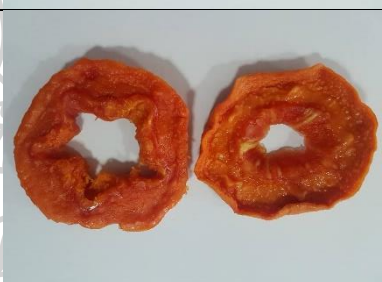


สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
40 องศาบริกซ์ pH 2.5	
40 องศาบริกซ์ pH 3.8	
50 องศาบริกซ์ pH 2.5	
50 องศาบริกซ์ pH 3.8	
60 องศาบริกซ์ pH 2.5	






สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
60 องศาบริกซ์ pH 3.8	
ชนิดน้ำตาลทราย 100%	
30 องศาบริกซ์ pH 2.5 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	
30 องศาบริกซ์ pH 3.8 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	
40 องศาบริกซ์ pH 2.5 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	
40 องศาบริกซ์ pH 3.8 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	

ตารางที่ 46 ลักษณะของชิ้นมะละกอแช่อิ่มอบแห้งจำนวน 20 สภาวะ

สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
ชนิดน้ำตาลทราย 100%	
30 องศาบริกซ์ pH 2.5	
30 องศาบริกซ์ pH 3.8	
40 องศาบริกซ์ pH 2.5	
40 องศาบริกซ์ pH 3.8	
50 องศาบริกซ์ pH 2.5	

สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
50 องศาบริกซ์ pH 3.8	
60 องศาบริกซ์ pH 2.5	
60 องศาบริกซ์ pH 3.8	
ชนิดน้ำเชื่อมสำเร็จรูป	
30 องศาบริกซ์ pH 2.5	
30 องศาบริกซ์ pH 3.8	

สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
40 องศาบริกซ์ pH 2.5	
40 องศาบริกซ์ pH 3.8	
50 องศาบริกซ์ pH 2.5	
50 องศาบริกซ์ pH 3.8	
60 องศาบริกซ์ pH 2.5	

สารละลายออสโมติก	ลักษณะผลิตภัณฑ์
60 องศาบริกซ์ pH 3.8	
ชนิดน้ำตาลทราย 100%	
30 องศาบริกซ์ pH 2.5 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	
30 องศาบริกซ์ pH 3.8 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	
40 องศาบริกซ์ pH 2.5 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	
40 องศาบริกซ์ pH 3.8 + กลีเซอริน 5% และซอร์บิทอล5%	

ภาคผนวก จ

คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบสด

ตารางที่ 47 คุณภาพทางเคมีของมะม่วง สับปะรด และมะละกอสด จำนวนชนิดละ 20 ชนิด

ชนิดผลไม้ สด	TSS (องศาบริกซ์)	pH	TA (ร้อยละกรดซิตริก)	MC (ร้อยละ)	TSS/TA (องศาบริกซ์ต่อ ร้อยละกรดซิตริก)
มะม่วงสด	10.2	3.46	0.665	88.72	15.25
	10.1	3.27	0.656	88.82	15.40
	10.4	3.28	0.665	88.56	15.55
	10.6	3.29	0.675	88.29	15.70
	10.5	3.47	0.675	88.46	15.55
	10.5	3.49	0.677	85.46	15.43
	10.5	3.32	0.680	83.58	15.45
	10.8	3.35	0.674	86.62	16.03
	10.7	3.34	0.669	88.26	16.00
	10.3	3.30	0.669	88.12	15.39
	10.7	3.29	0.683	87.97	15.59
	11.1	3.32	0.683	88.11	16.19
	11.3	3.32	0.683	88.11	16.48
	11.3	3.40	0.657	86.97	17.20
	11.4	3.52	0.624	87.24	18.28
	11.6	3.51	0.631	88.37	18.39
	12.2	3.52	0.624	87.24	19.48
	12.9	3.57	0.628	86.86	20.45

ชนิดผลไม้ สด	TSS (องศาบริกซ์)	pH	TA (ร้อยละกรดซิตริก)	MC (ร้อยละ)	TSS/TA (องศาบริกซ์ต่อ ร้อยละกรดซิตริก)
	13.0	3.60	0.640	87.61	20.23
	12.9	3.60	0.640	87.61	20.15
สับปะรด	9.9	3.81	0.038	88.70	262.67
	9.9	3.75	0.038	89.10	264.00
	10.0	3.68	0.041	89.75	242.68
	10.0	3.55	0.043	89.75	232.56
	10.1	3.63	0.042	89.80	239.29
	10.0	3.86	0.042	88.85	236.90
	10.2	3.85	0.043	89.10	236.05
	10.5	3.78	0.045	89.40	233.33
	10.5	3.79	0.045	89.25	233.33
	10.5	3.86	0.043	89.35	244.19
	10.7	3.63	0.043	88.40	247.67
	10.9	3.53	0.041	88.00	264.63
	10.9	3.65	0.042	89.10	259.52
	11.0	3.76	0.046	90.00	238.04
	11.0	3.78	0.045	90.00	244.44
	11.0	3.74	0.043	90.05	255.81
	11.1	3.74	0.044	89.00	252.27
	11.2	3.70	0.042	88.45	265.48
	11.1	3.68	0.042	89.45	266.27
	10.5	3.72	0.042	89.45	248.81
มะละกอ	12.3	5.16	0.016	87.91	747.11
	12.0	5.17	0.016	87.79	751.54
	12.0	5.17	0.016	88.07	751.43
	12.0	4.90	0.021	87.30	577.14
	12.2	4.92	0.020	87.50	619.01

ชนิดผลไม้ สด	TSS (องศาบริกซ์)	pH	TA (ร้อยละกรดซิตริก)	MC (ร้อยละ)	TSS/TA (องศาบริกซ์ต่อ ร้อยละกรดซิตริก)
	12.6	4.90	0.020	87.30	618.00
	12.3	5.16	0.016	87.91	747.11
	12.0	5.17	0.016	87.79	751.54
	12.0	5.17	0.016	88.07	751.43
	13.4	4.60	0.021	87.30	623.69
	12.2	4.78	0.021	87.50	586.76
	11.0	4.67	0.021	87.30	528.52
	11.2	5.16	0.016	87.91	680.30
	10.9	5.17	0.016	87.79	682.65
	10.8	5.17	0.016	88.07	676.29
	12.0	5.10	0.018	87.30	659.34
	11.9	5.09	0.019	87.50	640.77
	12.0	5.09	0.019	87.30	647.62
	11.9	5.16	0.016	87.91	722.81
	12.0	5.17	0.016	87.79	751.54

ตารางที่ 48 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่า TSS/TA ของมะม่วงสดและสับปะรดสดจำนวน 20 ชิ้น ด้วย paired t-test

Paired Samples Test								
	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
มะม่วงสด - สับปะรดสด	-2.31E2	11.40290	2.54977	-236.82422	-226.15078	-90.788	19	.000

ตารางที่ 49 การทดสอบทางสถิติระหว่างค่า TSS/TA ของมะม่วงสดและมะละกอสุดจำนวน 20 ชิ้น ด้วย paired t-test

Paired Samples Test								
	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
มะม่วงสด - สับปะรดสด	-6.59E2	69.46937	15.53382	-691.33316	-626.30784	-42.412	19	.000

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	หทัยชนก พวงจันทร์
วัน เดือน ปี เกิด	13 เมษายน 2534
สถานที่เกิด	สมุทรสาคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	50/3 หมู่ 3 ซอยเจริญโรจน์ ถนนพระราม 2 ตำบลนาดี อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร 74000
ผลงานตีพิมพ์	Busarakorn Mahayothee, Hathaichanok Pongjun, Pramote Khuwijitjaru, Marcus Nagle and Joachim Müller. 2016. Development of Common Model for Determining Total Sugars to Sucrose Ratio of Osmotic Dehydrated Mango and Pineapple prior to Drying using Near Infrared Spectroscopy. The 5th Asian NIR Symposium (The ANS2016 and The 32nd NIR Forum) in 30 November – 3 December 2016. Kagoshima , Japan.

