

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหล  
ในท่อที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนัง  
โดยใช้วิธีการเชิงตัวเลข  
Thermal and Fluid Analysis for  
Heat Transfer in Pipes with Varying Wall Temperature  
Using Numerical Methods



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-BN-M-100-091

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอเพื่อการส่งออก  
ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ กันด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้  
เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

Evaluation of Internal and External Properties for  
Exporting Pomelo at Different Storage Durations by Non-Destructive Method  
Using Near Infrared Spectroscopy



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....105045  
วัน,เดือน,ปี..... 12 พ.ย. 2552

b. 12165311  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดทอนเปลี่ยนแปลง และต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
พ.ศ. 2552  
KMITL-2009-EN-M-100-091

**Evaluation of Internal and External Properties for  
Exporting Pomelo at Different Storage Durations by Non-Destructive Method  
Using Near Infrared Spectroscopy**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**



**COPYRIGHT 2009**

**FACULTY OF ENGINEERING** ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** ที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอเพื่อการส่งออกที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ กันด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

esis Title Evaluation of Internal and External Properties for Exporting Pomelo at Different Storage Durations by Non-Destructive Method using Near Infrared Spectroscopy

ศึกษา นายวิภัทร ลากเจริญสุข

สประจำตัว 50061203

ญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

าวิชา วิศวกรรมเกษตร

ารยที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

ารยที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ

ายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-100-091

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ณัตวิภา	เจียรโนวชิระ	ณัตวิภา เจียรโนวชิระ
ศุตาภัทร	แคว้นเขาเม็ง	ศุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง
ศุมาพร	เกษมสำราญ	ศุมาพร เกษมสำราญ
ประสันท์	ชุ่มใจหาญ	ประสันท์ ชุ่มใจหาญ
ดร.ปานมนัส	ศิริสมบูรณ์	ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

เดือน/ปี ที่สอบ วันพุธที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 11.30-13.30 น.

นที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

*(ลายมือชื่อ)*

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เตชะหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า วันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอเพื่อการส่งออกที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ กันด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี
นักศึกษา	นาย รัชภัทร ลาภเจริญสุข
รหัสนักศึกษา	50061203
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบุญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. สุมาพร เกษมถำราญ

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีในการประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ และการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีในการแบ่งกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษา สมบัติที่ศึกษาคือ สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางชีวเคมี ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการประเมินสมบัติของส้มโอใช้วิธี Partial Least Square (PLS) การแบ่งกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาใช้วิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) และ Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) การทำนายกลุ่มการเก็บรักษาส้มโอโดยวิธี SIMCA และ PLS-DA โดยการใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance และเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลส้มโอมีความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มที่ต่ำ ส่วนการทำนายกลุ่มเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzky Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร มีเปอร์เซ็นต์การทำนายโดยรวมดีที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 40.70 เปอร์เซ็นต์ การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี PLS-DA โดยใช้เครื่อง NIR transmittance และเครื่อง NIR FQA GUN ที่วัดจากผลและเนื้อส้มโอนั้นยังมีความแม่นยำที่ต่ำ การทำนายสมบัติต่างๆ ของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีนั้น ผลการทำนายที่ได้ยังมีประสิทธิภาพในการทำนายที่ต่ำ ( $r=0.099-0.705$ ) ค่าที่ทำนายได้แม่นยำที่สุดคือการดูดซับพลังงานของผลส้มโอ แบบจำลองที่ทำนายกลุ่ม Prediction ได้ดีที่สุดคือแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่น 700–850 นาโนเมตร โดยมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.722 ค่า SEP เท่ากับ 5.572 นิวตัน มิลลิเมตร และค่า Bias เท่ากับ -0.227 นิวตัน มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Evaluation of Internal and External Properties for Exporting Pomelo at Different Storage Durations by Non-Destructive Method Using Near Infrared Spectroscopy
<b>Student</b>	Mr. Ravipat Lapcharensuk
<b>Student ID.</b>	50061203
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Agricultural Engineering
<b>Year</b>	2009
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Panmanus Sirisomboon
<b>Thesis Co – Advisor</b>	Dr. Sumaporn Kasemsumran

## ABSTRACT

This research has a purpose of applying near infrared (NIR) spectroscopy in evaluation internal and external properties of Pomelo (Kao Num Peung Variety) and in identification of groups of different storage durations. The properties studied were physical properties, mechanical properties and bio-chemical properties. Partial Least Square (PLS) regression was used in prediction of internal and external properties of Pomelo. The Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) and Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) were used in group classification. The NIR spectra of Pomelo fruits were measured by NIR transmission spectrometer, and FQA NIR GUN, and of Pomelo flesh were measured by FQA NIR GUN. The storage duration classification result by SIMCA and PLS-DA using intact pomelo spectra from both NIR transmittance spectrometer and FQA NIR GUN showed the low percentage of correctness. The result of storage duration classification for fresh cut pomelo by SIMCA using spectra from FQA NIR GUN showed that the model developed by Savitzky Golay Second Derivatives with 10 nm segment pretreated spectra of 663 – 961 nm wavelength range provided the highest percentage of overall correctness 40.70%. The PLS-DA could not accurately classify the storage durations for all conditions. The result of prediction of internal and external properties of pomelo by NIR spectroscopy showed that the technique could not predict with high accuracy ( $r=0.099-0.705$ ). However, the best prediction was for energy absorption of pomelo fruits by the model developed from spectra pretreated by moving average smoothing and multiplicative scatter correction (MSC) at wavelength range 70–850 nm from NIR transmittance spectrometer with  $r$  of

0.722, SEP of 5.572 Nmm and bias of -0.227 Nmm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์, อ. วารุณี ชนะแพสย์ และ ดร. สุมาพร เกษมสำราญ สำหรับคำปรึกษาทั้งเรื่องวิทยานิพนธ์และเรื่องอื่นๆ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณฝ่ายพัฒนาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์เชิงธุรกิจ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนเครื่องมือในการทดลอง

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งให้เงินทุนช่วยเหลือโครงการวิจัยนี้ ภายใต้งบวิจัยโครงการทุนวิจัยมหาวิทยาลัย สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เลขที่สัญญา MGR-WII505E070

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำปรึกษา การช่วยเหลือทำการทดลอง และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รวิภัทร งามเจริญสุข

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	XI
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเทคนิคเนียร์อินสเปกโตรสโคปี (NIR Spectroscopy).....	5
2.1.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	5
2.1.2 หลักการดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดของ โมเลกุลสารอินทรีย์.....	7
2.2 ทฤษฎี chemo metric.....	9
2.2.1 วิธีการปรับแต่ง NIR Spectra.....	9
1. การลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน.....	9
2. การลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อค่าสเปกตรัม.....	12
2.2.2 วิธีในการสร้างแบบจำลองในการทำนาย.....	24
1. เทคนิค Principal Component Regression (PCR).....	24
2. เทคนิค Principal Component Analysis (PCA).....	24
3. เทคนิค Partial Least Square (PLS).....	27
2.3 การประเมินความถูกต้องแม่นยำด้วยวิธีทางสถิติ.....	28
2.3.1 ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม.....	28
2.3.2 ค่าเฉลี่ย (The mean).....	28
2.3.3 Standard deviation (SD).....	29
2.3.4 Coefficient of variability (CV %).....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.5 Bias (หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้จาก NIRS กับข้อมูลที่อ้างอิง).....	30
2.3.6 Coefficient of correlation (r).....	30
2.3.7 Coefficient of determination ( $r^2$ ).....	30
2.3.8 Regression coefficient (b) และ intercept (a).....	30
2.3.9 การแจกแจงความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้จาก NIRS และข้อมูลที่อ้างอิง.....	31
2.3.10 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของ single test (SET).....	32
2.3.11 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP หรือ SEV).....	33
2.3.12 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของ cross-validation (SECV).....	33
2.3.13 Root mean square of the difference (RMSE, RMSEP).....	33
2.3.14 True Test Error (TTE).....	34
2.3.15 อัตราส่วนของ SEP ต่อ SD (RPD).....	34
2.3.16 อัตราส่วนของ SEP ต่อช่วง (RER).....	35
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	38
3.1 เตรียมตัวอย่างส้มโอที่นำมาทดลอง.....	38
3.2 การทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลส้มโอ.....	38
3.3 กระบวนการในการเก็บรักษาและการเตรียมห้องเย็น.....	39
3.4 กำหนดระยะเวลาในการเก็บรักษาและวันในการทดลอง.....	40
3.5 คุณภาพภายนอกของผลส้มโอ.....	41
3.5.1 การวัดสเปกตรัมของผลส้มโอด้วยเครื่อง FQA NIR GUN.....	41
3.5.2 การวัดสเปกตรัมของผลส้มโอด้วยเครื่อง NIR Transmittance.....	43
3.5.3 การตรวจวัดขนาดของผลส้มโอ.....	44
3.5.4 การตรวจวัดน้ำหนักของผลส้มโอ.....	46
3.5.5 การตรวจวัดปริมาตรและความหนาแน่นของผลส้มโอ.....	46
3.5.6 การตรวจวัดสีผิวของผลส้มโอ.....	48
3.5.7 การตรวจวัดเนื้อสัมผัสของผลส้มโอ.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 คุณภาพภายในของผลส้มโอ.....	51
3.6.1 การตรวจวัดแบบไม่ทำลายด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ของเนื้อส้มโอ.....	51
3.6.2 การตรวจวัดสีของเนื้อส้มโอ.....	52
3.6.3 การตรวจวัดเนื้อส้มฝัดของเนื้อส้มโอ.....	53
3.6.4 การตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอ.....	54
3.6.5 การตรวจวัดค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable Acidity) น้ำส้มโอ.....	55
3.6.6 การคำนวณค่าปริมาณกรดต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้.....	57
3.7 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในและภายนอกของส้ม โอตามระยะเวลาการเก็บรักษา.....	58
3.8 การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษาส้ม โอ.....	58
3.8.1 การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษาส้ม โอโดยใช้สเปกตรัมของผลส้ม โอจากเครื่อง NIR Transmittance.....	58
3.8.2 การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษาส้ม โอโดยใช้สเปกตรัมของผลส้ม โอจากเครื่อง FQA NIR GUN.....	59
3.8.3 การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษาส้ม โอโดยใช้สเปกตรัมของเนื้อส้ม โอจากเครื่อง FQA NIR GUN.....	59
3.9 การประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้ม โอ.....	59
3.9.1 การประเมินสมบัติของส้ม โอโดยใช้สเปกตรัมของผลส้ม โอจากเครื่อง NIR Transmittance.....	60
3.9.2 การประเมินสมบัติของส้ม โอโดยใช้สเปกตรัมของผลส้ม โอจากเครื่อง FQA NIR GUN.....	60
3.9.3 การประเมินสมบัติของเนื้อส้ม โอโดยใช้สเปกตรัมของเนื้อส้ม โอจากเครื่อง FQA NIR GUN.....	61
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	62
4.1 ผลการทดลองหาระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของส้ม โอเมื่อนำออกจากห้องเย็น.....	62
4.2 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็น.....	62
4.3 ผลการทดลองหาสมบัติของส้ม โอ.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
4.2.1 สมบัติทางกายภาพของผลและเนื้อส้มโอ.....64  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1. เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลเชิงเรขาคณิต.....	64
2. น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่น.....	64
3. สีผลและสีเนื้อส้มโอ.....	64
4.3.2 สมบัติเชิงกลของผลและเนื้อส้มโอ.....	67
1. สมบัติเชิงกลจากการทดสอบ โดยวิธี Compression test.....	70
2. สมบัติเชิงกลจากการทดสอบ โดยวิธี Puncture test.....	73
3. สมบัติของเชิงกลของเนื้อส้มโอที่ได้จากการทดสอบแบบ Puncture test.....	77
4.3.3 สมบัติทางชีวเคมีของเนื้อส้มโอ.....	80
1. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Soluble solids content).....	80
2. ปริมาณกรดซิตริก.....	82
3. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้.....	83
4.4 สเปกตรัมของส้มโอที่ได้จากวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี.....	84
4.4.1 สเปกตรัมของผลส้มโอที่ได้จากการวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR transmittance.....	84
4.4.2 สเปกตรัมของผลส้มโอที่ได้จากการวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FQA NIR GUN.....	85
4.4.3 สเปกตรัมของเนื้อส้มโอที่ได้จากการวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FQA NIR GUN.....	85
4.5 การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี.....	87
4.5.1 การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA).....	87
1. การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้ สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance.....	88
2. การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้ สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลส้มโอ.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากเนื้อส้มโอ.....	90
4.5.2 การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA).....	90
1. การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance.....	90
2. การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลส้มโอ.....	91
3. การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากเนื้อส้มโอ.....	91
4.6 การทำนายสมบัติของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี.....	91
4.6.1 การทำนายสมบัติของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR Transmittance.....	91
4.6.2 การทำนายสมบัติของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN.....	92
4.6.3 การทำนายสมบัติของเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN.....	92
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	97
บรรณานุกรม.....	100
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก. ค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอ.....	103
ภาคผนวก ข. ผลการแบ่งกลุ่มผลส้มโอด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปก	

โตรสโคปี (NIR Spectroscopy) ด้วยวิธี Soft Independent Modeling of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า Class Analogy (SIMCA) และวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA).....108  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค. ผลการประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอด้วยเทคนิคเนียร์	
อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีโดยวิธี Partial Least Square (PLS).....	141
ภาคผนวก ง. ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่.....	153
ประวัติผู้เขียน.....	167



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 สถิติการส่งออกส้มโอของประเทศไทย.....	1
2.1 ความยาวและจำนวนคลื่นของช่วงคลื่นอินฟราเรด.....	7
2.2 ตัวอย่างในการคำนวณค่า Coefficient of variability (CV %) ของตัวแปร.....	29
2.3 การแปลความหมายของ $r^2$ .....	31
2.4 รูปแบบของความชื้น.....	32
2.5 การกำหนด True Test Error.....	34
2.6 ค่าทางสถิติ RPD และ RER.....	35
3.1 ระยะเวลาการเก็บรักษาและวันที่ในการทดลอง.....	41
4.3 ผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้ม โอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร.....	89
4.4 ค่าทางสถิติการทำนายค่าการดูดซับพลังงานของผลส้ม โอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR transmittance.....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	5
2.2 ประเภทของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	6
2.3 ตัวอย่าง NIR Spectrum ที่ไม่เรียบมีสัญญาณรบกวนแทรก.....	10
2.4 จำนวนจุดทั้งสองด้าน ( $m = 2, n = 5$ ) ของการเฉลี่ย.....	11
2.5 ผลของการเฉลี่ยเคลื่อนที่และ Savizky – Golay smooth ที่มีต่อยอดของสเปกตรัม.....	11
2.6 ตัวอย่างการใช้ Savizky – Golay smooth.....	13
2.7 ผลจากการใช้ Savizky – Golay smooth.....	13
2.8 สเปกตรัมจากการวัดที่ไม่ได้ปรับแต่ง.....	14
2.9 สเปกตรัมและ Second Derivative ของสเปกตรัม.....	15
2.10 การใช้ Second Derivative แก้ปัญหาการซ้อนกันของจุดยอดในสเปกตรัม.....	15
2.11 การใช้ First Derivative แก้ปัญหาการบวกเพิ่มที่คงที่ตลอดความยาวคลื่นของสเปกตรัม.....	16
2.12 การใช้ Second Derivative แก้ปัญหาการบวกเพิ่มที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นเป็นเส้นตรงมีความชันของสเปกตรัม.....	16
2.13 First Derivative ให้สเปกตรัมที่มีค่าความชันตรงกับจุดยอดของสเปกตรัมเดิม.....	17
2.14 Segment size และ Gap size ที่กำหนดในสเปกตรัมเพื่อคำนวณ Derivative.....	18
2.15 First Derivative และ Second Derivative เปรียบเทียบกับสเปกตรัมเริ่มต้น.....	19
2.16 กราฟที่มีความชันเปลี่ยนแปลงไปเปรียบเสมือนเส้นตรงนั้นหมุน.....	20
2.17 ตัวอย่างแป้งที่มีอนุภาคแตกต่างกัน 3 ขนาดแต่มีค่าทางเคมีเท่ากัน.....	21
2.18 NIR สเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect ก่อนการปรับแก้ด้วย MSC.....	21
2.19 พล็อตระหว่างค่า $\log(1/R)$ ของสเปกตรัมของตัวอย่างที่ 38 (แกน Y) กับค่า $\log(1/R)$ ของสเปกตรัมเฉลี่ย (แกน X).....	22
2.20 NIR สเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect หลังการปรับแก้ด้วย MSC.....	23
2.21 การสร้างปัจจัยหรือตัวแปรใหม่ 3 ตัวแปร (Factor 1 2 และ 3) จากตัวแปรเดิมที่มีอยู่ 9 ตัวแปร ( $v_1, v_2, \dots, v_9$ ).....	25
2.22 ตัวแปรใหม่ 3 ตัวแปรที่สร้างขึ้นมาจากตัวแปรเดิมทั้งหมด 9 ตัวแปร.....	25
2.23 PCA ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรใหม่กับข้อมูลในตัวแปรเดิมของตัวแปรอิสระ.....	25
2.24 การนำคะแนนปัจจัยที่หาได้ (Factor Score : F) ไปใช้ในการทำนายค่าตัวแปรตาม.....	27
2.25 PLS ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรใหม่กับข้อมูลในตัวแปรเดิมทั้งที่เป็นตัวแปร.....	27
2.26 ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในสมการ linear regression.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 ตัวอย่างของความชื้น.....	32
3.1 การวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งในห้องเย็น.....	40
3.2 การเคลือบผิวส้มโอด้วยสารเคลือบผิว.....	40
3.3 เครื่อง FQA NIR GUN.....	42
3.4 ตำแหน่งวัดสเปกตรัม 5 จุดบนผลส้มโอ.....	43
3.5 การตรวจวัดสเปกตรัมผลส้มโอด้วยเครื่อง FQA NIR GUN.....	43
3.6 เครื่อง NIR Transmittance.....	44
3.7 การวัดสเปกตรัมของผลส้มโอด้วยเครื่อง NIR Transmittance.....	44
3.8 การวัดขนาดผลส้มโอด้วย Vernier Height Gauge Mitsutoyo.....	45
3.9 การชั่งน้ำหนักผลส้มโอด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ OHAUSS รุ่น ARC 120ขนาด 3000 กรัม.....	46
3.10 การชั่งน้ำหนักผลส้มโอในน้ำโดยเครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 60 กิโลกรัม.....	47
3.11 การทดลองวัดสีของผลส้มโอโดยเครื่องวัดสี Hunter Lab MiniScan XE Plus.....	49
3.12 การทดลองตรวจสอบเนื้อสัมผัสของผลส้มโอด้วยวิธีการทดสอบแบบ Puncture Test.....	50
3.13 การทดลองตรวจสอบเนื้อสัมผัสของผลส้มโอด้วยวิธีการทดสอบแบบ Plate Compression Test.....	50
3.14 การปรับอุณหภูมิเนื้อส้มโอด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ.....	52
3.15 การทดลองตรวจวัดสเปกตรัมของเนื้อส้มโอด้วย FQA NIR GUN.....	52
3.16 การทดลองวัดสีของเนื้อส้มโอ โดยเครื่องวัดสี Hunter Lab MiniScan XE Plus.....	53
3.17 การทดลองตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเนื้อส้มโอ.....	54
3.18 การทดลองหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้.....	55
3.19 เครื่อง pH meter แบบหัวจุ่ม HANNA HI 8521.....	56
3.20 การทดลองวัดค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ (pH) ของน้ำส้มโอและการทดลองหาปริมาณกรดในน้ำส้มโอ.....	57
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของส้มโอกับระยะเวลาในการเพิ่มของอุณหภูมิ.....	62
4.2 จุดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของห้องเย็นบนไซโครเมทริกส์ชาร์ท โดยได้ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 70 % RH.....	63
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีทำเนาไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก ปริมาตรและความหนาแน่นของผลส้ม ไอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	65
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $L^*$ , $a^*$ และ $b^*$ ของผลส้ม ไอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	66
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $L^*$ , $a^*$ และ $b^*$ ของเนื้อส้ม ไอด้านที่ 1 กับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	66
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $L^*$ , $a^*$ และ $b^*$ ของเนื้อส้ม ไอด้านที่ 3 กับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	67
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางในการกดที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลจากวิธี Puncture test.....	68
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางในการกดที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลจากวิธี Compress test.....	69
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาในการกดที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลจากวิธี Compress test.....	69
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางในการกดที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของเนื้อส้ม ไอจากวิธี Puncture test.....	70
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อเริ่มต้นของผลส้ม ไอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	71
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลส้ม ไอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	71
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับพลังงานและอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลส้ม ไอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	72
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับความยืดหยุ่นและการคลายความเค้นของผลส้ม ไอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	72
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อเริ่มต้นและความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลส้ม ไอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	73
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงชีวคอรากและระยะทางที่ทำให้เกิดแรงชีวคอรากของผลส้ม ไอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	74
4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ทำให้เปลือกทะลุและระยะทางที่ทำให้เปลือกทะลุของผลส้ม ไอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอ และพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	75
4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในเนื้อส้มโอและพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในเนื้อส้มโอของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	76
4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวของเปลือกผลส้มโอและแรงที่ใช้ในการแทงทะลุเปลือกเนื้อส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา.....	77
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ทำให้เนื้อทะลุกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้มโอด้านที่ 1.....	77
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ทำให้เนื้อทะลุกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้มโอด้านที่ 3.....	78
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉลี่ยที่ทำให้เนื้อทะลุกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้มโอด้านที่ 1.....	78
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉลี่ยที่ทำให้เนื้อทะลุกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้มโอด้านที่ 3.....	79
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวของเนื้อส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้มโอด้านที่ 1.....	79
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวของเนื้อส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้มโอด้านที่ 3.....	80
4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) กับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 1.....	81
4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) กับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 3.....	81
4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณที่ไตเตรทได้กับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 1.....	82
4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณที่ไตเตรทได้กับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 3.....	82
4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soluble solid constant (% Brix) ต่อ ปริมาณที่ไตเตรทได้กับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 1.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า  
ระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 1.....

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soluble solid constant (% Brix) ต่อ ปริมาณที่ไตเตรทได้กับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 3.....	83
4.34 สเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) ของผลส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance.....	84
4.35 สเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) จากการปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร ของผลส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance.....	85
4.36 สเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) ของผลส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN.....	86
4.37 สเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร ของผลส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN.....	86
4.38 สเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) ของเนื้อส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN.....	87
4.39 สเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร ของเนื้อส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN.....	87
4.40 กราฟ Linear Regression ของค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอที่ถูกทำนายด้วยแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตร กับค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอที่วัดจากการทดสอบเชิงกลแบบ Compression test.....	94
4.41 กราฟ Regression Coefficients ของแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตรของค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอ.....	95
4.42 กราฟ X-loading ของแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตรของค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอ.....	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรายงานพื้นที่ปลูกในปี 2548 มากกว่า 210,000 ไร่ เนื้อที่ให้ผล 192,103 ไร่ 64,093 ครัวเรือน และมีผลผลิตปีละประมาณ 276,628 ตัน มีมูลค่าโดยรวมประมาณ 4,700 ล้านบาท (องค์การตลาดเพื่อการเกษตร. 2549) นับเป็นรายได้มหาศาลของเกษตรกร อีกทั้งส้มโอยังเป็นผลไม้ที่สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานานจึงเป็นผลไม้ที่เหมาะสมสำหรับการส่งออกไปยังประเทศที่มีระยะทางไกลเนื่องจากเปลือกของส้มโอที่มีความหนาสามารถทนต่อการขนส่งในระยะไกลได้ดี

การวิจัยนี้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอที่เก็บรักษาสำหรับการส่งออกโดยวิธีไม่ทำลาย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นไปได้ยากที่เกษตรกรจะสามารถทราบถึงคุณภาพของส้มโอที่เก็บรักษาเพื่อส่งออกได้ และอาจเกิดความผิดพลาดในการคัดแยกคุณภาพตามที่กลุ่มลูกค้าคือประเทศผู้นำเข้าส้มโอต้องการ จะต้องมีส้มโอที่มีคุณภาพที่เป็นที่ต้องการและ ไม่เป็นที่ต้องการของประเทศผู้นำเข้าส้มโอปะปนกันอย่างแน่นอน ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่พึงพอใจแก่ผู้บริโภค ขยายไม่ได้ และทำให้ถูกปฏิเสธจากประเทศผู้นำเข้าส้มโอได้ในครั้งต่อไป ซึ่งผลกระทบที่จะเกิดขึ้นคือ การชะลอตัวของการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ เกิดปัญหาส้มโอด้านตลาด และเกษตรกรผู้ปลูกขาดทุนและเลิกปลูกส้มโอ ดังนั้นการตรวจสอบสมบัติ ทั้งภายในและภายนอก ก่อนการส่งออกนั้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง แต่การใช้แรงงานคนก็ต้องการแรงงานที่มีความเชี่ยวชาญในการตรวจสอบมากและต้องมีจำนวนมาก จึงจะทำงานเสร็จทันเวลาและผิดพลาดน้อย

การวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีเพื่อนำมาตรวจสอบสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอเพื่อการส่งออกโดยไม่ทำลาย ซึ่งคาดว่าจะสามารถประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ที่ เพื่อให้เกิดความแม่นยำในแยก ระดับคุณภาพของส้มโอที่ส่งไปยังประเทศต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ เพื่อให้เกิดความพึงพอใจแก่กลุ่มประเทศผู้นำเข้าส้มโอจากประเทศไทย และยังเป็น การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้เพื่อพัฒนาการเกษตรซึ่งเป็นรากฐานของประเทศให้มีความมั่นคงและทันสมัยขึ้น

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (NIR Spectroscopy) ในการประเมินสมบัติภายในและภายนอกส้มโอเพื่อการส่งออกที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ต่างๆ

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองในการประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอเพื่อการส่งออกที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ

1.2.3 เพื่อศึกษาการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (NIR Spectroscopy) ด้วยวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) และวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) คัดแยกกลุ่มส้มโอที่มีการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

เป็นการศึกษาการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีในการตรวจสอบสมบัติทั้งภายในและภายนอกของส้มโอที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกันเพื่อการส่งออกในการทำวิจัยนั้นมีแนวทางการวิจัย ดังนี้

1. พันธุ์ส้มโอที่ใช้ในการวิจัยคือ พันธุ์ ขาวน้ำผึ้ง ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณการส่งออกสูง
2. การเก็บรักษาส้มโอใช้วิธีการเก็บในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยก่อนนำเข้าห้องเย็นนั้นจะทำการเคลือบผิวส้มโอด้วยสารเคลือบผิว ซึ่งเป็นวิธีการเก็บรักษาในเชิงการค้าเพื่อการส่งออก (จริงแท้ ศิริพานิช, 2531)
3. ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีด้วยวิธีการแบบ Interactance ในช่วงความยาวคลื่น 600-1100 นาโนเมตร และวิธีการแบบ ที่ในการตรวจสอบคุณภาพภายในและภายนอกของส้มโอเพื่อการส่งออก ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำ รวดเร็ว ลดการใช้สารเคมีได้จริง ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น การตรวจสอบสมบัติของแอปเปิลพันธุ์ Royal Gala ที่ระยะเวลาก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งใช้ช่วงความยาวคลื่นที่ 500 – 1100 นาโนเมตร ผลที่ได้นั้นสามารถตรวจสอบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ค่อนข้างแม่นยำ (V. A. McGlone et al., 2002) การใช้ประโยชน์เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีกับผลไม้เขตร้อน : ช่วงความยาวคลื่นและเครื่องมือสำหรับการประเมินคุณภาพของผลมะม่วงสด ซึ่งใช้ช่วงความยาวคลื่นที่ 700 – 1100 นาโนเมตร และที่ช่วงความยาวคลื่นที่ 1100 – 2500 นาโนเมตร เพื่อทำการเปรียบเทียบกัน และผลที่ได้ในช่วงความยาวคลื่นที่ 700 – 1100 นาโนเมตรสามารถใช้ตรวจสอบดัชนีความหวาน (Brix) และดัชนีความแก่ (Dry matter (DM) ) ได้อย่างแม่นยำโดยไม่ทำลาย (สิรินนภา ศรีณย์วงศ์, 2545)
4. การแบ่งกลุ่มตัวอย่างส้มโอจะแบ่งออกเป็นที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 9 ระยะใน 4 เดือน โดยแต่ละกลุ่มตัวอย่างนั้นจะมีระยะเวลาห่างกัน 15 วัน และแต่ละกลุ่มตัวอย่างนั้นมีจำนวนตัวอย่างส้มโอกลุ่มละ 20 ผล ซึ่งรวมเป็นทั้งสิ้นต้องใช้ส้มโอ 180 ผล
5. คุณภาพของส้มโอที่ทำการวิเคราะห์คือ คุณภาพภายนอกซึ่งได้แก่ วัดค่าสมบัติภายนอกซึ่งได้แก่ สี ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่น ส่วนสมบัติภายในนั้นได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid) ความเป็นกรด (Acidity) และรวมทั้งคุณสมบัติเชิงกลอื่นๆ ด้วย
6. สร้างแบบจำลองในการทำนายจาก Optical data ที่ได้จาก Spectrum กับค่าสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อให้ได้แบบจำลองในการทำนายที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงในการตรวจสอบค่าสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการส่งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารวิจัยเผยแพร่โดยกัรตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ หรือนานาชาติ เพื่อ  
ไม่ถ่ายทอดความรู้แก่เกษตรกรและผู้ส่งออกส้มโอและนักวิจัยที่สนใจอื่นๆ สามารถทราบถึง

แนวทางและประโยชน์ของการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีในการตรวจสอบสมบัติของส้มโอและผลไม้ชนิดอื่นๆอย่างเป็นที่แพร่หลาย

8. ระยะเวลาในการทำวิจัยซึ่งอาจจะเกินกว่าที่กำหนดไว้ที่ระยะเวลา 18 เดือนสาเหตุอาจจะเนื่องมาจากการคลาดเคลื่อนของช่วงเวลาในการเก็บส้มโอจากสวนซึ่งระยะเวลาการเก็บส้มโอนั้นจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลที่เหมาะสม, ความบริบูรณ์ของส้มโอเชิงการค้าเพื่อการส่งออก และอีกสิ่งหนึ่งนั่นคือปริมาณส้มโอที่ออกผลในฤดูกาลนั้นๆ

9. งบประมาณนั้นก็มีส่วนที่เกี่ยวข้องซึ่งอาจจะเกินจากที่กำหนดไว้ซึ่งตรงจุดนี้อาจจะเกินไปกับค่าใช้จ่าย อาทิเช่น ค่าน้ำมันรถในการไปเก็บส้มโอ, ค่าส้มโอ, ค่าสารเคมีต่างๆ เป็นต้น ซึ่งราคานั้นอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา

#### 1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. เตรียมตัวอย่างส้มโอที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเชิงการค้าเพื่อการส่งออกจำนวน 180 ผล ซึ่งพันธุ์ส้มโอที่ใช้คือพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง
2. นำส้มโอที่เตรียมไว้มาเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมไว้
3. นำส้มโอที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวแล้วนั้นเก็บเข้าสู่ห้องเย็นที่เตรียมไว้โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาคือที่ 10 องศาเซลเซียส
4. นำส้มโอที่เก็บรักษาในห้องเย็นออกมาเพื่อทำการทดลองวัดสเปกตรัมด้วยเครื่องมือวัด โดยที่จะนำออกมาจากห้องเย็นทุกๆ 15 วันครั้งละ 20 ผล เป็นจำนวน 9 ครั้ง
5. หลังจากวัดสเปกตรัมแล้วจะนำมาวัดค่าสมบัติภายนอกซึ่งได้แก่ สี ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่น ส่วนสมบัติภายในนั้น ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid) ความเป็นกรด (Acidity) และรวมทั้งคุณสมบัติเชิงกลอื่นๆ ด้วย
6. นำค่าสเปกตรัมที่ได้มาสร้างแบบจำลองในการทำนายค่าสมบัติด้วยโปรแกรมทางสถิติ และนำแบบจำลองที่ได้มาทำนายค่าสมบัติต่างๆ
7. นำสเปกตรัมของส้มโอกลุ่มระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ มาสร้างแบบจำลองในการคัดแยกกลุ่มโดยวิธี SIMCA และ PLS-DA และนำแบบจำลองที่ได้ทำนายกลุ่มส้มโอที่มีระยะเวลาในการเก็บรักษาต่างๆ
8. สรุปและวิเคราะห์ผลเพื่อทำรายงาน

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (NIR Spectroscopy)

#### 2.1.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Anonymous. 2007)

ธรรมชาติของ “แสง” แสดงพฤติกรรมเป็นทั้ง “คลื่น” และ “อนุภาค” เมื่อเรากล่าวถึงแสงในคุณสมบัติความเป็นคลื่น เราเรียกว่า “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า” (Electromagnetic waves) ซึ่งประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าทำมุมตั้งฉาก และเคลื่อนที่ไปในอวกาศด้วยความเร็ว 300,000,000 เมตร/วินาที เมื่อเรากล่าวถึงแสงในคุณสมบัติของอนุภาค เราเรียกว่า “โฟตอน” (Photon) เป็นอนุภาคที่ไม่มีมวลแต่เป็นพลังงานและพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นสามารถหาได้จากสมการนี้

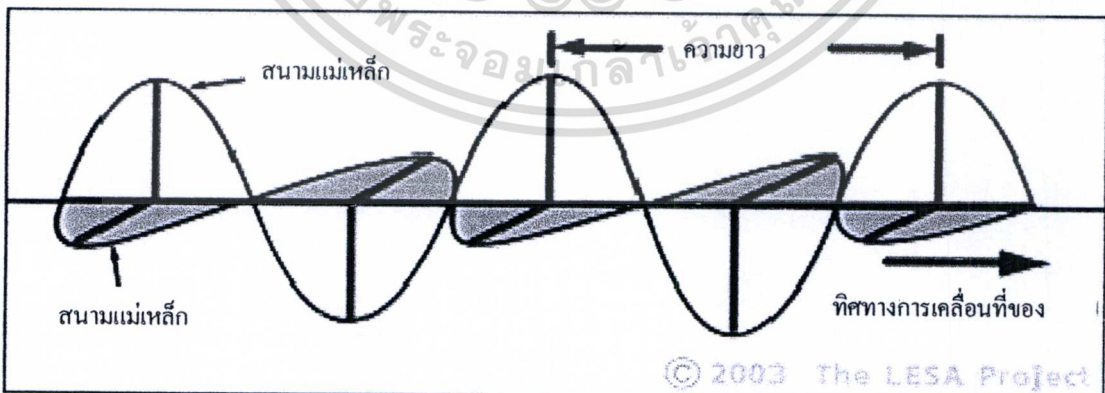
$$E \propto \nu \propto \frac{1}{\lambda} \quad (2.1)$$

โดยที่

E คือ ค่าพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

$\nu$  คือ ความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

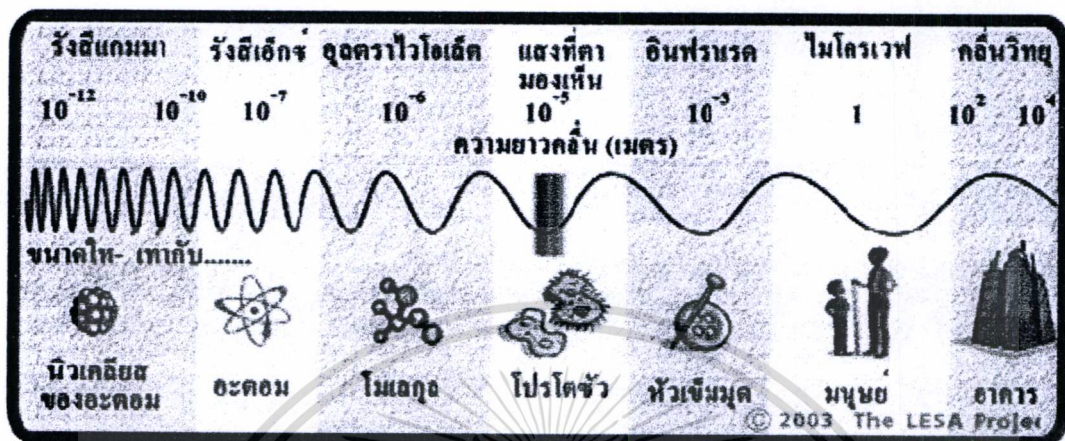


รูปที่ 2.1 คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Anonymous. 2007)

แสงที่ตามองเห็น (Visible light) เป็นเพียงส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงซึ่ง

ประสาทตาของมนุษย์สามารถสัมผัสได้ ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร (1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เมตร = 1,000,000,000 นาโนเมตร) หากนำแท่งแก้วปริซึม (Prism) มาหักเหแสงอาทิตย์ เราจะเห็นไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าแสงสีขาวถูกหักเหออกเป็นสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง คล้ายกับสีของรุ้งกินน้ำ เรียกว่า “สเปกตรัม” (Spectrum) แสงแต่ละสีมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน สีม่วงมีความยาวคลื่นน้อยที่สุด สีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุด



รูปที่ 2.2 ประเภทของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Anonymous. 2007)

นอกจากแสงที่ตามองเห็นแล้วยังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ได้แก่ รังสีที่มีความยาวคลื่นถัดจากสีแดงออกไปเราเรียกว่า “รังสีอินฟราเรด” หรือ “รังสีความร้อน” เรามองไม่เห็นรังสีอินฟราเรด แต่เรารู้สึกถึงความร้อนได้ สัตว์บางชนิด เช่น งู มีประสาทสัมผัสรังสีอินฟราเรด มันสามารถทราบตำแหน่งของเหยื่อได้โดยการสัมผัสรังสีอินฟราเรดซึ่งแผ่ออกมาจากร่างกายของเหยื่อ รังสีที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสงสีม่วงเรียกว่า “รังสีอุตราไวโอเล็ต” แม้ว่าเราจะมองไม่เห็น แต่เมื่อเราดูดแดดนานๆผิวหนังจะไหม้ด้วยรังสีชนิดนี้นอกจากรังสีอุตราไวโอเล็ตและรังสีอินฟราเรดแล้วยังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทอื่นๆซึ่งเรียงลำดับตามความยาวคลื่นได้ดังนี้

1. รังสีแกมมา (Gamma ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.01 นาโนเมตร โฟตอนของรังสีแกมมามีพลังงานสูงมาก กำเนิดจากแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ เช่น ดาวระเบิดหรือระเบิดปรมาณูเป็นอันตรายมากต่อสิ่งมีชีวิต

2. รังสีเอ็กซ์ (X-ray) มีความยาวคลื่น 0.01 - 1 นาโนเมตร มีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติมาจากดวงอาทิตย์ เราใช้รังสีเอ็กซ์ในทางการแพทย์ เพื่อส่องผ่านเซลล์เนื้อเยื่อ แต่ถ้าได้ร่างกายได้รับรังสีนี้มากก็จะเป็นอันตราย

3. รังสีอุตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) มีความยาวคลื่น 1 - 400 นาโนเมตร รังสีอุตราไวโอเล็ตมีอยู่ในแสงอาทิตย์ เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แต่หากได้รับมากเกินไปก็จะทำให้ผิวไหม้และอาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง

4. แสงที่ตามองเห็น (Visible light) มีความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร พลังงานที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ ส่วนมากเป็นรังสีในช่วงนี้ แสงแดดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และยังช่วยในการสังเคราะห์แสงของพืช ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) มีความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร – 1 มิลลิเมตร โลกและสิ่งมีชีวิตแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา ก๊าซเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ในบรรยากาศดูดซับรังสีนี้ไว้ทำให้โลกมีความอบอุ่นเหมาะกับการดำรงชีวิต

6. คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) มีความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร – 10 เซนติเมตร ใช้ประโยชน์ในด้านโทรคมนาคมระยะไกลนอกจากนั้นยังนำมาประยุกต์สร้างพลังงานในเตาอบอาหาร

7. คลื่นวิทยุ (Radio wave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด คลื่นวิทยุสามารถเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศได้ จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการสื่อสาร โทรคมนาคม

2.1.2 หลักการดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดของโมเลกุลสารอินทรีย์ (นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, 2545 : 42 – 48)

ช่วงคลื่นอินฟราเรด (0.78 – 1000  $\mu\text{m}$ ) อยู่ระหว่างช่วงวิสิเบิลและช่วงคลื่นไมโครเวฟ (เทคนิคเนียร์อินสเปกโตรสโคปีนิยมใช้หน่วยความยาวคลื่นเป็นจำนวนคลื่นหรือเลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ ) หรือ wave number) ช่วงคลื่นอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความยาวและจำนวนคลื่นของช่วงคลื่นอินฟราเรด (นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, 2545)

ช่วงคลื่น	ช่วงความยาวคลื่น ( $\mu\text{m}$ )	จำนวนคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	0.78 – 2.5	12800 – 4000
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR or Fundamental IR)	2.5 – 50	4000 – 200
อินฟราเรดย่านไกล (far IR)	50 – 1000	200 – 10

ช่วงคลื่นอินฟราเรดถูกนำมาใช้มากอยู่ในช่วง 4000 – 670  $\text{cm}^{-1}$  สำหรับช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านกลางจะให้แถบการดูดกลืน (absorption bands) ที่ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของหมู่ฟังก์ชัน และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของโมเลกุล

ช่วงคลื่นอินฟราเรดมีพลังงานไม่พอเพียงที่จะทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลเกิดการทรานซิชันได้ แต่ทำให้เกิดการทรานซิชันของการสั่น (vibration transition) ของโมเลกุล สเปกตรัมที่ได้มีลักษณะเป็นแถบที่แคบและอยู่ใกล้กันมากหรือมีการซ้อนกันของสเปกตรัม อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดทรานซิชันระหว่างระดับพลังงานของการสั่นต้องมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของการหมุนด้วยเสมอ ดังนั้นจึงไม่ค่อยเห็นสเปกตรัมของการสั่นอย่างเดียว (pure vibrational spectrum)

แต่อาจเห็นสเปกตรัมการหมุนอย่างเดียวได้ (pure rotational spectrum) เพราะช่วงกว้างระหว่างระดับพลังงานของการหมุนน้อยกว่าของระดับพลังงานการสั่นมาก สำหรับสารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง และของเหลวเกิดการสั่นตลอดเวลาจึงให้อินฟราเรดสเปกตรัมได้แต่ไม่ให้ไมโครเวฟสเปกตรัมของของแข็งและของเหลว เพราะโมเลกุลหมุนได้น้อย การดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรดของโมเลกุลนั้น มีข้อกำหนดที่สำคัญ 2 ประการ ดังนี้

1. โมเลกุลที่กำลังสั่นนั้นต้องเกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment) ภายในโมเลกุล ดังนั้น โมเลกุลที่ประกอบด้วยสองอะตอมที่เหมือนกัน เช่น  $N_2$ ,  $O_2$ , และ  $Cl_2$  จะไม่ให้อินฟราเรดสเปกตรัม

สรุปได้ว่า การที่โมเลกุลใดๆ จะดูดกลืนช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดได้นั้น จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่ในระหว่างที่โมเลกุลนั้นเกิดการสั่น ดังนั้น โมเลกุลของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มีความหนาแน่นของประจุ (charge density) แตกต่างกันระหว่างอะตอมทั้งสอง จะให้แถบดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดได้ เรียกโมเลกุลเหล่านี้ว่า IR – active สำหรับโมเลกุลที่ประกอบด้วยสองอะตอมที่เหมือนกัน จึงไม่มีความแตกต่างของความหนาแน่นของประจุ การสั่นของโมเลกุลดังกล่าวจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่ จึงไม่ให้แถบดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรด เรียกโมเลกุลเหล่านี้ว่า IR – inactive

2. พลังงานของคลื่นแสงอินฟราเรดที่ให้กับ โมเลกุลจะต้องมีค่าพอดีกับผลต่างของระดับพลังงานของการสั่นที่เกี่ยวข้องกับการทรานซิชัน

ตำแหน่งของอะตอมต่างๆ ในโมเลกุลที่มาสร้างพันธะกันนั้น ไม่ได้อยู่นิ่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปแบบต่อเนื่องตลอดเวลา ทั้งนี้เพราะ โมเลกุลเกิดการสั่นอันเนื่องมาจากการยืดและการงอ

การสั่นอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงพันธะของ โมเลกุล เรียกว่าการสั่นแบบยืด (stretching or valance vibration) ทำให้พันธะยืดออกหรือหดตัวสั้นลง การสั่นแบบยืดยังมี 2 แบบคือการยืดแบบมีสมมาตร (symmetric, sym) และการยืดแบบปฏิสมมาตร (asymmetric, asym)

การยืด (stretching หรือ valency vibration) เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวระหว่างอะตอมที่สร้างพันธะกันอาจจะเกิดสมมาตร (symmetric) กับไม่สมมาตร (asymmetric) หรือแบบปฏิสมมาตร

การสั่นอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงมุมพันธะในโมเลกุล เรียกว่าการสั่นแบบงอ (bending) หรือการสั่นผิดรูป (deformation) ซึ่งมีด้วยกัน 4 แบบคือ การงอแบบตะไกรภายในระนาบ (in – plane scissoring) การงอแบบโคลงภายในระนาบ (in – plane rocking) การงอแบบกระดิกออกนอกระนาบ (out – of – plane wagging) และการงอแบบบิด (out – of – plane twisting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไวเบรชันนัลทรานซิชัน (vibration transition) และให้แถบดูดกลืนแสงเป็นพีกแคบๆ พลังงานจากคลื่นแสงอินฟราเรดที่ถ่ายเทให้กับพันธะของโมเลกุลจะไปเพิ่มแอมพลิจูดของการสั่นในโมเลกุลนั้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าเกิดการเรโซแนนซ์ นั่นคือโมเลกุลจะมีพลังงานมากกว่าปกติ (โมเลกุลอยู่ในสภาวะเร้า) และ โมเลกุลจะกลับสู่สภาวะพื้นโดยการปล่อยพลังงานในรูปความร้อนออกมา

การคำนวณจำนวนแบบของการสั่นแบบพื้นฐาน (fundamental vibration) ตามทฤษฎีของโมเลกุลอาจคำนวณได้ดังนี้

สำหรับ โมเลกุลที่มีโครงสร้างไม่เป็นเส้นตรง (nonlinear molecule) ที่มี  $N$  อะตอม

$$\text{จำนวนแบบของการสั่น} = 3N - 6 \quad (2.2)$$

จะประกอบด้วย การเคลื่อนที่ (translation motion) 3 แบบ และการหมุนอีก 2 แบบ ตามแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$

สำหรับ โมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง (linear molecule) ที่มี  $N$  อะตอม

$$\text{จำนวนแบบของการสั่น} = 3N - 5 \quad (2.3)$$

จะประกอบด้วย การเคลื่อนที่ (translation motion) 3 แบบ และการหมุนอีก 2 แบบ ตามแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$

จำนวนแบบของการสั่นแบบพื้นฐานที่ได้จากอินฟราเรดสเปกตรัมจะไม่เท่ากับที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตรข้างต้น ส่วนมากจะพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมที่มีแถบการดูดกลืนแสงน้อยกว่าที่คำนวณได้

สำหรับอินฟราเรดสเปกตรัมที่มีแถบการดูดกลืนแสงมากกว่าที่คำนวณได้นั้น พบว่านอกเหนือจากการสั่นแบบพื้นฐานแล้ว ยังมีการสั่นแบบโอเวอร์โทน (overtone หรือ harmonic vibration) การสั่นแบบรวม (combination tone vibration) และการสั่นแบบผลต่าง (difference tone vibration)

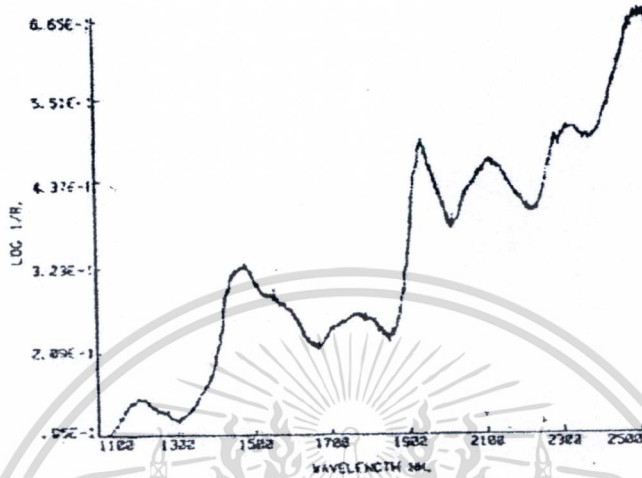
## 2.2 ทฤษฎี chemometric

2.2.1 วิธีการปรับแต่ง NIR Spectra ก่อนการวิเคราะห์ (อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล, 2545 : 78 – 96)

### 1. การลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมนั้นจะถูกออกแบบให้มีความคลาดเคลื่อนในการวัดค่า  $\log(1/R)$  และค่าความยาวคลื่นที่ต่ำ ในการวัดบางครั้งอาจมีสัญญาณรบกวนแทรกเข้ามา ซึ่งอาจเกิดจากสนามแม่เหล็กหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผลให้สเปกตรัมที่ได้ไม่เรียบ (ดังรูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ตัวอย่าง NIR Spectrum ที่ไม่เรียบมีสัญญาณรบกวนแทรก (อนุพันธ์ เทอดวงศักรกุล. 2545 : 78 อ้างจาก Hruschka. 1987)

สำหรับวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำมาใช้ลดสัญญาณรบกวนได้ที่นิยมใช้คือ

1. การเฉลี่ยค่าเคลื่อนที่ (Running Mean Smooth or N – Point Smooth)

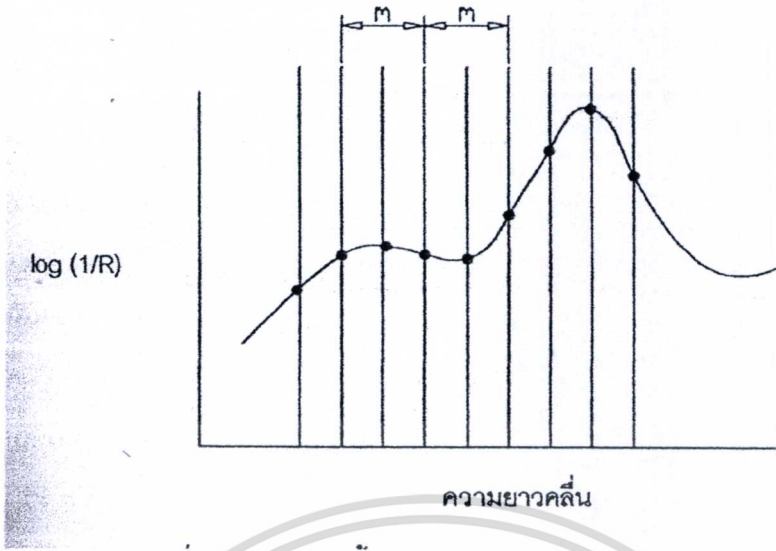
หลักการของวิธีนี้คือ การแทนค่า  $\log(1/R)$  แต่ละความยาวคลื่น ด้วยค่าเฉลี่ยของ  $\log(1/R)$  ในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วงตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ จำนวนจุดที่นำมาแทนที่คือ

$$n = 2m + 1 \quad (2.4)$$

โดยที่  $m$  คือ จำนวนของจุดทั้งสองด้านของจุดศูนย์กลาง

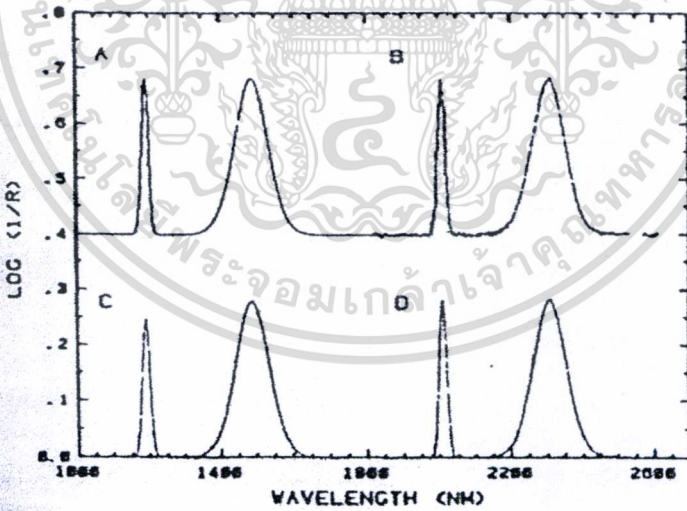
รูปที่ 2.4 เลือก  $m = 2$  ซึ่งจะได้  $n = 2 \times 2 + 1 = 5$  จุด การเฉลี่ยเริ่มจากการนำค่า  $\log(1/R)$  ของทั้ง 5 จุดมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยมาสร้างสเปกตรัมใหม่โดยในช่วงความยาวคลื่นแรก (ความยาวคลื่นแรกถึงความคลื่นที่ 5) โดยนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวมาเป็นค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นที่จุดศูนย์กลางช่วง จากนั้นจะเลื่อนช่วงไปทางขวาหนึ่งจุด แล้วคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่นข้อมูลสเปกตรัมที่สร้างใหม่จะมีจำนวนข้อมูลช่วงเริ่มต้นหายไป  $m$  ข้อมูลและท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 จำนวนจุดทั้งสองด้าน ( $m = 2, n = 5$ ) ของการเฉลี่ย  
(อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุล. 2545 : 79)

วิธีนี้จะทำให้ค่า  $\log(1/R)$  ของสเปกตรัมที่เป็นยอดแหลม (narrow peaks) มีขนาดลดลง ส่วนสเปกตรัมที่ยอดมีฐานกว้างจะมีขนาดคงเดิม (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 ผลของการเฉลี่ยเคลื่อนที่และ Savitky – Golay smooth ที่มีต่อยอดของสเปกตรัม  
A) NIR สเปกตรัมเริ่มต้น B) สเปกตรัมที่มีสัญญาณรบกวน C) สเปกตรัมที่ผ่านการเฉลี่ยเคลื่อนที่  
D) สเปกตรัมที่ผ่านการทำให้เรียบ โดย Savitky – Golay smooth (อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุล. 2545 : 79)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. Savitky – Golay smooth

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งจะเลือกใช้ในกรณีที่

1. ข้อมูลมีสัญญาณรบกวนมากไม่เรียบ
2. ต้องการทำให้สัญญาณเรียบและยังคงรูปของสเปกตรัมเหมือนสเปกตรัม

เริ่มต้น

3. เมื่อรูปร่างของสเปกตรัมมียอดแหลมจำนวนมาก

หลักการของวิธีคือ กำหนดข้อมูลในช่วงความยาวคลื่น ( $n = 2m + 1$ ) นำข้อมูลสเปกตรัม หรือ  $\log(1/R)$  ในช่วงที่กำหนด โดยเริ่มจากข้อมูลจำนวน  $2m + 1$  จุดแรก มาหาสมการโพลีโนเมียล ที่สามารถนำมาคำนวณค่าสเปกตรัม ที่แต่ละจุดในช่วงได้ใกล้เคียงที่สุด โดยวิธีลีสตแคว (least square) เมื่อได้สมการแล้วนำมาคำนวณค่าสเปกตรัม ที่จุดกลางช่วง แล้วนำค่าที่คำนวณไปแทนค่าสเปกตรัมที่จุดนั้น ค่าที่คำนวณได้ถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าสเปกตรัมเริ่มต้นที่ถูกแทนที่ เนื่องจากสัญญาณรบกวนได้ถูกกำจัดออกไปแล้ว ต่อไปคือ เลื่อนช่วงที่เท่ากันนี้ไปทางขวาหนึ่งจุด (ขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูล) แล้วทำซ้ำตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น จนช่วงความยาวคลื่นถูกเลื่อน ไปจนครอบคลุมความยาวคลื่นสุดท้าย สเปกตรัมที่ที่สร้างขึ้นใหม่จะมีจำนวนข้อมูลในส่วนต้นและส่วนท้าย หายไปเท่ากับ  $m$  จุด

รูปที่ 2.6 แสดงการใช้วิธี Savitky – Golay smooth เพื่อทำให้ข้อมูลเรียบขึ้น โดยเลือก  $m$  เท่ากับ 3 ดังนั้นจะมีข้อมูล 7 จุด สัญลักษณ์  $\circ$  ในรูปคือข้อมูลเดิม เส้นประในแต่ละช่วงสร้างจากสมการโพลีโนเมียลที่ใช้เป็นอันดับ 3 ในรูปนั้นแสดงช่วงที่ 1 ช่วงที่ 9 ช่วงที่ 17 และช่วงที่ 25

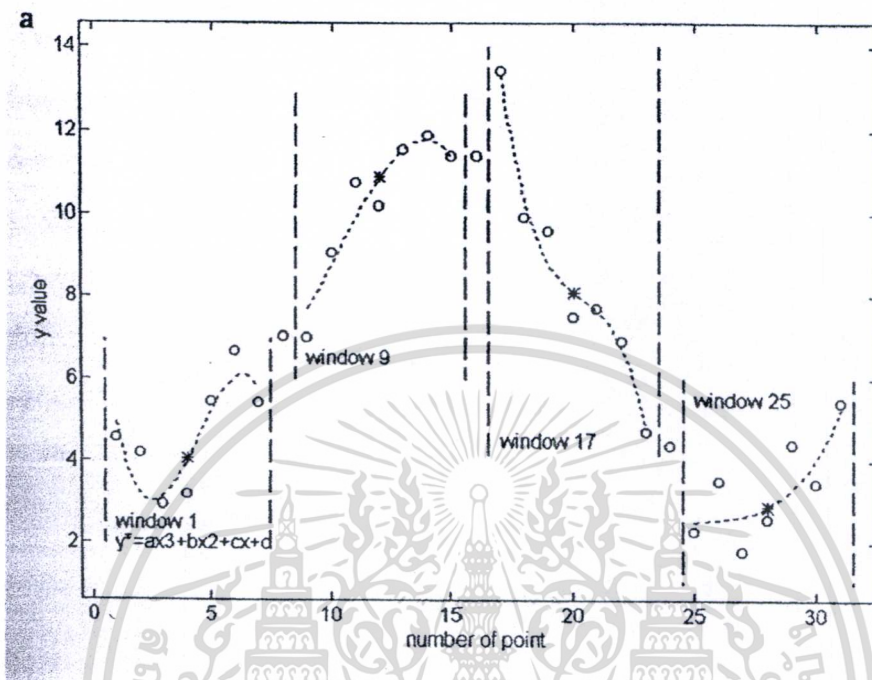
รูปที่ 2.7 เป็นผลที่ได้จากการใช้วิธี Savitky – Golay smooth ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่ (\*) มีความเรียบและความต่อเนื่องมากขึ้น เมื่อเทียบกับข้อมูลเดิม ( $\circ$ ) และจากรูปจะพบว่าข้อมูลใหม่จะไม่มี 3 จุดแรกและ 3 จุดสุดท้าย ( $m = 3$ )

### 2. การลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อค่าสเปกตรัม

ในการวัดตัวอย่างด้วยแสง NIR Spectram นั้นสเปกตรัมจะมีลักษณะเหมือนกับมีเส้นตรงที่มีความชันรวมอยู่กับสเปกตรัม หรือมีการเคลื่อนตัวในแนวแกน Y ดังแสดงในรูปที่ 2.8

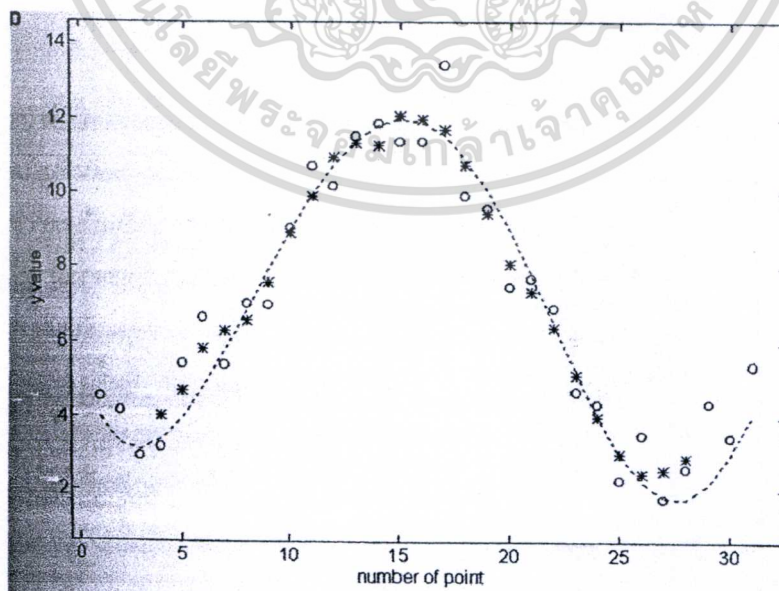
ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลดังกล่าวต่อสเปกตรัมคือ ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง (Particle size) และความชื้นในตัวอย่าง (Moisture Content) โดยปัจจัยทั้งสองนั้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการกระเจิงแสง (Scattering) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้ลำแสงเปลี่ยนทิศทางอันเป็นผลจากการสะท้อนแสง การหักเห หรือการเบี่ยงเบนแสง แสงที่เกิดการกระเจิงจะไม่ทะลุทะลวงลึกลงไป ในตัวอย่างมาก และจะสะท้อนกลับมาที่ผิวของตัวอย่างโดยแทบจะไม่มีข้อมูลการดูดกลืนแสง การกระเจิงแสงที่จะเกิดขึ้นในตัวอย่างที่มีอนุภาคเล็กๆ และทำให้ effective path length เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วการกระเจิงแสงยังขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงอีกด้วย เนื่องจากความเร็วของแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันจะไม่เหมือนกันเมื่อผ่านลงไปในตัวอย่างเป็นการคำนวณค่าสเปกตรัมได้รับผลกระทบจากอนุภาคที่แตกต่างกัน ไม่เท่ากันตลอดความยาวคลื่น โดยสเปกตรัมใช้

ที่มีความยาวคลื่นสูงจะแตกต่างกันมากกว่าสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นต่ำ ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งการลดผลกระทบดังกล่าวนั้นจะมีวิธีทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้อยู่ 2 วิธีคือ



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการใช้ Savitzky – Golay smooth โดยใช้  $m = 3$   
( $\circ$  คือ ข้อมูลเดิมและ  $*$  คือข้อมูลที่ปรับให้เรียบแล้ว)

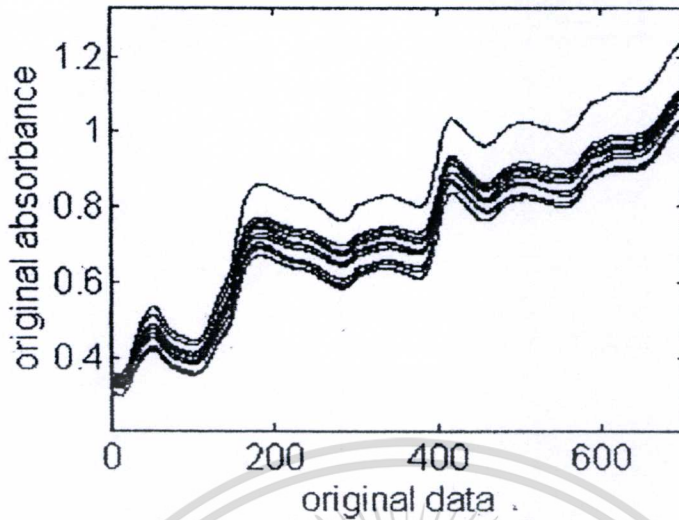
(อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล. 2545 : 81 อ้างจาก Maesschalck et al. 1999)



รูปที่ 2.7 ผลจากการใช้ Savitzky – Golay smooth

(อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล. 2545 : 81 อ้างจาก Maesschalck et al. 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

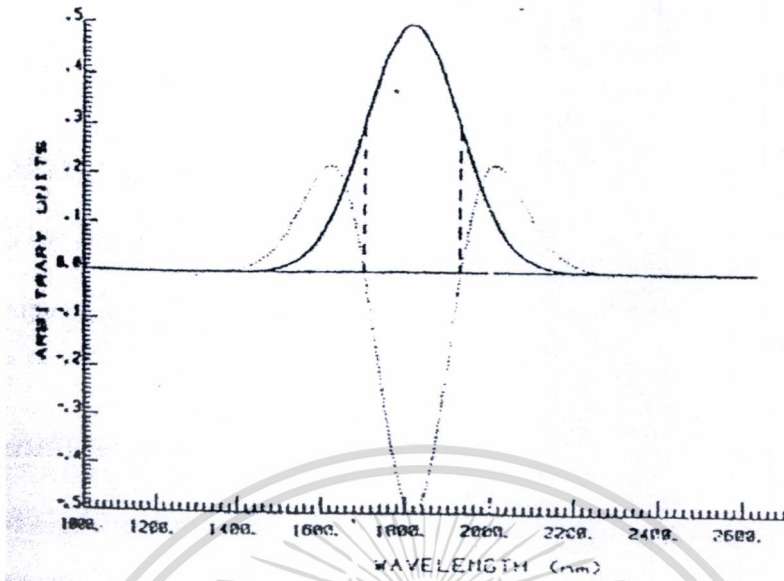


รูปที่ 2.8 สเปกตรัมจากการวัดที่ไม่ได้ปรับแต่ง  
(อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล, 2545 : 82 อ้างจาก Maesschalck et al. 1999)

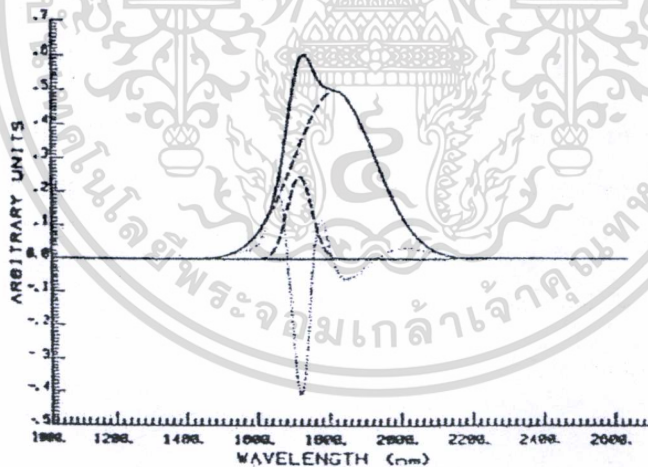
#### 1. Derivative transformation

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาการซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัม และการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัม การสร้าง Second Derivative ของสเปกตรัม จะทำให้เกิดการแยกของจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันออกมา ในรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นภาพสเปกตรัมเริ่มต้น (Absorption band) และ Second Derivative ของสเปกตรัมนั้นจะพบว่ามีจุดยอดที่เป็นบวกในส่วนซ้ายและส่วนขวาของ Second Derivative ส่วนจุดยอดตรงกลางจะมีค่าลบสูงสุดและตรงกับจุดยอดของสเปกตรัมเริ่มต้น

การแก้ปัญหาการเหลื่อมซ้อนของจุดยอดในสเปกตรัมด้วย Second Derivative แสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งจะเห็นสเปกตรัมเริ่มต้น 2 สเปกตรัม (เส้นประในรูป) มีจุดยอดใกล้เคียงกันเป็นผลให้บางส่วนของสเปกตรัมด้านขวาบวกเพิ่มกับค่าจุดยอดของสเปกตรัมทางซ้าย ทำให้เห็นว่าจุดยอดด้านซ้ายมีขนาดสูงกว่าจุดยอดด้านขวาในสเปกตรัมรวม เมื่อคำนวณ Second Derivative ของสเปกตรัมจะทำให้จุดยอดทั้งสองแตกตัวออกจากกันอย่างชัดเจน เพียงแต่จุดยอดกลับหัวเท่านั้นเอง



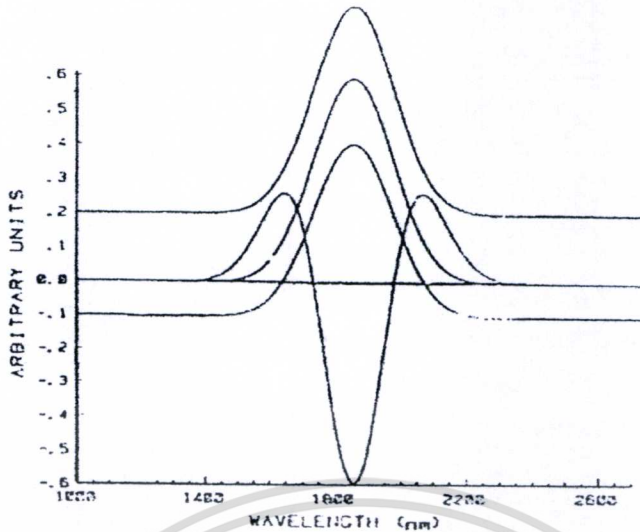
รูปที่ 2.9 สเปกตรัมและ Second Derivative ของสเปกตรัม  
(อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล, 2545 : 87 อ้างจาก Hruschka, 1987)



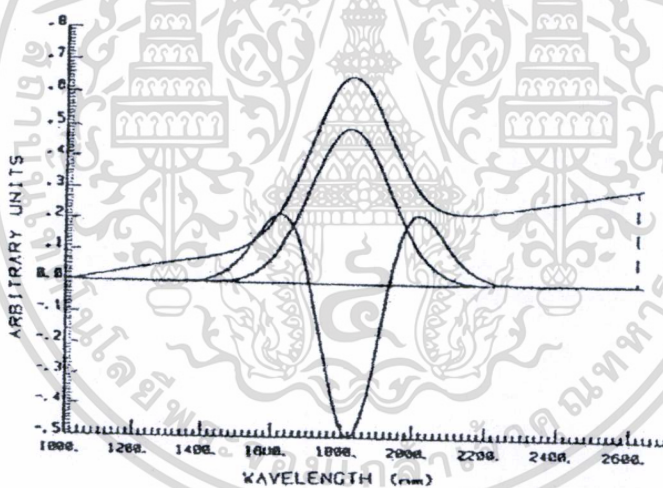
รูปที่ 2.10 การใช้ Second Derivative แก้ปัญหาการซ้อนกันของจุดยอดในสเปกตรัม  
(อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล, 2545 : 88 อ้างจาก Hruschka, 1987)

นอกจากนั้นแล้ว First Derivative ของสเปกตรัมจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้น  
คงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น (การเลื่อนตัวของสเปกตรัมตามแกน Y) อันเนื่องมาจากปัจจัยที่กล่าว  
มาแล้ว (รูปที่ 2.10) ถ้าค่าที่เพิ่มขึ้นของสเปกตรัมเนื่องมาจากปัจจัย มีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น  
หรือเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงมีความชันเป็นบวก การคำนวณ Second Derivative ลดผลกระทบดังกล่าว

ลงดังแสดงในรูป 2.11 ทั้งนี้เนื่องจาก Second Derivative ของเส้นตรงจะมีค่าเป็นศูนย์ ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การใช้ First Derivative แก้ปัญหาการบวกเพิ่มที่คงที่ตลอดความยาวคลื่นของสเปกตรัม (อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, 2545 : 88 อ้างจาก Hruschka, 1987)



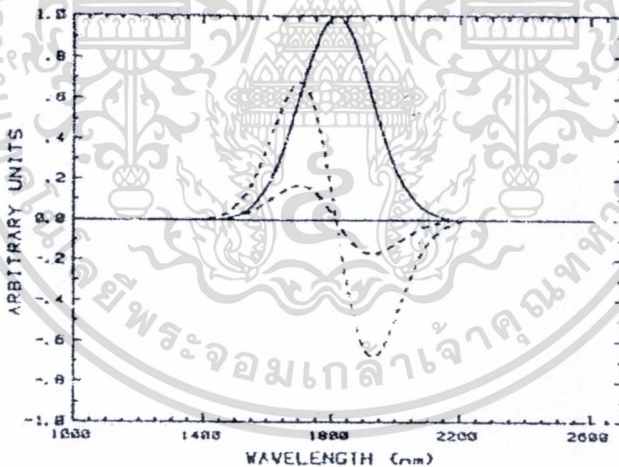
รูปที่ 2.12 การใช้ Second Derivative แก้ปัญหาการบวกเพิ่มที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น เป็นเส้นตรงมีความชันของสเปกตรัม (อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, 2545 : 89 อ้างจาก Hruschka, 1987)

การใช้ Second Derivative จะช่วยลดผลกระทบจากการกระเจิงแสง ทั้งที่เป็นผลเชิงบวกที่ทำให้ขนาดสเปกตรัมเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น และผลเชิงลบที่ทำให้ขนาดสเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น

โดยสรุปแล้วจุดเด่นของวิธีการคำนวณด้วย Second Derivative ในงาน NIR คือการแยกจุดยอดที่เหลื่อมกันในสเปกตรัมออกจากกัน และการลดผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมมีขนาดเพิ่มขึ้นตลอดช่วงความยาวคลื่น First Derivative ก็ให้ผลในลักษณะเดียวกันแต่จะชัดเจนน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม First Derivative ให้ความหมายเป็นค่าความชันของสเปกตรัม (รูปที่ 2.13) ซึ่งทำให้

แปลความหมายยาก Second Derivative จะได้รับความนิยมมากกว่า First Derivative เนื่องจากว่า Second Derivative จะให้จุดยอดตรงกับสเปกตรัมดั้งเดิม แม้ว่าจะเป็นจุดยอดกลับหัวก็ตาม ข้อดีอีกด้านของการใช้ Derivative ก็คือการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (multiple regression) เพื่อสร้างสมการ Calibration นั้น ถ้าใช้  $\log(1/R)$  ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ในสมการ ค่า  $\log(1/R)$  เหล่านั้นจะมีความสัมพันธ์ต่อกันต่ำ ซึ่งทำให้สมการไม่น่าเชื่อถือ แต่การใช้ Derivative ของ  $\log(1/R)$  แทน  $\log(1/R)$  นั้นจะไม่เกิดปัญหาดังกล่าว

Derivative อันดับที่สูงขึ้นจะช่วยกำจัดผลกระทบทั้งสองกรณีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่า Derivative อันดับที่ต่ำกว่า โดยการกำจัดการเพิ่มขึ้นทั้งเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น อย่างไรก็ตามจะมีข้อเสียคือ สเปกตรัมที่ได้จะผลจากสัญญาณรบกวนมากขึ้นตาม เนื่องจากสัญญาณรบกวนมักจะเป็นจุดยอดเล็กๆ บนสเปกตรัม ซึ่ง Derivative มีผลต่อจุดยอดแยกจากกันชัดเจนนั้นเอง จึงทำให้สัญญาณรบกวนเหล่านี้ยังคงอยู่ด้วย ดังนั้นวิธีที่ดีคือการปรับสเปกตรัมให้เรียบก่อนการคำนวณด้วย Derivative นอกจากนั้นแล้ว Derivative อันดับที่สูงให้ผลของสเปกตรัมที่แปลความหมายเทียบกับสเปกตรัมเดิมได้ลำบาก จึงไม่นิยมใช้ใน NIR และไม่ค่อยใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นแต่อย่างใดเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของ การ Calibration และ Validation



รูปที่ 2.13 First Derivative ให้สเปกตรัมที่มีค่าความชันตรงกับจุดยอดของสเปกตรัมเดิม (อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล. 2545 : 90 อ้างจาก Hruschka. 1987)

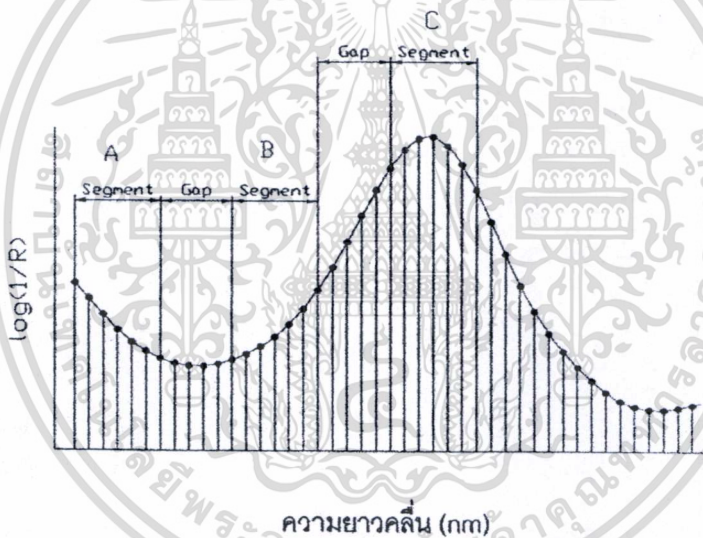
การคำนวณ Derivative หรือ ความชันของสเปกตรัม สามารถคำนวณได้วิธีหนึ่งดังนี้

$$\begin{aligned} \text{First Derivative} &= \text{Slope} \\ &= B - A \end{aligned} \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 โดยที่ A และ B เป็นค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของ Segments ที่มีช่วงเท่ากันและอยู่ติดกันครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณต้องกำหนด Segments size และ Gap size ก่อนในรูปแบบที่ 2.14 เป็นตัวอย่าง การคำนวณที่เลือก Segments size เท่ากับ 12 nm และ Gap size เท่ากับ 10 nm (ในกรณีนี้ สเปกตรัมแต่ละความยาวคลื่น หรือแต่ละจุดห่างกัน 2 nm) การคำนวณเริ่มต้นด้วย การนำ สเปกตรัมทั้ง 7 ค่าใน Segments size แรกมาบวกกันแล้วหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่า A เป็นตัวแทนของ Segment ข้ามสเปกตรัมไปเท่ากับค่าของ Gap size และคำนวณค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมอีก 7 ค่าใน Segment size ถัดไป ได้ค่า B เป็นตัวแทนของ Segment ที่สอง แล้วนำค่า A ลบออกจากค่า B ผลที่ได้ นำไปแทนค่าสเปกตรัมที่จุดเริ่มต้นของ Segment แรก ซึ่งการคำนวณจะกระทำทุก Segment ต่อเนื่องไปจนตลอดความยาวคลื่น ต่อจากนั้นจะขยับ Segment ไปทางขวา 1 จุดหรือ 2 nm ดังใน กรณีนี้ แล้วคำนวณซ้ำเหมือนกับที่กล่าวมาจนเสร็จสิ้น

First Derivative มีการใช้ได้ผลกับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอ เช่น แป้งสาลีที่บดจนละเอียด และมีการกระจายตัวของอนุภาคสม่ำเสมอทั่วถึง



รูปที่ 2.14 Segment size และ Gap size ที่กำหนดในสเปกตรัมเพื่อคำนวณ Derivative

(อนุพันธ์ เทอดดวงศักรกุล. 2545 : 91)

สำหรับการคำนวณ Second Derivative ก็คือ การคำนวณผลลบของ ค่าที่ได้จาก First Derivative ที่ติดกันนั่นเอง หรือรู้จักว่าเป็นการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัม ดัง สมการคือ

$$\text{Second Derivative} = \text{Change in slope}$$

$$= \text{First derivative แรก} - \text{First derivative ถัดมา}$$

$$= (C - B) - (B - A)$$

$$= C - 2B + A \quad (2.6)$$

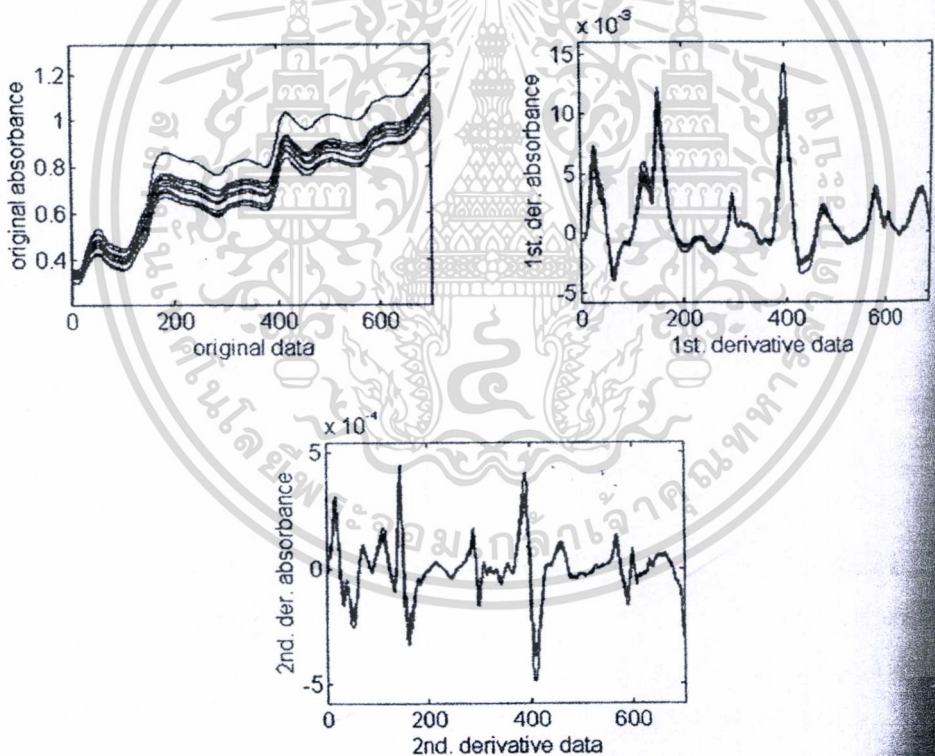
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ A, B และ C เป็นค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของ Segment ที่อยู่ติดกันและมีช่วงเท่ากัน

การคำนวณก็คล้ายกับแบบ First Derivative โดยในการคำนวณค่า Second Derivative ของจุดแรก ต้องหาค่า C ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมในช่วงที่สามหรือ C ในรูปที่ 2.14 ด้วย แล้วคำนวณผลลบของค่าเฉลี่ยใน Segment แรกและ Segment ที่สองซึ่งคือ  $B - A$  แล้วคำนวณผลลบของค่าเฉลี่ยใน Segment ที่สองและ Segment ที่สามซึ่งคือ  $C - B$  แล้วนำมาผลลบค่าแรกมาลบออกจากผลลบค่าที่สอง ตามสมการ ค่าผลลบสุดท้ายที่ได้นำไปแทนค่าสเปกตรัมที่จุดแรกของ Segment แรก และคำนวณผลลบตามสมการไปจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ต่อจากนั้นจึงเลื่อน Segment ไปทางขวา 1 จุดหรือ 2 nm และทำการหาผลลบซ้ำจนเสร็จสมบูรณ์

Second Derivative ใช้ได้ผลดีกับตัวอย่างที่มีอนุภาคต่างๆ ผสมผสานกันอยู่ สเปกตรัมที่ได้จากการคำนวณ First และ Second Derivative แสดงในรูปที่ 2.15 เปรียบเทียบกับสเปกตรัมเริ่มต้น



รูปที่ 2.15 First Derivative และ Second Derivative เปรียบเทียบกับสเปกตรัมเริ่มต้น

(อนุพันธ์ เทอดดวงศักรกุล, 2545 : 92 อ้างจาก Maesschalck et al. 1999)

## 2. Multiplicative scatter correction (MSC)

เป็นเทคนิคที่สร้างขึ้นมาเพื่อลดผลการกระเจิงแสง (Scattered light) ต่อสเปกตรัม ที่ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้า จากการวัดแบบ diffuse reflectance และแบบ transmission โดยทั่วไปการกระเจิงแสงจะทำให้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งหามุมเหตตแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชันโดยรวมเปลี่ยนไป ซึ่งเปรียบเสมือนว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่ความยาวคลื่นต่ำสุดของสเปกตรัม (Multiplicative effect) ถ้าสมมติให้สเปกตรัมเป็นเส้นตรง สเปกตรัมก็จะถูกทำให้มีความชันแตกต่างไปจากเดิมหรือเหมือนกับเส้นตรงถูกหมุนไป ดังแสดงในรูปที่ 2.16



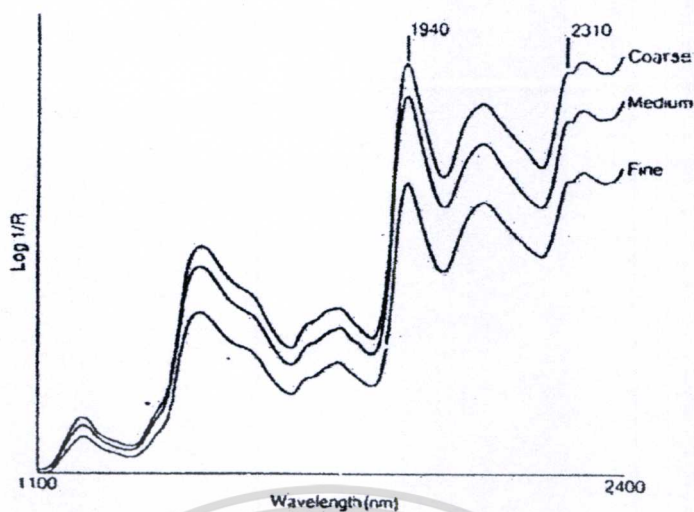
รูปที่ 2.16 กราฟที่มีความชันเปลี่ยนแปลงไปเปรียบเสมือนเส้นตรงนั้นหมุน  
(อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล. 2545 : 93)

MSC ถูกสร้างเพื่อให้สามารถลดผลกระทบแบบ Multiplicative effect แต่ในทางปฏิบัติสามารถลดผลในแบบ Additive effect ได้ด้วย หรือผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากันตลอดช่วงความยาวคลื่น

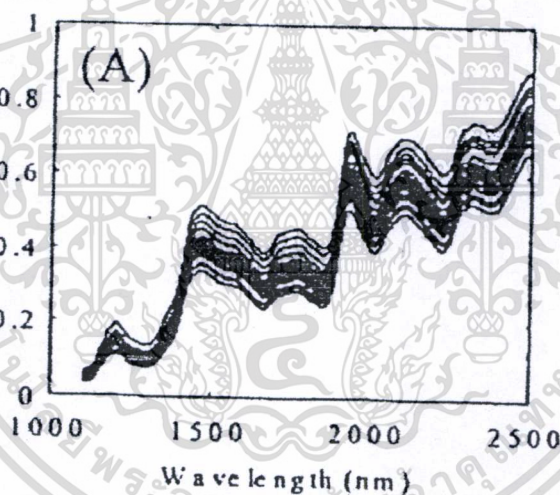
รูปที่ 2.17 เป็นตัวอย่างสเปกตรัมที่ได้รับผลแบบ Multiplicative effect โดยในรูปเป็นแป้งที่มีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกัน แต่ถูกบดให้มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 3 ขนาด จะพบว่าตัวอย่างที่มีอนุภาคใหญ่จะดูดกลืนแสงได้มากกว่าที่มีอนุภาคเล็กกว่า และผลที่เกิดขึ้นจะทำให้สเปกตรัมแตกต่างกันมากขึ้นที่ความถี่สูง ซึ่งเปรียบเสมือนว่าจะทำให้สเปกตรัมหมุนรอบจุดเริ่มต้นเป็นมุมที่แตกต่างกัน เนื่องจากการกระเจิงแสงที่เกิดจากอนุภาคที่ต่างกัน มีผู้คิดค้นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ทำให้สเปกตรัมแต่ละอันหมุนกลับมาที่เดิม เพื่อให้สเปกตรัมตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งหมดให้มากที่สุด

MSC นั้นมีขั้นตอนดังนี้ พิจารณารูปที่ 2.18 เป็น NIR สเปกตรัมจากตัวอย่าง 40 ตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากการกระเจิงแสงอย่างชัดเจน ถ้านำค่า  $\log(1/R)$  ที่แต่ละความยาวคลื่นของแต่ละตัวอย่างมาพล็อตกับค่า  $\log(1/R)$  ของสเปกตรัมเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งหมดที่ความยาวคลื่นตรงกัน จะได้เส้นตรงที่มีความชันไม่เท่ากับ 1 เช่นดังรูปที่ 2.19 ตัวอย่างที่ 38 มีความชันของเส้นมากกว่าหนึ่ง ส่วนตัวอย่างที่ 28 มีความชันน้อยกว่าหนึ่ง ถ้าตัวอย่างใดมีสเปกตรัมเหมือนกับสเปกตรัมเฉลี่ย พล็อตจะได้เป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

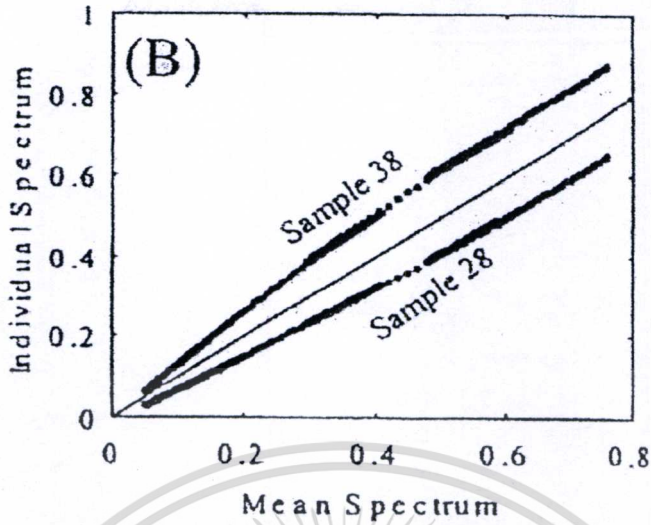


รูปที่ 2.17 ตัวอย่างแป้งที่มีอนุภาคแตกต่างกัน 3 ขนาดแต่มีค่าทางเคมีเท่ากัน  
(อนุพันธ์ เทอดวงศักรกุล. 2545 : 94 อ้างจาก Osborne and Fearn. 1993)



รูปที่ 2.18 NIR สเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect ก่อนการปรับแก้ด้วย MSC  
(อนุพันธ์ เทอดวงศักรกุล. 2545 : 94 อ้างจาก Boysworth and Booksh. 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 พล็อตระหว่างค่า  $\log(1/R)$  ของสเปกตรัมของตัวอย่างที่ 38 (แกน Y) กับค่า  $\log(1/R)$  ของสเปกตรัมเฉลี่ย (แกน X) (อนุพันธ์ เทอควงศ์วรกุล, 2545 : 95 อ้างจาก Boysworth and Booksh, 2001)

แต่ละจุดในรูปที่ 2.19 คือพล็อตระหว่างค่า  $\log(1/R)$  ของตัวอย่างหนึ่งๆ กับค่า  $\log(1/R)$  เฉลี่ยของตัวอย่างทั้ง 40 ตัวอย่างที่มีความยาวคลื่นเดียวกัน ดังนั้นถ้าสเปกตรัมประกอบด้วย 701 จุด แต่ละเส้นในรูปที่ 2.19 ก็จะมี 701 จุดด้วยเช่นกัน เส้นแต่ละเส้นแทนหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งในกรณีนี้จะมีทั้งหมด 40 เส้น พล็อตในลักษณะนี้จะแสดงให้เห็นถึง Scattering profile ที่มีอยู่ในสเปกตรัม

วิธีของ MSC ก็คือ การหมุนสเปกตรัมในรูปที่ 2.18 ของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย ขั้นตอนในการหมุนดังกล่าวทำโดย ในแต่ละตัวอย่างนั้นต้องหาค่าคงที่หนึ่งค่ามาลบออกจากสเปกตรัมเพื่อลดผลจากการเลื่อนตัวของสเปกตรัม และต้องหาค่าคงที่มาหารค่า  $\log(1/R)$  ของทุกๆ จุดของตัวอย่างเพื่อปรับความชันของสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป หรือก็คือการปรับค่า  $\log(1/R)$  ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นสัดส่วนเพื่อให้มีค่าตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย วิธีการให้ได้มาซึ่งค่าคงที่ดังกล่าวคือวิธี วิเคราะห์ความถดถอย (Regression) เพื่อให้ได้สมการเส้นตรงของแต่ละตัวอย่างในรูปที่ 2.19 ดังนี้

$$x_{iw} = a_i + b_i \bar{x}_w \quad w = 1, \dots, p \quad (2.7)$$

โดยที่  $x_{iw}$  = ค่า  $\log(1/R)$  ของตัวอย่าง  $i$  ที่ความยาวคลื่น  $w$  ของตัวอย่างที่มี  $p$  ความยาวคลื่น

$\bar{x}_w$  = ค่าเฉลี่ย  $\log(1/R)$  ที่ความยาวคลื่น  $w$  ของตัวอย่างทั้งหมด

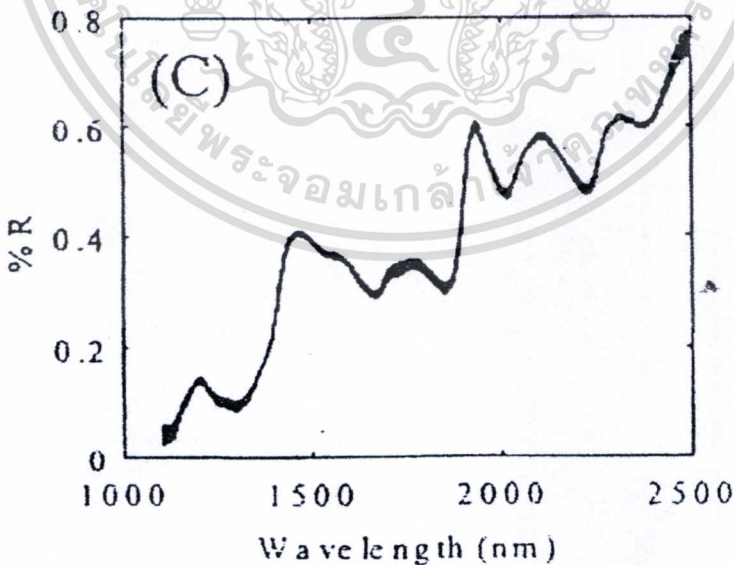
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  $a_i$  และ  $b_i$  = ค่าคงที่สำหรับทุกความยาวคลื่นของตัวอย่าง  $i$  ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละตัวอย่างก็จะได้ค่า  $a_i$  และ  $b_i$  อย่างละค่าแตกต่างกัน ค่า  $a_i$  และ  $b_i$  นี้จะนำมาใช้คำนวณ (หรือหาค่าสเปกตรัม) ค่าสเปกตรัมใหม่ดังนี้

$$x_{i, MSC} = \frac{(x_{iw} - a_i)}{b_i} \quad w = 1, \dots, p \quad (2.8)$$

NIR สเปกตรัมของแป้ง 40 ตัวอย่างที่ปรับแก้ด้วย MSC แล้วแสดงผลอยู่ในรูปที่ 2.20 ซึ่ง NIR สเปกตรัมในรูป ของแต่ละตัวอย่างจะถูกปรับแก้ เสมือนกับถูกหาค่าเฉลี่ยกับสเปกตรัมเฉลี่ย ข้อพึงระวังคือ ถ้าใช้ MSC กับสเปกตรัมในตัวอย่างกลุ่ม Calibration ก็จะต้องใช้ MSC กับกลุ่มตัวอย่างที่จะนำมาประเมินค่าทางเคมีในอนาคตด้วย ดังนั้นสเปกตรัมเฉลี่ยที่ใช้จะถูกบันทึกเก็บไว้สำหรับใช้กับตัวอย่างในอนาคต

การใช้วิธี MSC ให้ผลต่อรูปร่างของสเปกตรัมแตกต่างจากการใช้วิธี Second Derivative อย่างเห็นได้ชัด แม้ว่าผลของการปรับแก้จะเป็นไปในแนวเดียวกันในการวิเคราะห์ โดยรูปร่างของสเปกตรัมหลังการใช้วิธี MSC แล้วจะมีรูปร่างไม่แตกต่างจากการปรับแก้มาก ในขณะที่รูปร่างของสเปกตรัมหลังจากวิธี Second Derivative จะแตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้นอย่างชัดเจนการใช้วิธี MSC จะให้ผลได้ดีที่สุดถ้ามีการปรับแก้การเลื่อนตัวของสเปกตรัมก่อน



รูปที่ 2.20 NIR สเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect หลังการปรับแก้ด้วย MSC (อนุพันธ์ เทอดวงศักรกุล. 2545 : 96 อ้างจาก Boysworth and Booksh. 2001)

2.2.2 วิธีในการสร้างแบบจำลองในการทำนาย (ธงชัย สุวรรณดิชฉน์. 2545 : 116 -121)

1. เทคนิค Principal Component Regression (PCR)

การทำ PCR จะเริ่มมาจากการทำ Principal Component Analysis (PCA) กับข้อมูลที่เป็นตัวแปรอิสระที่ได้มาจากข้อมูลของสเปกตรัมเพื่อสร้างองค์ประกอบหรือตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า New Factors ก่อนแล้วจึงนำค่าของตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่ได้มาได้จากวิธีการ Reference Method เพื่อสร้างสมการ Calibration โดยใช้หลักการของ Multiple Regression Analysis

2. เทคนิค Principal Component Analysis (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) เป็นวิธีการในการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว (Multivariate analysis) โดยใช้เทคนิคการลดจำนวนตัวแปรอิสระด้วยการแบ่งกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่ที่เรียกว่าปัจจัยหรือองค์ประกอบ (Factors score or principal component : สมมติว่ามีทั้งสิ้น k ตัวแปรใหม่ ได้แก่  $F_1, F_2, \dots, F_k$ ) ซึ่งเป็น Linear combination ของผลคูณค่าตัวแปรอิสระเดิมที่ได้มาจากข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมด (Original measurement : สมมติว่ามีทั้งสิ้น p ตัวแปรเดิมหรือ p ความยาวคลื่น ได้แก่  $X_1, X_2, \dots, X_p$ ) กับสัมประสิทธิ์ในการถ่วงน้ำหนักตัวแปร (Factor weights ที่ให้กับตัวแปรเดิมเพื่อนำมาสร้างตัวแปรใหม่ ได้แก่  $w_{11}, w_{12}, \dots, w_{kp}$ ) ดังแสดงในสมการ 2.9

$$F_1 = w_{11} * X_1 + w_{12} * X_2 + w_{13} * X_3 + \dots + w_{1p} * X_p$$

$$F_2 = w_{21} * X_1 + w_{22} * X_2 + w_{23} * X_3 + \dots + w_{2p} * X_p$$

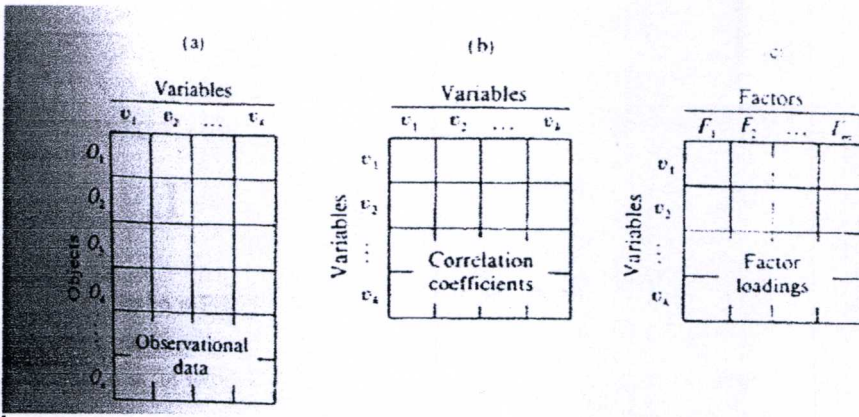
$$F_3 = w_{31} * X_1 + w_{32} * X_2 + w_{33} * X_3 + \dots + w_{3p} * X_p$$

.....  
 .....  
 .....

$$F_k = w_{k1} * X_1 + w_{k2} * X_2 + w_{k3} * X_3 + \dots + w_{kp} * X_p \tag{2.9}$$

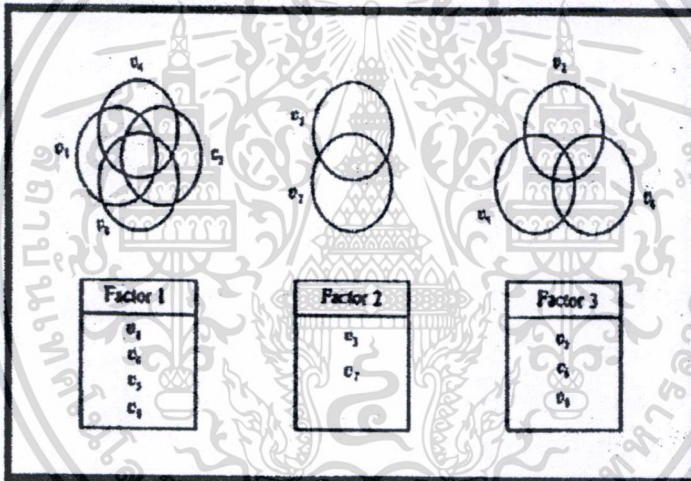
หมายเหตุ : จำนวนตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า Factors score หรือ Principal components จะต้องมีความน้อยกว่าจำนวนตัวแปรเดิม

เพื่อทำความเข้าใจการสร้างตัวแปรใหม่ จากรูปที่ 2.21 สมมติว่ามีตัวอย่างทั้งหมด n ตัวอย่าง ( $O_1, O_2, \dots, O_n$ ) และมีตัวแปรอิสระทั้งหมดที่เป็นความยาวคลื่นที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น k ตัวแปร ได้แก่ ( $V_1, V_2, \dots, V_k$ ) เมื่อนำตัวแปรอิสระทั้งหมด k ตัวแปรมาจัดกลุ่มความสัมพันธ์ โดยดูจาก Correlation matrix แล้ว สุดท้ายจะสามารถสร้างตัวแปรใหม่ที่อธิบายตัวแปรเดิมได้ทั้งหมด 3 Factor score



รูปที่ 2.21 การสร้างปัจจัยหรือตัวแปรใหม่ 3 ตัวแปร (Factor 1 2 และ 3) จากตัวแปรเดิมที่มีอยู่ 9 ตัวแปร ( $v_1, v_2, \dots, v_9$ )

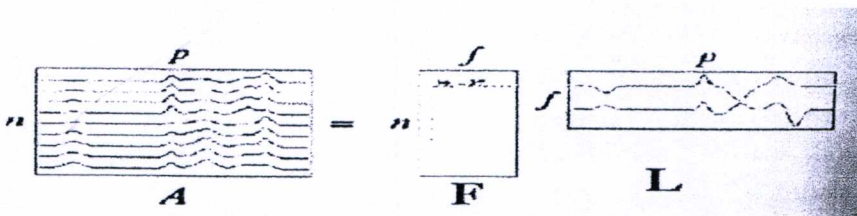
(ธงชัย สุวรรณสิขณณ์. 2545 : 117 อ้างจาก Kachigan. 1986)



รูปที่ 2.22 ตัวแปรใหม่ 3 ตัวแปรที่สร้างขึ้นมาจากตัวแปรเดิมทั้งหมด 9 ตัวแปร

(ธงชัย สุวรรณสิขณณ์. 2545 : 118 อ้างจาก Kachigan. 1986)

ประโยชน์การสร้างตัวแปรใหม่นอกจากจะสามารถลดจำนวนตัวแปรอิสระให้เหลือน้อยลงแล้ว จำนวนตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมาก็ทั้งหมดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้



รูปที่ 2.23 PCA ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรใหม่กับข้อมูลในตัวแปรเดิมของตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น (ธงชัย สุวรรณสิขณณ์. 2545 : 117 อ้างจาก <http://www.galactic.com>)

1. นำกลับไปประมาณค่าตัวแปรเดิม ( $X_1, X_2, \dots, X_p$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.24 จากรูปจะเห็นว่าจากสมการเดิม

$$F_1 = w_{11} * X_1 + w_{12} * X_2 + w_{13} * X_3 + \dots + w_{1p} * X_p$$

$$F_2 = w_{21} * X_1 + w_{22} * X_2 + w_{23} * X_3 + \dots + w_{2p} * X_p$$

$$F_3 = w_{31} * X_1 + w_{32} * X_2 + w_{33} * X_3 + \dots + w_{3p} * X_p$$

$$F_k = w_{k1} * X_1 + w_{k2} * X_2 + w_{k3} * X_3 + \dots + w_{kp} * X_p \quad (2.10)$$

หากต้องการรู้ค่าตัวแปรเดิมใดก็ตาม เช่น  $X_1$  สามารถนำตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมากำหนดกลับไปโดยใช้สมการ 2.11

$$X_1 = L_{11} * F_1 + L_{12} * F_2 + L_{13} * F_3 + \dots + L_{1k} * F_k \quad (2.11)$$

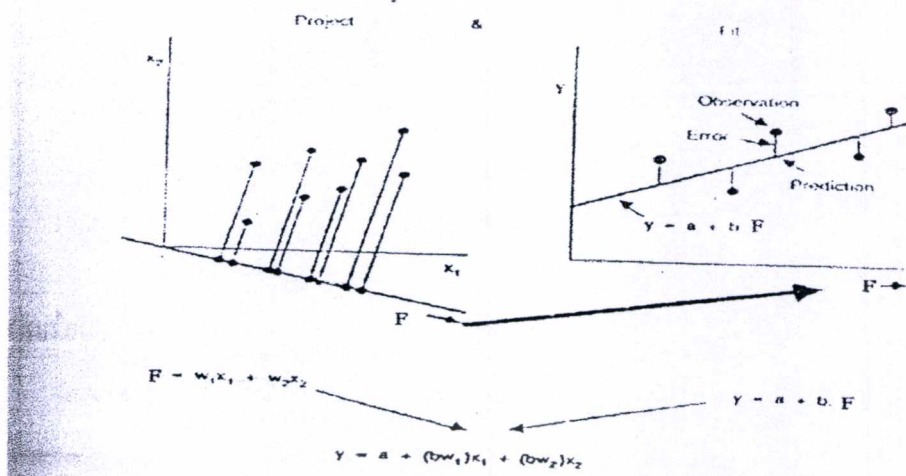
โดยที่  $L_{ik}$  คือ น้ำหนักปัจจัย (Factor Loading)

2. นำคะแนนปัจจัยที่หาได้ (Factor Score : F) ไปใช้ในการทำนายค่าตัวแปรตามโดยนำไปสร้างสมการ Calibration ด้วยวิธีการทางสถิติ Regression เช่นตัวอย่างในรูปที่ 15 สมมติว่ามีตัวแปรอิสระเดิม 2 ตัวแปรเมื่อสร้างคะแนนปัจจัย F ได้แล้วโดยที่

$$F = w_1 * X_1 + w_2 * X_2 \quad (2.12)$$

นำค่า F ที่ได้ไปสร้างสมการ Calibration เพื่อทำนายผลตัวแปรตาม (Y) จะได้

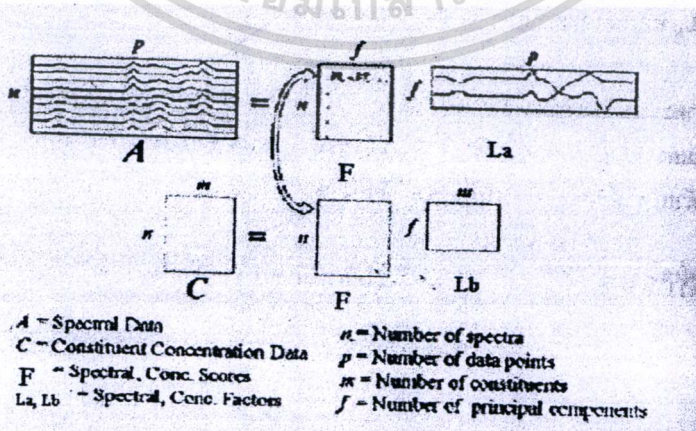
$$F = a + F * b \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.24 การนำคะแนนปัจจัยที่หาได้ (Factor Score : F) ไปใช้ในการทำนายค่าตัวแปรตาม (ธงชัย สุวรรณสิขณน์. 2545 : 117 อ้างจาก Osborne. 1993)

### 3. เทคนิค Partial Least Square (PLS)

เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปรวิธีหนึ่ง (A quantitative decomposition technique) เช่นเดียวกับวิธี PCR อย่างไรก็ตามวิธี PLS จะแตกต่างกับวิธี PCR ตรงที่ในช่วงจัดกลุ่มลดจำนวนตัวแปร โดยการสร้างตัวแปรใหม่นั้นจะมีการนำข้อมูลตัวแปรตาม (Y) เข้ามาร่วมในการสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่าค่าคะแนนปัจจัยด้วย (score) จะเห็นได้ว่า PLS เป็นกระบวนการขั้นตอนเดียวไม่จำเป็นต้องมีการแยกไปทำขั้นตอน regression อีก เนื่องจากค่า factor score ที่สร้างขึ้นใหม่จะมีความสัมพันธ์ตัวแปรตามอยู่แล้ว ในขณะที่วิธี PCR ค่า factor score ที่สร้างมาจะมีความเกี่ยวข้องกับข้อมูลตัวแปรเดิมในสเปกตรัมเท่านั้นจำเป็นต้องนำค่า factor score m ได้ไปสร้างสมการ regression อีกครั้งก่อนนำไปใช้ในการทำนายค่าตัวแปรตามตัวต่อไป



รูปที่ 2.25 PLS ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรใหม่กับข้อมูลในตัวแปรเดิมทั้งที่เป็นตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (ธงชัย สุวรรณสิขณน์. 2545 : 117 อ้างจาก <http://www.galactic.com>) ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การประเมินความถูกต้องแม่นยำด้วยวิธีทางสถิติ (Williams, P. 2007)

### 2.3.1 ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

จากรูปที่ 2.26 ข้อมูลในแนวแกน X (แนวนอน) นั้นจะถูกใช้อย่างอิงตัวแปรอิสระและข้อมูลในแนวแกน Y (แนวตั้ง) นั้นจะถูกอ้างเป็นตัวแปรตาม เพราะค่าทั้งหมดในแนวแกน Y นั้นจะขึ้นอยู่กับผลกระทบของตัวอย่างและการวิเคราะห์ค่าในแนวแกน X ในการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีนั้น ถ้าหากจะทำการประมาณการชุดข้อมูล Calibration ที่แน่นอน ค่าที่นำมาอ้างอิง เช่น จะเป็นค่าที่แปรผันตามตัวแปร Y ข้อมูลสเปกตรัมที่วัดมาได้ ( $\log 1/R$  หรือที่ทำให้ต่างจาก  $\log 1/R$ ) นั้น ค่า X จะเป็นตัวแปรอิสระ ในการประเมินความแม่นยำในการทำนายนั้นอาจทำได้ดังนี้คือ การคำนวณค่า Standard error of prediction (SEP) สำหรับความถูกต้องของชุดข้อมูล Calibration, การประเมินผลจากค่าที่วัดจากวิธีโดยตรงที่วิเคราะห์ประจำวันแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีซึ่งอ้างอิงมาจากตัวอย่างกลุ่มใหม่, เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีจะถูกใช้ในการทำนายตัวอย่างที่ใช้อ้างอิง,



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในสมการ linear regression (Williams, P. 2007)

### 2.3.2 ค่าเฉลี่ย (The mean)

ค่าเฉลี่ยเป็นค่าทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลที่ใช้อ้างอิง (X) หรือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่องวัดสเปกตรัม (Y) ค่าเฉลี่ยนั้นจะถูกคำนวณจากผลรวมของค่า X หรือ Y และถูกหารโดยจำนวนของข้อมูล (N) ซึ่งเขียนเป็นสมการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (2.14)$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 Standard deviation (SD)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลง หรือความแปรปรวนในข้อมูล นั่นคือ รากที่สอง ของความแปรปรวน สูตรในการหาค่า  $SD_x$  (หรือ  $SD_y$ ) คือ

$$SD_x = \{(\sum X^2 - [(\sum X)^2/N]) / (N-1)\}^{1/2} \quad (2.15)$$

### 2.3.4 Coefficient of variability (CV %)

CV คือ SD ของประชากร x 100หารด้วยค่าเฉลี่ยของประชากร แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$CV = (SD \cdot 100) / \text{Mean X (หรือ Y)} \quad (2.16)$$

ค่า CV แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างในการคำนวณค่า Coefficient of variability (CV %) ของตัวแปร (Williams, P. 2007)

ตัวอย่าง ที่	ค่าข้อมูล	ค่าทางสถิติ	ค่า
1	9.7	N	12
2	11.9	Mean	13.08
3	17.3	$\sum X$	157
4	14.2	$\sum X^2$	2106.56
5	12.6	SD	$\pm 2.18$
6	10.3	CV%	16.67
7	15.1		
8	14.8		
9	11.1		
10	12.4		
11	13.5		
12	14.1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ค่า Coefficient of variability (CV %) ถูกแสดงออกมาในเทอมของเปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่า CV  
 ไม่ว่าจะสูงหรือต่ำเพียงใด ก็ยังทำหน้าที่ให้ตัดแบ่งแกงเนื้อห และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีอัตรานำไปใช้  
 นี้มีความสัมพันธ์กับ ค่า SD, ค่าเฉลี่ย และยังแสดงถึงความแปรปรวนของประชากรซึ่งเป็นอิสระ

จากหน่วยในการวัด ตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นตัวอย่างในการคำนวณค่า Coefficient of variability (CV %) ของตัวแปร

### 2.3.5 Bias (หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้จาก NIRS กับข้อมูลที่อ้างอิง)

ค่า Bias หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าอ้างอิงและค่าที่ทำนายได้จาก NIRS และเป็น การวัดความแม่นยำโดยรวมของ calibration ในโลกความเป็นจริงของทางการค้าและอุตสาหกรรม Bias เป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญมากในทางสถิติ Bias สามารถเกิดขึ้นได้แม้เมื่อค่าสถิติสัมประสิทธิ์ ความสัมพันธ์และ SEP แสดงว่าค่า calibration นั้นดีเยี่ยม สูตรสำหรับการคำนวณ Bias คือ

$$(\sum X/N) - (\sum Y/N) \quad (2.17)$$

เมื่อ X = ค่าอ้างอิง และ Y = การทำนายสเปกตรัม NIRS สามารถเป็นบวกหรือลบก็ได้

### 2.3.6 Coefficient of correlation (r)

สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r) แสดงระดับ ซึ่งข้อมูล 2 เซต (ข้อมูล X และ Y ซึ่งคือค่าที่ ทำนายจาก NIRS และค่าอ้างอิง) สอดคล้องซึ่งกันและกัน ความสอดคล้องที่สมบูรณ์ซึ่งไม่มีความ แตกต่างกันเลยระหว่าง 2 เซตข้อมูล จะให้ผลของค่า r จะเท่ากับ 1.00 ในทางปฏิบัตินั้นเป็นไปได้ ไม่ได้เพราะ X และ Y อาจจะมีค่าผิดพลาด (error) X และ Y มีความสัมพันธ์เป็นเชิงบวกหรือลบก็ได้

สูตรสำหรับการคำนวณ r คือ

$$r = \frac{\sum(X*Y) - [(\sum X * \sum Y) / N]}{(\sum X^2 - [(\sum X)^2 / N]) * (\sum Y^2 - [(\sum Y)^2 / N])}^{1/2} \quad (2.18)$$

### 2.3.7 Coefficient of determination (r<sup>2</sup>)

ค่าสัมประสิทธิ์ของการพิจารณา r<sup>2</sup> (ไม่จำเป็นต้องมีสมการ) แสดงสัดส่วนของความ แปรปรวนในข้อมูล X ว่าสามารถอธิบายโดยความแปรปรวนในข้อมูล Y ค่าของ r<sup>2</sup> จะเป็นบวก เสมอ โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของ r ในทางปฏิบัติ r<sup>2</sup> ให้ข้อมูลมากกว่า และใช้กันมากกว่า r ได้ ซึ่งแนะนำการแปลความหมายของค่า r และ r<sup>2</sup> ให้ไว้ในตาราง 2.4

### 2.3.8 Regression coefficient (b) และ intercept (a)

สัมประสิทธิ์ Regression, b<sub>yx</sub> (ยังเรียกว่า slope อีกด้วย) และจุดตัด a แสดงถึงระดับซึ่งค่า y จะถูกทำนายจากค่า x เหล่านั้น ในความสัมพันธ์ที่สมบูรณ์ระหว่าง X และ Y (ซึ่งทั้ง X และ Y เป็นข้อมูลชนิดเดียวกัน เช่น ปริมาณโปรตีน จากการทำนายโดย NIRS และค่าที่ได้โดยวิธีอ้างอิง)

ค่า r และ b จะเท่ากับ 1.000 และ a เท่ากับ 0.000 เนื่องจากว่าไม่สามารถหลีกเลี่ยงค่า error ได้ ดังนั้น b อาจจะมีมากกว่าหรือน้อยกว่า 1.000 และ a จะต่างจาก 0

ตารางที่ 2.3 การแปลความหมายของ  $r^2$  (Williams, P. 2007)

ค่า r	ค่า r <sup>2</sup>	คำอธิบาย
ไม่เกิน +/-0.5	ไม่เกิน 0.25	ไม่พร้อมใช้งานกับการตรวจสอบด้วย NIRS
+/-0.51-0.70	0.26 - 0.49	มีความสัมพันธ์ที่ไม่ดีเนื่องมาจากการทดลอง
+/-0.71-0.80	0.50 - 0.64	ใช้ได้สำหรับการคัดเลือกแบบคร่าวๆ
+/-0.61-0.90	0.66 - 0.81	ใช้ได้สำหรับการคัดเลือกและการตรวจสอบสิ่งอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน
+/-0.91-0.95	0.83 - 0.90	พร้อมสำหรับการประยุกต์ใช้งานวิจัยมากที่สุด
+/-0.96-0.98	0.92 - 0.96	พร้อมสำหรับการประยุกต์ใช้อีกทั้งเชื่อมั่นคุณภาพได้มากที่สุด
+/-0.99+	0.98 +	ดีเยี่ยมมากสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับทุกๆ อย่าง

ในเทคโนโลยี NIRS ระดับ error ของ optical data จะต่ำกว่าข้อมูลอ้างอิงเสมอ นี่คือผลที่ใช้กับ Multiple Linear Regression (MLR) ในการพัฒนา calibration ซึ่งมีการสมมุติว่าไม่มี error ในค่า X (optical data) เช่นเดียวกับในกรณีของ r, สัมประสิทธิ์ Regression และจุดตัด สามารถเป็นบวกหรือลบได้

สูตรในการคำนวณ b คือ

$$\frac{(\sum X*Y) - [(\sum X*Y)/N]}{(\sum Y^2 - [(\sum Y)^2/N])} = \frac{r*SD_y}{SD_x} \quad (2.19)$$

สูตรในการคำนวณ a คือ

$$A = Y \text{ bar} * (b*X\text{bar}) \quad (2.20)$$

### 2.3.9 การแจกแจงความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้จาก NIRS และข้อมูลอ้างอิง

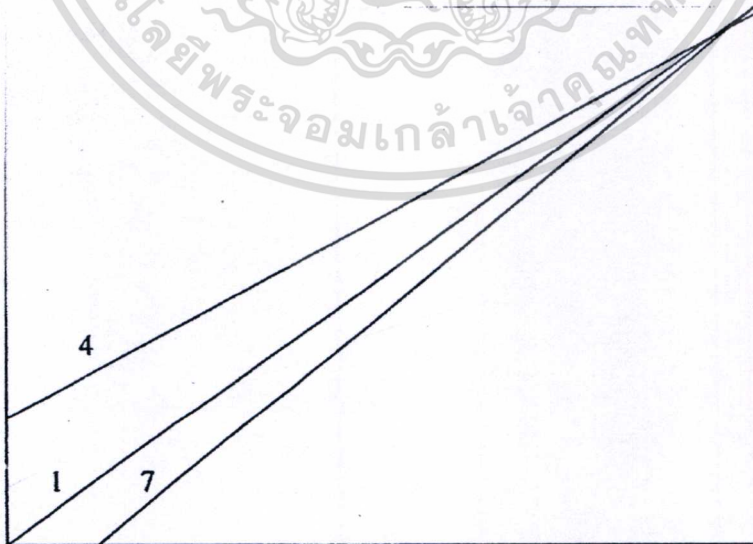
รูปแบบหรือการแจกแจงความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายจาก NIRS และค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง ควรจะศึกษาสำหรับการ calibration 9 รูปแบบที่แตกต่างอาจจะบ่งบอกถึงลักษณะความชันของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จาก NIRS และข้อมูลอ้างอิง สิ่งนี้ได้อธิบายไว้ในตารางที่ 2.5 การที่ความชันเปลี่ยนอาจทำให้ค่า bias โดยรวมที่เป็นบวกหรือลบซึ่งการแก้ไขอัตราส่วนความชัน/bias อาจจะใช้ประโยชน์ได้ Bias (ประเภท 8 และ 9) ยังสามารถเกิดขึ้นได้โดยความชันไม่มีความแตกต่าง

รูปที่ 2.27 แสดงตัวอย่างของประเภทความชัน 1, 4 และ 7 ประเภท 8 และ 9 สามารถแก้ไขด้วยวิธีการปรับจุดตัด (intercept) ประเภทอื่นทั้งหมดของ bias ต้องการการปรับปรุงไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนความชัน/bias ถ้าความชันต่างจาก 1.0 โดยมากกว่า  $\pm 0.05$  หรือถ้าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายจาก NIRS และข้อมูลอ้างอิงที่ค่าสูงสุดหรือน้อยสุดมากกว่า 1.5% ของค่าเฉลี่ย ถ้าค่าความชันอยู่ใน  $\pm 0.05$  ของ 1.000 การเปลี่ยนความชันไม่น่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำนาย และการปรับความชันไม่ถูกแนะนำ

ตารางที่ 2.4 รูปแบบของความชัน (Williams, P. 2007)

ลำดับที่	ผลของข้อมูลอ้างอิง ต่ำ	ผลของข้อมูลอ้างอิง สูง
1.	เชื่อมั่นได้	เชื่อมั่นได้
2.	เชื่อมั่นได้	สูง
3.	เชื่อมั่นได้	ต่ำ
4.	สูง	ต่ำ
5.	ต่ำ	สูง
6.	สูง	เชื่อมั่นได้
7.	ต่ำ	เชื่อมั่นได้
8.	สูง	สูง
9.	ต่ำ	ต่ำ



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างของความชัน (Williams, P. 2007)

### 2.3.10 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของ single test (SET)

ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของ single test (SET) คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการเอกลสารนี้เป็นเอกสารทูลงงานวิจัยหรือการรายงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า วิเคราะห์ของการตรวจตัวอย่างทดสอบโดยวิธีอ้างอิงหรือวิธีทาง NIR ก่อนที่จะพัฒนา calibration ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความจำเป็นในการหาความแม่นยำ (standard error) ของการทดลองอ้างอิง สิ่งนี้สามารถทำได้โดยการทำซ้ำ “blind” หรือโดยการใช้ “secret” เซ็ตตัวอย่างที่กำหนดชื่อเป็นรหัสในช่วงใน work-load รายวัน การเซ็ตตัวอย่างควรผ่านทุกขั้นตอนของการทดสอบ รวมถึงการแบ่งตัวอย่างที่สุ่มและการเตรียมตัวอย่าง

### 2.3.11 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP หรือ SEV)

SEP เป็นเทอมของ Standard error of performance อีกด้วย คือ SD ของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายจาก NIR และค่าอ้างอิง

สูตรในการคำนวณ SEP คือ

$$SEP = \left( \frac{\sum(X - Y)^2}{N - 1} \right)^{1/2} \quad (2.21)$$

ซึ่งไม่เหมือนกับ RMSEP โดย SEP ไม่เกี่ยวข้องกับ bias SEP คำนวณจากผลการทำนายของเซตตัวอย่างที่ไม่ได้ถูกใช้ในการพัฒนา calibration เซตตัวอย่างนี้คือ Prediction หรือ validation, เซตตัวอย่างที่ใช้ใน validation ของ calibration ประกอบด้วยตัวอย่างชนิดเดียวกันและไม่เกี่ยวข้องกับแบบสมบูรณต่อเซตตัวอย่าง calibration บ่อยครั้งที่ตัวอย่าง validation คือส่วนหนึ่งของ single population ของเซตตัวอย่าง calibration และ validation รวมกัน ในเงื่อนไขนี้ เป็นกรณีที่ดีมากในการใช้เทอม SEV เพื่อแสดง Standard error of validation บางสูตรใช้ N-2 ขณะที่อื่นๆใช้ N-(2)<sup>1/2</sup> แทน N-1 ในทางปฏิบัติ ความเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทำให้เกิดความแตกต่างเพียงเล็กน้อย โดยมีเงื่อนไขว่าเซตการทดสอบ validation ต้องมีอย่างน้อย 40-50 ตัวอย่าง

### 2.3.12 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของ cross-validation (SECV)

Cross-validation ใช้ตัวอย่างชุดเดียวกันกับชุด Calibration มาทำ validation สิ่งนี้ทำโดยชักหนึ่งตัวอย่างหรือกลุ่มของ 2-3 ตัวอย่างออกจากกลุ่มและทำการสร้างโมเดล calibration ด้วยตัวอย่างที่เหลืออยู่ ตัวอย่างที่ถูกกำจัดจะถูกทำนายและบันทึกค่าความผิดพลาดแล้วนำกลับเข้ากลุ่มตัวอย่างและเอาตัวอย่างหรือกลุ่มตัวอย่างอื่นออกและทำซ้ำกระบวนการจนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดถูกใช้ในการพัฒนาโมเดลและทำนาย ซึ่งบันทึกค่าความผิดพลาด ไม่มีตัวอย่างที่ถูกทำนายใดถูกใช้ในการพัฒนาโมเดลซึ่งเราใช้ทำนาย ถ้าเอาออกเพียงทีละ 1 ตัวอย่างวิธีนี้เรียกว่า “full” หรือ “one-out” cross-validation ถ้านำชุดตัวอย่างออกจะเรียกว่า “segmented” cross-validation ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างของความผิดพลาดระหว่างข้อมูลที่ทำนายโดย NIRS และข้อมูลอ้างอิง คือ Standard Error of Cross-Validation (SECV)

### 2.3.13 Root mean square of the difference (RMSD, RMSEP)

Root mean square of the prediction (RMSEP) เป็นค่า Root mean square ของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายด้วย NIRS และค่าอ้างอิงแสดงถึงประสิทธิภาพการวัดของสมการ การคำนวณค่า RMSEP ไม่ควรคำนึงถึงค่าที่ต่ำกว่าค่าอ้างอิงแสดงถึงประสิทธิภาพการวัดของสมการ การคำนวณค่า RMSEP ไม่ควรคำนึงถึงค่าที่ต่ำกว่าค่าอ้างอิงแสดงถึงประสิทธิภาพการวัดของสมการ การคำนวณค่า RMSEP ไม่ควรคำนึงถึงค่าที่ต่ำกว่าค่าอ้างอิงแสดงถึงประสิทธิภาพการวัดของสมการ

calibration ค่า RMSD รวมถึง bias error ถ้าไม่มีค่า bias อยู่ SEP และ RMSD จะมีค่าเท่ากัน การใช้ค่าสถิติ RMSD ถูกแนะนำมากกว่า SEP

สูตรการคำนวณ RMSD คือ

$$\text{RMSD} = \{[\sum(X - Y)^2]/N - 1\}^{1/2} \quad (2.22)$$

### 2.3.14 True Test Error (TTE)

SEP และ RMSD เป็นการรวมกันของค่าความผิดพลาดทั้งของการทดสอบอ้างอิงและการสแกนสเปกตรัม NIR และสุ่มตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างและ factors ที่ไม่แน่นอนที่มีอยู่ในการทดสอบ ตัวอย่างที่ไม่รู้ SEP แสดงประสิทธิภาพของเครื่องมือ NIR และการ calibration ค่า SET ของทั้งกระบวนการทดสอบอ้างอิงและการหา NIRS ได้มาจาก SEP เพื่อให้ได้ค่า “True Test Error” (TTE)

$$\text{TTE} = \{(\text{SEP})^2 - (\text{SET}_{\text{Ref}})^2 - (\text{SET}_{\text{NIRS}})^2\}^{1/2} \quad (2.23)$$

ตารางที่ 2.5 การกำหนด True Test Error (Williams, P. 2007)

SEP*	0.251	0.251	0.251	0.206
SET Ref.	0.181	0.168	0.106	0.106
SET NIRS	0.098	0.098	0.098	0.098
TTE	0.144	0.159	0.205	0.147

\*SEP = ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย; SET = ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของ single test  
TTE = ค่าความผิดพลาดจากการทดสอบจริง

ตารางที่ 2.6 แสดงผลความแตกต่างของ SETs ของค่าอ้างอิง 3 ค่า โดยมีค่า SET ของวิธี NIR คงที่ SEP คงที่ ข้อมูล TTE แสดงค่าความผิดพลาดในการทำนาย NIRS ส่วนที่สามารถอ้างว่ามาจากกระบวนการอ้างอิงหรือกระบวนการ NIRS ข้อมูลชุดที่ 4 แสดงว่า SEP ที่ต่ำกว่าอาจแสดงถึงวิธีอ้างอิงที่แม่นยำกว่า SEP ที่สูงอาจจะมีส่วนทำให้ SET สูง และ TTE อาจจะมีค่าต่ำกว่ามาก สิ่งนี้แสดงให้เห็นขอบเขตสำหรับการปรับปรุงในการสุ่มตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างและ cell-loading ก่อนการทดสอบวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ที่เวลาจริง

### 2.3.15 อัตราส่วนของ SEP ต่อ SD (RPD)

อัตราส่วนของค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (validation) กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ RPD คือสถิติอย่างง่ายที่ทำให้สามารถศึกษาความสัมพันธ์ของ SEP ในเทอมของไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอ้างอิง คำนวณ โดยการหาร SD ของค่าอ้างอิงที่ใช้ใน validation หรือการทำนาย ( $SD_x$ ) ด้วย SEP

$$RPD = (SD_x(\text{ตัวอย่าง validation}))/SEP \quad (2.24)$$

อีกวิธีหนึ่งคือใช้สูตร

$$RPD = 1/(1-r^2)^{1/2} \quad (2.25)$$

ซึ่งผู้ใช้ส่วนมากพบว่ามันง่ายกว่าสูตรแรก

### 2.3.16 อัตราส่วนของ SEP ต่อช่วง (RER)

อีกวิธีหนึ่งในการทำ Standardization ค่า SEP หารด้วยช่วงกว้างของข้อมูลอ้างอิง อัตราส่วนของ SEP ต่อช่วงคือ RER และถูกคำนวณโดยสมการ

$$RER = (\text{ช่วงในข้อมูล validation อ้างอิง})/SEP \quad (2.26)$$

มันควรจะสูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ แต่ก็สามารถสูงขึ้นอย่างผิดปกติโดยตัวอย่างเพียงตัวอย่างเดียวที่มีความเข้มข้นสูง ในขณะที่ SD ไม่ได้รับผลกระทบ ในโปรแกรมการขยายพันธุ์พืช เมื่อการคัดเลือกวัสดุถูกยับยั้งเนื่องจากมีตัวอย่างจำนวนมาก เวลาต่อการทดสอบมากและค่าใช้จ่ายมากค่า RER เท่ากับ 10 หรือมากกว่าแสดงว่าเครื่องมือวัด NIR ทำนายข้อมูลได้ดีกว่า 10% ของค่าเฉลี่ย ซึ่งดีพอสำหรับการคัดเลือก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการขยายพันธุ์รุ่นแรกๆ ตารางที่ 2.7 อธิบายผลของค่าประมาณ RPD และ RER

ตารางที่ 2.6 ค่าทางสถิติ RPD และ RER (Williams, P. 2007)

ค่า RPD	ค่า RER	การแบ่งกลุ่ม	การประยุกต์ใช้
0.0-2.3	จนถึง 6	แย่มาก	ไม่แนะนำ
2.4-3.0	7-12	แย่	คัดเลือกแบบหยาบๆ
3.1-4.9	13-20	พอใช้	คัดเลือก
5.0-6.4	21-30	ดี	ควบคุมคุณภาพ
6.5-8.0	31-40	ดีมาก	ควบคุมขั้นตอน
8.1+	41+	ดีเยี่ยม	ได้ทุกการประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบดัชนีคุณภาพของผลไม้ต่างๆ หลังการเก็บรักษาด้วยวิธี NIR สเปกโตรสโคปีที่เคยมีผู้ทำวิจัยมานั้นยังถือว่ามียุทธศาสตร์น้อยมาก ซึ่งส่วนมากแล้วการตรวจสอบดัชนีคุณภาพของผลไม้ต่างๆ ด้วยวิธี NIR สเปกโตรสโคปีที่มีการทำวิจัยกันนั้นจะอ้างอิงการตรวจสอบความบริบูรณ์ของผลไม้ที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ต่างๆ กันมากกว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบดัชนีคุณภาพของผลไม้ต่างๆ หลังการเก็บรักษาด้วยวิธี NIR สเปกโตรสโคปีที่เกี่ยวข้องนั้น อาทิเช่น

1. การประเมินดัชนีคุณภาพก่อนและหลังการเก็บรักษาของแอปเปิล Royal Gala โดยวิธี Vis/NIR Spectroscopy ซึ่ง V. A. McGlone และคณะ (2002 : 135 - 144) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ระยะเวลาในการเก็บรักษาแอปเปิล Royal Gala เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และใช้เครื่อง Polychromatic Spectrometer ในช่วงความยาวคลื่นในช่วง Vis/NIR ที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 500 - 1000 nm ลักษณะของการสแกนของเครื่องที่ใช้ในการวิจัยนั้นเป็นแบบวิธี Interactance หลังจากนั้นจึงนำค่าสเปกตรัมที่ได้มาสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Partial Least Square โดยใช้โปรแกรม Math Lab ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนั้นยังถือว่าได้แบบจำลองการทำนายค่าต่างๆ ยังไม่แม่นยำซึ่งแสดงค่าในเทอมของค่า data standard deviation ต่อ ค่า the root mean square error of prediction (RMSEP) นั้นยังมีค่าน้อยกว่า 3 มาก

2. การทำนายค่าความหวานของแอปเปิลที่ถูกเก็บรักษาโดยใช้วิธี NIR สเปกตรัม (Iyo C. และ Kawano, S. 2001) ซึ่งการทดลองวิจัยนี้ระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ความยาวคลื่นแสงที่ใช้สั้นอยู่ช่วง 758 - 1161 นาโนเมตร หลังจากได้ค่าสเปกตรัมมาแล้วจากนั้นจะทำการปรับปรุงสเปกตรัมที่ได้ด้วยวิธี MSC

3. การทำนายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความเสียหายความเย็นของผล Grapefruit โดยวิธีไม่ทำลาย (Manuela Z. et al. 2002) การทดลองนี้นั้นสภาวะในการเก็บรักษาจะใช้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ซึ่งหลังจากนั้นจะนำมาวัดค่าต่างๆ และวัดสเปกตรัมซึ่งค่าสเปกตรัมด้วยเครื่อง Diode - array spectrometer แบบมือถือ โดยใช้ที่ความยาวคลื่น 400 - 1100 นาโนเมตร และการสแกนด้วยเครื่องมือแบบ dual - beam ในห้องทดลองที่มีช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 1100 - 1500 นาโนเมตร ซึ่งการวัดสเปกตรัมจะเป็นแบบ Reflectance ซึ่งค่าสเปกตรัมที่ได้นั้นจะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Partial Least Square โดยใช้โปรแกรม Matlab 5.2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองในการทำนาย ซึ่งแบบจำลองที่ได้นั้นได้ค่า  $R^2 = 0.65$  ค่า SEC = 0.8 และค่า SECV = 1.2 สำหรับปริมาณน้ำตาลซูโครส,  $R^2 = 0.84$  ค่า SEC = 0.6 และค่า SECV = 0.9 สำหรับน้ำตาลกลูโคส และ  $R^2 = 0.74$  ค่า SEC = 0.8 และค่า SECV = 1.1 สำหรับน้ำตาลฟรุกโตส

4. การทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อทำนายค่าความแน่นเนื้อและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแอปเปิลสดที่ (Manuela Z. et al. 2006) การเก็บรักษาสำหรับการทดลองนี้นั้นจะแบ่ง

ออกเป็น 2 สภาวะโดยสภาวะที่ 1 การเก็บรักษาในห้องเย็นนั้นจะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะที่ 2 เป็นการเก็บแบบ CA ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ และปรับ  $\text{CO}_2$  (30 mbar) และ  $\text{O}_2$  (20 mbar) ซึ่งหลังจากนั้นจะนำมาวัดสเปกตรัมโดยใช้สเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นในช่วงเท่ากับ 400 – 1000 นาโนเมตรซึ่งหลังจากนั้นจะนำมาสร้างแบบจำลองในการทำนายด้วยเทคนิค Partial Least Square โดยใช้โปรแกรม Matlab 5.2.1 ซึ่งผลการทดลองที่ได้นั้นคือช่วงของความยาวคลื่น Vis สเปกตรัมนั้นค่า  $R^2$  ของค่าความแน่นเนื้อนั้นจะมีค่าเท่ากับ 0.93 และค่า SECV เท่ากับ 7.73 นิวตันต่อตร.ซม.สำหรับแอปเปิลพันธุ์ Goden Delicious และมีค่าเท่ากับ 0.81 และค่า SECV เท่ากับ 10.50 นิวตันต่อตร.ซม.สำหรับแอปเปิลพันธุ์ Idared ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (SSC) ทำนายได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.21 และค่า SECV เท่ากับ 1.29 Brix สำหรับแอปเปิลพันธุ์ Goden Delicious และมีค่าเท่ากับ 0.41 และค่า SECV เท่ากับ 0.94 Brix สำหรับแอปเปิลพันธุ์ Idared ส่วนการทำนายสัปดาห์การเก็บเกี่ยวสำหรับแอปเปิลพันธุ์ Goden Delicious มีเปอร์เซ็นต์การทำนายถูกต้องของอายุการเก็บเกี่ยวของตัวเองเท่ากับ 64 เปอร์เซ็นต์ และทำนายกลุ่มใกล้เคียงได้ 92 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสำหรับแอปเปิลพันธุ์ Idared มีเปอร์เซ็นต์การทำนายถูกต้องของอายุการเก็บเกี่ยวของตัวเองเท่ากับ 66 เปอร์เซ็นต์ และทำนายกลุ่มใกล้เคียงได้ 84 เปอร์เซ็นต์ การทำนายระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับแอปเปิลพันธุ์ Goden Delicious มีเปอร์เซ็นต์การทำนายถูกต้องของอายุการเก็บเกี่ยวของตัวเองเท่ากับ 77 เปอร์เซ็นต์ และทำนายกลุ่มใกล้เคียงได้ 93 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสำหรับแอปเปิลพันธุ์ Idared มีเปอร์เซ็นต์การทำนายถูกต้องของอายุการเก็บเกี่ยวของตัวเองเท่ากับ 84 เปอร์เซ็นต์ และทำนายกลุ่มใกล้เคียงได้ 99 เปอร์เซ็นต์

5. การประเมินค่าความแน่นเนื้อ, มวลแห้ง และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผล Kiwifruit หลังการเก็บรักษาด้วยวิธี NIR Spectroscopy (V. A. McGlone, et al. 1998) การทดลองนี้ใช้วิธีการวัดแบบ Interactance ที่ความยาวคลื่น 800 – 1100 นาโนเมตร การทำนายค่ามวลแห้งและค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีความแม่นยำสูงโดยมีค่า  $R^2 = 0.90$  ทั้งสองค่า ซึ่งมวลแห้งมีค่า RMSEP = 0.42 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่า RMSEP = 0.39 Brix เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทำนายค่าความแน่นเนื้อยังไม่ดีโดยมีค่า  $R^2 = 0.66$  และ RMSEP = 7.8 นิวตัน

## บทที่ 3

# วิธีดำเนินงานวิจัย

### 3.1 เตรียมตัวอย่างส้มโอที่นำมาทดลอง

ผลส้มโอที่นำมาทดลองนั้นได้มาจากสวนในอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นสวนที่ปลูกส้มโอเพื่อการส่งออก โดยทำการสุ่มต้นส้มโอที่กำลังจะออกดอก จากนั้นรอวันที่ดอกบานนำป้ายพลาสติกไปมัดไว้กับช่อดอกพร้อมเขียนวันที่ดอกบาน โดยระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลส้มโอนั้นจะเก็บที่ระยะเวลา 210 วันหลังดอกบาน

### 3.2 การทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลส้มโอ

การทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลส้มโอหลังการเก็บรักษานั้น เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิภายในของผลส้มโอหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองเป็นดังนี้

#### อุปกรณ์

1. เทอร์โมคอปเปิล (Fluke, 52 II, USA) 1 เครื่อง
2. ผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง 1 ผล
3. ตู้เย็น 1 เครื่อง

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับตั้งอุณหภูมิภายในตู้เย็นเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิสำหรับการเก็บรักษา

2. เสียบหัววัดอุณหภูมิที่ต่ออีกด้านเข้ากับเทอร์โมคอปเปิลเข้าไปในผลส้มโอที่เตรียมไว้จดบันทึกค่าอุณหภูมิภายในผลส้มโอ

3. นำผลส้มโอที่เสียบหัววัดอุณหภูมิแล้ววางในตู้เย็นและทิ้งไว้ 15 วัน

4. หลังจากเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 15 วัน จากนั้นนำผลส้มโอออกจากตู้เย็นและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) และจดบันทึกค่าอุณหภูมิภายในผลส้มโอทุกๆ 20 นาทีจนกว่าอุณหภูมิภายในผลส้มโอเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

5. นำอุณหภูมิที่จดบันทึกมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของอุณหภูมิภายในผลส้มโอกับเวลาในการลดลงของอุณหภูมิ และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลส้มโอกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เวลาในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 กระบวนการในการเก็บรักษาและการเตรียมห้องเย็น

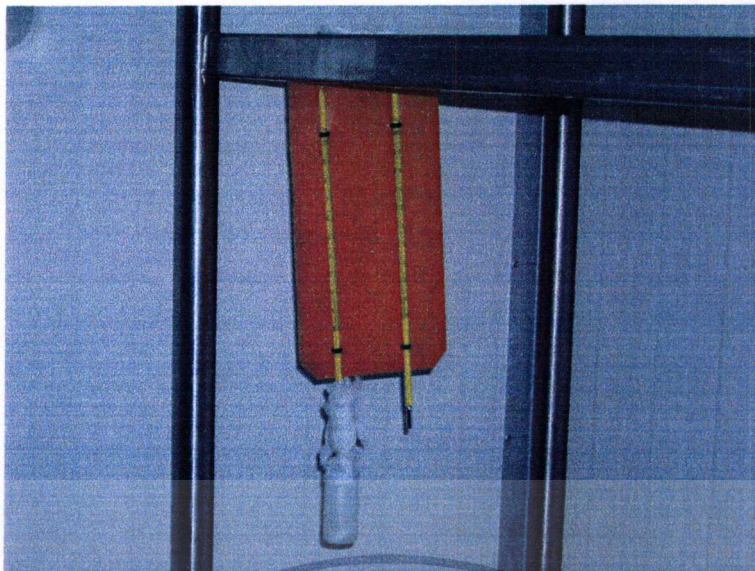
หลังจากที่เก็บเกี่ยวผลส้มโอมาแล้วต่อไปจะนำผลส้มโอเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิวผลส้มโอด้วยไข (Nature Bright, ประเทศอิสราเอล) ก่อนที่จะนำผลส้มโอเข้าเก็บรักษาภายในห้องเย็นโดยใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส โดยมีการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็นด้วยวิธีวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ซึ่งอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองเป็นดังนี้

#### อุปกรณ์

1. เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท 2 ตัว
2. แผ่นพลาสติกลูกฟูก 1 แผ่น
2. ผ้าตาข่ายสำหรับพันแผล 1 ม้วน
3. ขวดพลาสติกขนาดเล็ก 1 ขวด
4. กราฟไซโครเมตริกชาร์ต 1 แผ่น

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง โดยนำเทอร์โมมิเตอร์ติดกับแผ่นพลาสติกลูกฟูกที่เตรียมเอาไว้ทั้ง 2 ตัว โดยพันด้วยผ้าตาข่ายสำหรับพันแผล ที่เทอร์โมมิเตอร์ 1 ตัวและสวมส่วนที่พันด้วยผ้าตาข่ายสำหรับพันแผลลงในขวดพลาสติกที่ใส่น้ำเตรียมไว้
2. นำอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งแขวนในห้องเย็นดังรูปที่ 3.1 ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที แล้วบันทึกอุณหภูมิ หลังจากนั้นจะวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งอีก 2 ครั้ง ทุก 15 วัน
3. หาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง จากนั้นนำมาพล็อตลงในกราฟไซโครเมตริกชาร์ต เพื่อหาค่าความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 3.1 การวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งในห้องเย็น



รูปที่ 3.2 การเคลื่อนผิวส้มโอด้วยสารเคลื่อนผิว

### 3.4 กำหนดระยะเวลาในการเก็บรักษาและวันในการทดลอง

การศึกษาสมบัติต่างๆ ของส้มโอทำการทดลองก่อนการเก็บรักษา 1 ครั้ง ส่วนหลังเก็บรักษาทำการทดลองหลังเก็บรักษาไปแล้ว 15 30 45 60 75 90 105 และ 120 วัน ผลส้มโอที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ทั้งหมด 180 ผล ในแต่ละครั้งการทดลองนั้นจะใช้ส้มโอ 20 ผลต่อ 1 ครั้งการทดลอง โดยวันที่ทำการทดลองแสดงในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 คุณภาพภายนอกของผลส้มโอ

คุณภาพภายนอกที่ศึกษาแบ่งออกเป็น สมบัติทางกายภาพ คือ ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่น สีผลส้มโอ และสมบัติเชิงกลของผลส้มโอซึ่งทดสอบโดยวิธี Compression test จากวิธีนี้ค่าที่ได้คือ ความแน่นเนื้อเริ่มต้น ความแน่นเนื้อเฉลี่ย การดูดซับพลังงาน ระดับความยืดหยุ่น การคลายความเค้น และอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และวิธี Puncture test จากวิธีนี้ค่าที่ได้คือ ความแน่นเนื้อเริ่มต้น ความแน่นเนื้อเฉลี่ย แรงฉีกครากและระยะทางที่ทำให้เกิดแรงฉีกคราก แรงที่ทำให้เปลือกทะลุและระยะทางที่ทำให้เปลือกทะลุ แรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอและพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอ แรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในเนื้อส้มโอและพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในเนื้อส้มโอ ความเหนียวของเปลือกผลส้มโอและแรงที่ใช้ในการแทงทะลุเนื้อส้มโอ

หลังจากที่ทิ้งผลส้มโอให้มีอุณหภูมิที่สมดุลกับอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว จากนั้นจึงนำผลส้มโอมาตรวจวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FQA NIR GUN และเครื่อง NIR Transmittance จากนั้นตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของผลส้มโอ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาการเก็บรักษาและวันที่ในการทดลอง

ครั้งที่	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	วัน/เดือน/ปี
1	0	8 กรกฎาคม 2551
2	15	21 กรกฎาคม 2551
3	30	4 สิงหาคม 2551
4	45	18 สิงหาคม 2551
5	60	1 กันยายน 2551
6	75	15 กันยายน 2551
7	90	29 กันยายน 2551
8	105	13 กันยายน 2551
9	120	27 ตุลาคม 2551

#### 3.5.1 การวัดสเปกตรัมของผลส้มโอด้วยเครื่อง FQA NIR GUN

การทดลองเพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลส้มโอ โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วง Near Infrared Spectroscopy จากเครื่อง FQA NIR GUN (FANTEC inc., Japan) ซึ่งมีลักษณะการวัดแบบ Interactance มีช่วงคลื่นระหว่าง 600-1100 นาโนเมตร และทำการตรวจวัดทุกๆ 2 นาโนเมตร ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อุปกรณ์

1. เครื่อง FQA NIR GUN (FANTEC inc., Japan) 1 เครื่อง (รูปที่ 3.3)
2. วัสดุอ้างอิง 1 ตัว
3. กระดาษชำระ 1 ม้วน
4. ปากกาเคมี 1 ด้าม

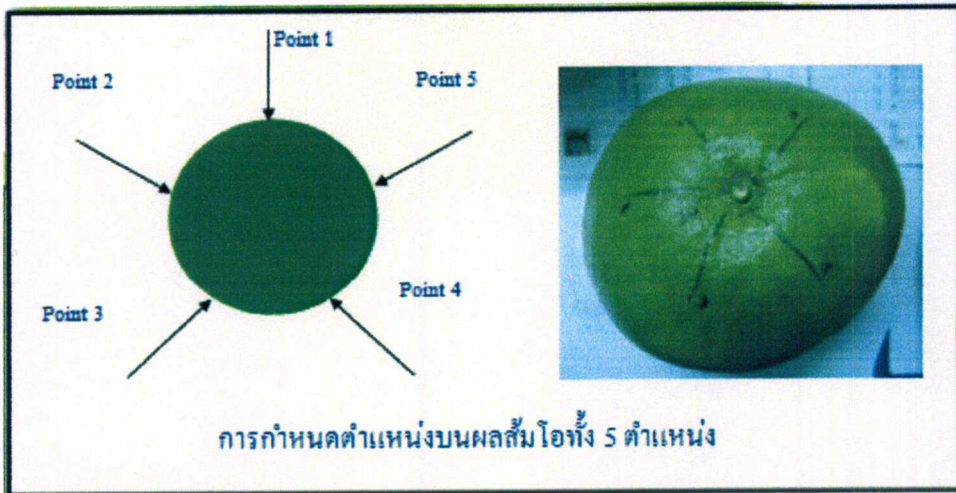


รูปที่ 3.3 เครื่อง FQA NIR GUN (FANTEC inc., Japan)

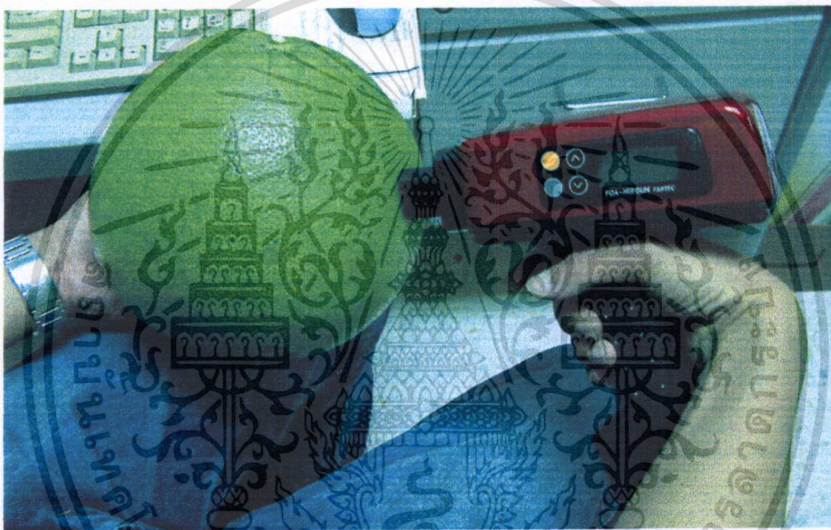
## ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำความสะอาดผลส้มโอด้วยกระดาษชำระรอบผลส้มโอ
2. กำหนดตำแหน่งที่ตรวจวัดบริเวณด้านข้างกึ่งกลางผลส้มโอรวม 5 ตำแหน่งรอบผลส้มโอ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 แล้วทำเครื่องหมายบอกจากตำแหน่งวัดที่ 1-5 ทวนตามเข็มนาฬิกาไว้เหนือตำแหน่งวัดใกล้ขั้วผล
3. นำเครื่อง FQA NIR GUN มาตรวจวัดวัสดุอ้างอิงก่อน เพื่อนำเป็นค่าอ้างอิงในการทำงานของเครื่อง
4. วัดสเปกตรัมของผลส้มโอ (รูปที่ 3.5) แต่ละตำแหน่งวัด 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย
5. ดำเนินการตรวจวัดทั้ง 5 ตำแหน่ง ของส้มโอแต่ละผล
6. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2-5 จนครบ 20 ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งวัดสเปกตรัม 5 จุดบนผลส้มโอ



รูปที่ 3.5 การตรวจวัดสเปกตรัมผลส้มโอด้วยเครื่อง FQA NIR GUN

### 3.5.2 การวัดสเปกตรัมของผลส้มโอด้วยเครื่อง NIR Transmittance

การตรวจวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR Transmittance ความยาวคลื่นที่ใช้เท่ากับ 660 - 960 นาโนเมตร โดยลักษณะการวัดเป็นแบบ Transmittance ทำการตรวจวัดทุกๆ 1 นาโนเมตร  
อุปกรณ์

1. เครื่อง NIR Transmittance (SEIKA, Japan) 1 เครื่อง (รูปที่ 3.6)
2. ชุดคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
3. วัสดุอ้างอิง 1 ตัว

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจวัดวัสดุอ้างอิงก่อน เพื่อนำเป็นค่าอ้างอิงในการทำงานของเครื่อง
2. นำส้มโอที่วัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FQA NIR GUN แล้ววางบนเครื่อง NIR

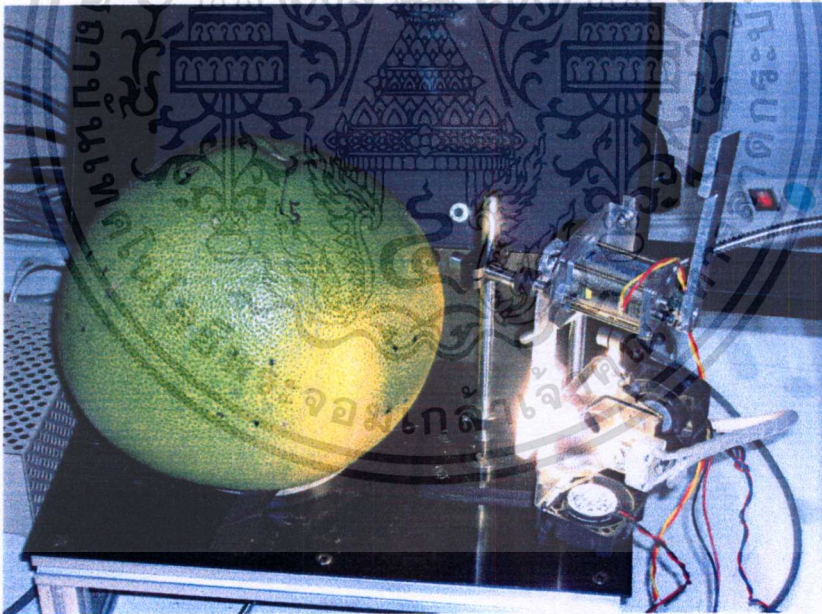
Transmittance (รูปที่ 3.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดสเปกตรัมของผลส้มโอในตำแหน่งที่ 1 และ 3 ที่ได้กำหนดไว้บนผลส้มโอ
4. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2-3 จนครบ 10 ผล แล้วตรวจวัดวัสดุอ้างอิงอีกครั้ง เพื่อนำเป็นค่าอ้างอิงในการทำงานของเครื่อง และดำเนินการตามขั้นตอน 2-3 อีก 10 ผลที่เหลือ



รูปที่ 3.6 เครื่อง NIR Transmittance (SEIKA, Japan)



รูปที่ 3.7 การวัดสเปกตรัมของผลส้มโอด้วยเครื่อง NIR Transmittance

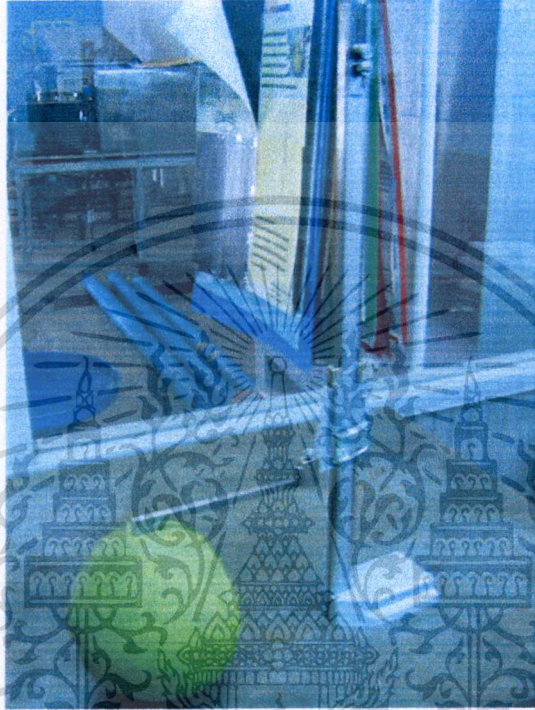
### 3.5.3 การตรวจวัดขนาดของผลส้มโอ

การวัดขนาดของผลส้มโอใช้หลักการหาเส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลเชิงเรขาคณิต (Geometric Mean Diameter) ในการวัดขนาดผลส้มโอ

#### อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Vernier Height Gauge (Mitsutoyo, H6-18" P Mitsutoyo, Japan) ความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.8) 1 เครื่อง
2. โต๊ะ 1 ตัว
3. ระดับน้ำ 1 ตัว
4. หัววัดที่ถูกตัดแปลงเพื่อวัดขนาดผลส้มโอ 1 ตัว



รูปที่ 3.8 การวัดขนาดผลส้มโอด้วย Vernier Height Gauge Mitsutoyo

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. วัดระดับ โต๊ะที่ใช้ในวัดขนาดให้ได้ระดับ โดยใช้ระดับน้ำ
2. ประกอบหัววัดที่ถูกตัดแปลงเพื่อใช้วัดขนาดผลส้มโอเข้ากับ Vernier Height Gauge
3. วัดขนาดผลส้มโอโดย 1 ผล วัดความยาวเป็นเส้นตรงทั้งหมด 3 แกน คือ (1) แกน A คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากขั้วผลถึงก้นผล (2) แกน B คือวัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับแกน A (3) แกน C วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับแกน A และแกน B แล้วบันทึกผล
4. วัดขนาดผลส้มโอตามขั้นตอนที่ 3 จนครบ 20 ผล
5. นำค่าที่บันทึกไปคำนวณค่า ของผลส้มโอ จากสมการที่ 3.1

$$\text{GMD} = \left( \frac{ABC}{3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่
- A คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากขั้วผลถึงก้นผล (มิลลิเมตร)
  - B คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับแกน A (มิลลิเมตร)
  - C คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับแกน A และแกน B (มิลลิเมตร)

### 3.5.4 การตรวจวัดน้ำหนักของผลส้มโอ

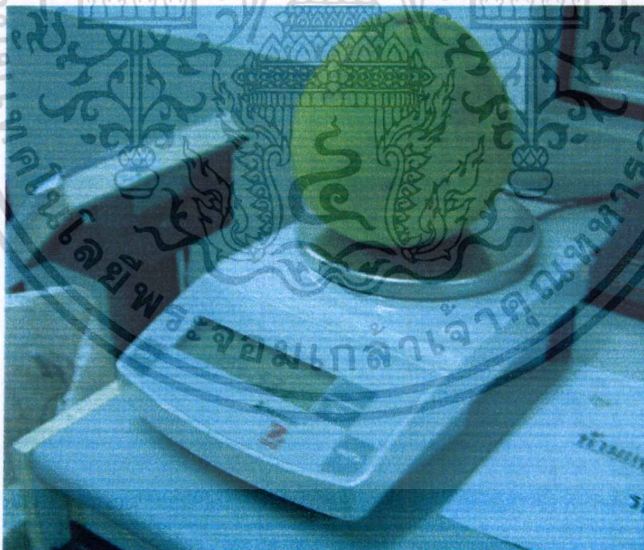
หลังจากการวัดขนาดผลส้มโอเรียบร้อยแล้วจึงนำผลส้มโอมาชั่งน้ำหนัก ซึ่งอุปกรณ์และวิธีการทดลองเป็นดังนี้

#### อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ OHAUSS รุ่น ARC 120 ขนาด 3000 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม (รูปที่ 3.9) 1 เครื่อง

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำส้มโอวางบนเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ แล้วอ่านค่าน้ำหนักของผลส้มโอ แล้วบันทึกผล
2. ทดลองซ้ำข้อ 1 จนครบ 20 ผล



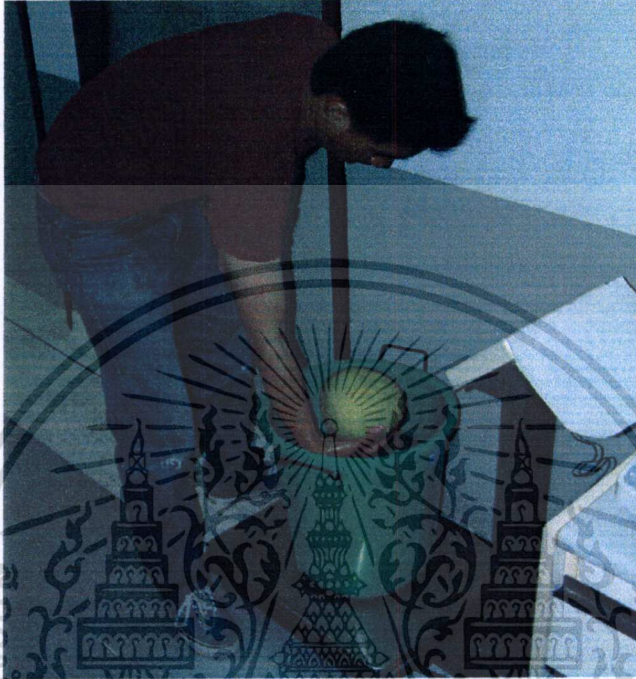
รูปที่ 3.9 การชั่งน้ำหนักผลส้มโอด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ OHAUSS รุ่น ARC 120 ขนาด 3000 กรัม

### 3.5.5 การตรวจวัดปริมาตรและความหนาแน่นของผลส้มโอ

การดำเนินทดลองเพื่อตรวจวัดปริมาตรและความหนาแน่นของผลส้มโอนั้นทำได้ดังนี้  
 ตอนดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็น **อุปกรณ์** สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก (UWE Model รุ่น AFM ขนาด 60 กิโลกรัม ความละเอียด 0.01 กิโลกรัม (รูปที่ 3.10)
2. ถังน้ำขนาดบรรจุน้ำได้ 10 ลิตร
3. น้ำกลั่น หรือน้ำ RO



รูปที่ 3.10 การชั่งน้ำหนักผลส้มโอในน้ำโดยเครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 60 กิโลกรัม

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำน้ำมาเติมใส่ถังประมาณ  $\frac{1}{4}$  ของถัง
2. นำถังน้ำมาวางบนเครื่องชั่งน้ำหนัก
3. นำมือจุ่มลงในถังที่ใส่น้ำขณะวางอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนักคลิกประมาณข้อมือของผู้ทดลอง และทำสัญลักษณ์ที่ข้อมือบริเวณจุดแบ่งแยกระหว่างที่เปียกน้ำกับที่ไม่เปียกน้ำ ปรับค่าน้ำหนักตาชั่งให้เท่ากับ 0 (set zero)
4. เช็ดมือให้แห้งแล้วจับผลส้มโอทีละ 1 ผล มานำใส่ในในถังที่ใส่น้ำให้ผลส้มโอจมทั้งผล โดยสังเกตจากสัญลักษณ์ที่ทำไว้อ่านค่าน้ำหนักที่ได้ แล้วบันทึกน้ำหนัก
5. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1-4 จนครบ 20 ผล
6. คำนวณปริมาตรของผลส้มโอจากสมการที่ 3.2

$$V_m = \frac{m_L}{\rho_L} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่  $V_m$  คือปริมาตรของผลส้มโอ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)  
 $m_L$  คือมวลของน้ำที่ถูกลบที่ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งในขั้นตอนที่ 4 (กรัม)  
 $\rho_L$  คือความหนาแน่นของน้ำ (เท่ากับ 1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
7. คำนวณความหนาแน่นของผลส้มโอจากสมการที่ 3.3

$$\rho_m = \frac{m_m}{V_m} \quad (3.3)$$

- โดยที่  $\rho_m$  คือความหนาแน่นของผลส้มโอ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)  
 $m_m$  คือมวลของผลส้มโอที่ได้จากการทดลองชั่งน้ำหนักส้มโอ (กรัม)  
 $V_m$  ปริมาตรของผลส้มโอที่ได้จากสมการที่ 2 (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

### 3.5.6 การตรวจวัดสีผิวของผลส้มโอ

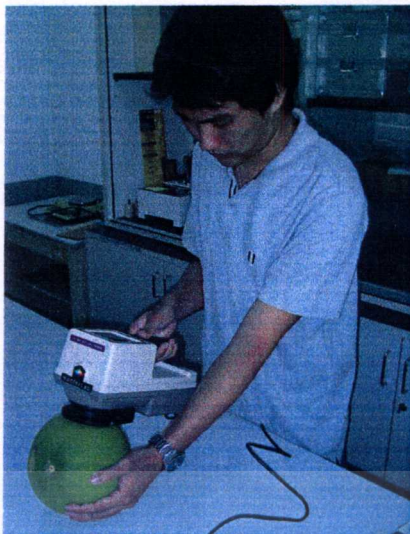
การดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดสีผิวของส้มโอ จะตรวจวัดบริเวณที่ตรวจวัดสเปกตรัมผลส้มโอทั้ง 5 จุด โดยใช้มาตรฐานระบบ CIELab ( $L^*a^*b^*$ ) ในแต่ละตำแหน่งสแกน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองเป็นดังนี้

#### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี Hunter Lab (Miniscan XE Plus 45/0 LAV, Reston, USA) (รูปที่ 3.11)
2. แผ่นตรวจวัดค่ามาตรฐานของสีขาวและสีดำ 1 ชุด
3. เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับตั้งค่าเครื่องวัดสี Hunter Lab และเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้พร้อมใช้งานโดยกำหนด มุมมอง (Observer Angle) 2 องศา แสงมาตรฐาน (Illuminant) ชนิด D 65
2. วัดค่ามาตรฐานสีขาวและสีดำ เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง
3. ตรวจวัดทั้ง 5 ตำแหน่งรอบผลส้มโอ แต่ละตำแหน่งวัด 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย และบันทึกผล
4. ทดลองซ้ำข้อ 2 และ 3 จนครบทั้ง 20 ผล



รูปที่ 3.11 การทดลองวัดสีของผลส้มโอ โดยเครื่องวัดสี Hunter Lab MiniScan XE Plus

### 3.5.7 การตรวจวัดเนื้อสัมผัสของผลส้มโอ

การทดลองเพื่อตรวจวัดเนื้อสัมผัสของผลส้มโอด้วยเครื่อง Texture Analyzer นั้นจะทำการทดสอบแบบ Puncture Test ซึ่งเป็นวิธีในการทดสอบเนื้อสัมผัสที่จุดใดๆ โดยการทดลองนี้จะทดสอบที่ตำแหน่งหมายเลข 2 ที่ได้กำหนดเอาไว้บนผลส้มโอ และทดสอบแบบ Plate Compression Test กับตำแหน่งที่ 4 ที่ได้กำหนดเอาไว้บนผลส้มโอ

#### อุปกรณ์

เครื่อง

1. เครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System รุ่น TA. HD. Plus, London, UK) 1

2. เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง

3. หัวกดชนิดแท่งทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 6 มิลลิเมตร 1

หัว

4. หัวกดแบบแผ่นกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร 1 หัว

5. กระบะทรายละเอียดและทรายละเอียด 1 กระบะ

6. กระดาษทิชชู 1 ม้วน

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ใ้หัวกดแท่งทรงกระบอกสำหรับการทดสอบ Puncture test และปรับตั้งเครื่อง Texture Analyzer ให้พร้อมใช้งานในการทดสอบแบบ Puncture test โดยกำหนดความเร็วในการกดเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที และความลึกในการแทงทะลุเท่ากับ 50 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.12)

2. นำกระบะทรายเปียกวางไว้ตรงแท่นวางผลไม้ ซึ่งจะอยู่ใต้หัวกด

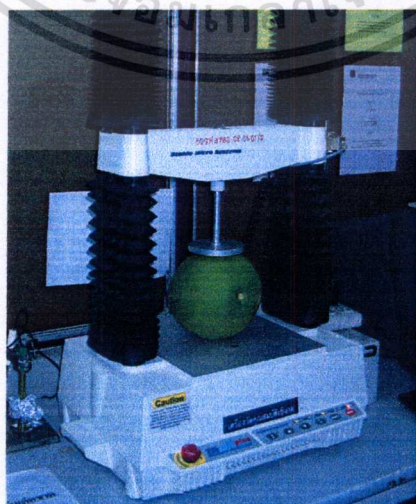
3. เริ่มนำผลส้มโอที่ละผลวางไว้บนกระบะทรายให้ตำแหน่งที่หมายเลข 2 ตรงกับหัวกดพอดีและสั่งให้เครื่องทำงาน โดยหลังจากทดสอบไปแล้วประมาณ 2-3 ผลให้ใช้ทิชชูทำความสะอาดหัวกด แล้วบันทึกข้อมูลที่ได้อิงในเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
4. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3 ให้ครบ 20 ผล  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปลี่ยนหัวกดเป็นชนิดแบบ Compression test และปรับตั้งเครื่อง Texture Analyzer ให้พร้อมใช้งานในการทดสอบแบบ Compression test โดยกำหนดความเร็วในการกดเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาทีและแรงสูงสุดในการกดเท่ากับ 40 นิวตัน โดยกดค้างไว้ 30 วินาที
6. นำผลส้มโอวางบนฐานของเครื่อง Texture Analyzer โดยวัดที่ตำแหน่งที่ 4 ที่ได้กำหนดไว้และสั่งให้เครื่องทำงาน (รูปที่ 3.13) บันทึกข้อมูลที่ได้ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์
7. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 6 จนครบผลส้มโอทุกผล
8. เขียนโปรแกรมสำหรับคำนวณค่าต่างๆ ซึ่งเป็นสมบัติทางเนื้อสัมผัสจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ



รูปที่ 3.12 การทดลองตรวจสอบเนื้อสัมผัสของผลส้มโอด้วยวิธีการทดสอบแบบ Puncture Test



รูปที่ 3.13 การทดลองตรวจสอบเนื้อสัมผัสของผลส้มโอด้วยวิธีการทดสอบแบบ Plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 คุณภาพภายในของผลส้มโอ

คุณภาพภายในที่ศึกษาได้แก่ สมบัติเชิงกลของเนื้อส้มโอโดยใช้วิธี Puncture test ซึ่งค่าที่ได้คือ แรงที่ทำให้เนื้อส้มโอทะลุ (Rupture force) แรงเฉลี่ยในการแทง (Average force) ความเหนียวของเนื้อส้มโอ (Thoughtness) ส่วนสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Soluble Solid) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable Acidity)

เมื่อทดลองตรวจสอบคุณสมบัติภายนอกผลส้มโอเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นจะนำส้มโอมาปอกเปลือกออก และแกะเอาเฉพาะเนื้อเรียงใส่ถาดโฟมตามแนวขวาง โดย 1 ผล แบ่งใส่ 2 ถาดโดยใช้เนื้อบริเวณที่ตรวจวัดสเปกตรัม โดยเครื่อง NIR Transmittance (จุดที่ 1 และ 3) แล้วปิดด้วยฟิล์มพลาสติก PVC ความหนา 10 ไมครอน จากนั้นนำมาตรวจวัดด้วยเครื่อง FQA NIR GUN และตรวจสอบคุณสมบัติภายใน ได้แก่ สีของเนื้อส้มโอ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ Titratable Acidity ของน้ำส้มโอ และ เนื้อส้มฝัดเนื้อส้มโอ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

#### 3.6.1 การตรวจวัดแบบไม่ทำลายด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ของเนื้อส้มโอ

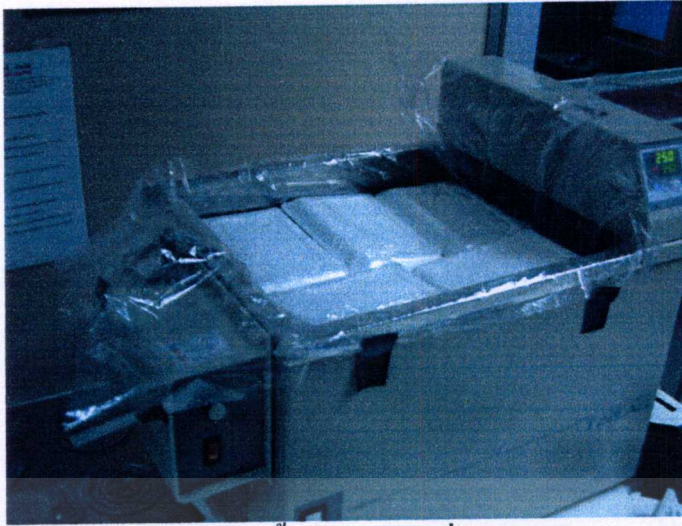
การดำเนินการทดลองเพื่อวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วง Near Infrared ของเนื้อส้มโอ โดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN ซึ่งมีลักษณะการวัดแบบ Interactance มีช่วงคลื่นระหว่าง 600-1100 นาโนเมตร และมีความละเอียด 2 นาโนเมตร

##### อุปกรณ์

1. เครื่อง FQA NIR GUN (FANTEC inc., Japan) 1 เครื่อง (รูปที่ 3.2)
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ 1 เครื่อง (รูปที่ 3.14)
3. วัสดุอ้างอิง 1 ตัว
4. ผ้าสีดำ 1 ผืน
5. นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน
6. กระดาษชำระ 1 ม้วน

##### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเครื่อง FQA NIR GUN มาตรวจวัดวัสดุอ้างอิงก่อน เพื่อนำเป็นค่าอ้างอิงในการทำงานของเครื่อง
2. นำถาดบรรจุเนื้อส้มโอวางในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ปรับระดับอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 3.14 การปรับอุณหภูมิเนื้อสั้ม โอคัด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำ

3. เริ่มการตรวจวัดที่ตะถาดโฟม โดยตรวจวัด 3 ครั้งต่อ 1 ถาดเพื่อหาค่าเฉลี่ยในแต่ละชั้น โดยแต่ละครั้งที่ตรวจวัดต้องใช้ผ้าคลุมเพื่อป้องกันแสงจากภายนอก
4. ดำเนินการตรวจวัดจนครบทุกถาด และบันทึกผลในคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.15 การทดลองตรวจวัดสเปกตรัมของเนื้อสั้ม โอคัด้วย FQA NIR GUN

### 3.6.2 การตรวจวัดสีของเนื้อสั้มโอ

การตรวจวัดสีของเนื้อสั้มโอนั้นจะมีขั้นตอนการตรวจวัดเช่นเดียวกับการตรวจวัดสีของผลสั้มโอซึ่งอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองนั้นเป็นดังนี้

#### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี Hunter Lab (Miniscan XE Plus 45/0 LAV, Reston, USA) 1 เครื่อง
2. แผ่นตรวจวัดค่ามาตรฐานของสีขาวและสีดำ 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ผ่าคลุมสีค่า 1 ฟีน

##### ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับตั้งค่าเครื่องวัดสี Hunter Lab และเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้พร้อมใช้งานโดยกำหนด มุมมอง (Observer Angle) 2 องศา แสงมาตรฐาน (Illuminant) ชนิด D 65
2. ตรวจสอบวัดที่เนื้อส้มโอ โดยวัด 3 ครั้งต่อ 1 ถาด เพื่อหาค่าเฉลี่ยในแต่ละชั้น
3. ดำเนินการตามขั้นตอนจนครบ 20 ผล และบันทึกผล



รูปที่ 3.16 การทดลองวัดสีของเนื้อส้มโอ โดยเครื่องวัดสี Hunter Lab MiniScan XE Plus

#### 3.6.3 การตรวจวัดเนื้อส้มผัสของเนื้อส้มโอ

การตรวจวัดเนื้อส้มผัสของเนื้อส้มโอนั้นขั้นตอนการทดลองนั้นมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการตรวจวัดเนื้อส้มผัสของผลส้มโอซึ่งอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองเป็นดังนี้

##### อุปกรณ์

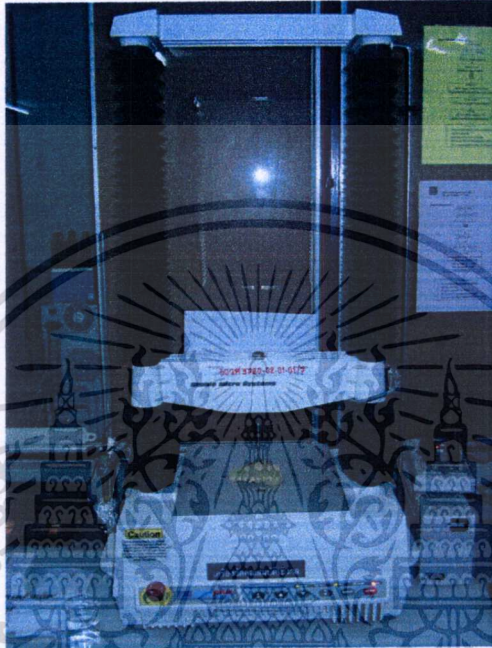
1. เครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System รุ่น TA. HD. Plus, London, UK) 1 เครื่อง
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
3. หัวกดชนิดแท่งทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 6 มิลลิเมตร
4. กระดาษทิชชู 1 ม้วน

##### ขั้นตอนการทดลอง

1. กำหนดตำแหน่งตรวจวัดบริเวณกลางถาดโฟมที่มีเนื้อส้มโอวางอยู่ เลือกจุดที่อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใส่หัวกดแบบ แท่งทรงกระบอก สำหรับการทดสอบ Puncture test กำหนดความเร็วในการกดเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาทีและความลึกในการกดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร
3. นำถาดโฟมที่มีเนื้อสัมผัสโหวางอยู่มาวางไว้บนแท่นวัดให้ตำแหน่งวัด ตรงกับหัวกดพอดี และสั่งให้เครื่องทำงาน
4. ดำเนินการตรวจวัดตามขั้นตอนจนครบทุกการทดลอง



รูปที่ 3.17 การทดลองตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเนื้อสัมผัสโหวด้วยวิธีการทดสอบแบบ Plate Compression Test

### 3.6.4 การตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอ

การดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ใช้น้ำส้มโอที่คั้นได้จากเนื้อส้มโอชิ้นที่ใช้ในการวัดสเปกตรัม โดยเครื่อง NIR Transmittance (จุดที่ 1 และ 3)

#### อุปกรณ์

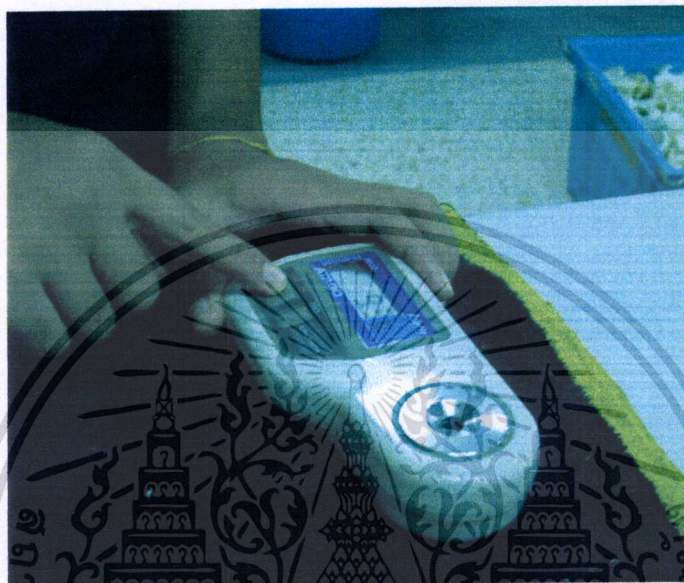
1. เครื่อง Digital Refractometer (ATAGO, Pocket PAL – 1, Japan) ความละเอียด 0.1 Brix 1 เครื่อง (รูปที่ 3.18)
2. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร 1 ใบ
3. น้ำกลั่น 1 ลิตร
4. กระดาษทำความสะอาด 1 ม้วน
5. ที่คั้นน้ำผลไม้ 1 เครื่อง

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเนื้อส้มโอเฉพาะชิ้นผ่านการทดลองข้างต้นมาคั้นน้ำใส่บีกเกอร์และบันทึกปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หยคน้ำส้มโอในช่องที่ใส่ตัวอย่างของเครื่อง Refractometer แล้วอ่านค่า % Brix ทำ 2-3 ซ้ำ แล้วบันทึกผล
3. จากนั้นเทตัวอย่างออกจากเครื่อง Refractometer ล้างด้วยน้ำกลั่นและใช้กระดาษเช็ดให้แห้ง
4. ดำเนินการตรวจวัดตามขั้นตอนจนครบทุกตัวอย่าง



รูปที่ 3.18 การทดสอบหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้

### 3.6.5 การตรวจวัดค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable Acidity) น้ำส้มโอ

การดำเนินการทดสอบเพื่อตรวจวัดปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของน้ำส้มโอที่เหลือจากการทดสอบหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยวิธีการไตเตรท ตามวิธี AOAC (1990)

#### อุปกรณ์

1. เครื่อง pH meter แบบหัวจุ่ม (HANNA HI 8521, Italy) ความละเอียด 0.01 pH 1 เครื่อง (รูปที่ 3.19)
2. สารละลาย Buffer solution ที่มีค่า pH เท่ากับ 4 และ 7 สำหรับปรับตั้งหัวจุ่มของเครื่อง pH meter 1 ชุด
2. บิวเรต 1 ชุด
4. สารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M 1 ลิตร
5. น้ำกลั่น 1 ลิตร
6. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร 1 ใบ
7. เครื่องกวนสารละลายแบบแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) 1 เครื่อง
8. แม่เหล็กกวนสาร 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 เครื่อง pH meter แบบหิ้ว HANNA HI 8521

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M และบรรจุใส่ในบิวเรตจนเต็ม
2. ปรับตั้งเครื่อง pH meter แบบหิ้ว HANNA HI 8521 ด้วยสารละลาย Buffer solution ที่มีค่า pH เท่ากับ 4 และ 7
3. นำน้ำส้มโอที่เหลือจากการหาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. นำบีกเกอร์ที่ใส่น้ำส้มโอวางบนเครื่องเหยียงสารละลายและนำหัวจุ่มวัดค่า pH ของน้ำส้มโอที่เตรียมไว้และบันทึกผลค่า pH เรียบร้อย
5. ไตเตรทน้ำส้มโอด้วยสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) จนกระทั่งค่า pH ที่อ่านได้จากเครื่องเครื่อง pH meter แบบหิ้ว HANNA HI 8521 มีค่าเท่ากับ 6 อ่านและบันทึกค่าปริมาณของสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) ที่ใช้ไปจากบิวเรต
6. หลังจากนั้นไตเตรทสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M อย่างช้าๆ จนกระทั่งค่า pH เท่ากับ 7 ขณะที่ค่า pH เท่ากับ 7 แล้วนั้นเติมสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M ลงไปอีก 4 หยด อ่านและบันทึกค่าปริมาณของสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M ที่ใช้ไปจากบิวเรต
7. จากนั้นทำการไตเตรทต่อจนกระทั่งค่า pH ที่อ่านได้มีค่าเท่ากับ 8.1 อ่านและบันทึกค่า

ปริมาณของสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M ที่ใช้ไปจากบิวเรต ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า pH ที่ยอมรับได้นั้นจะต้องอยู่ในช่วง  $8.1 \pm 0.02$

8. กำหนดค่าปริมาณกรดในน้ำส้มโอ ซึ่งค่าที่ได้จะแสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ขอปริมาณกรดซิตริกในน้ำส้มโอจากสมการที่ 3.3 และบันทึกผลที่ได้จากการคำนวณ

9. ทำซ้ำข้อ 2-8 จนครบตัวอย่างที่เตรียมไว้

$$\text{ปริมาณกรดที่ได้อัตรา} = \frac{0.1 (N.) \times \text{ปริมาตร NaOH ที่ไตเตรท (ml.)} \times \text{ค่ากรดซิตริก (0.064)} \times 100}{\text{ปริมาตรของน้ำส้มโอ (ml.)}} \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.20 การทดลองวัดค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (pH) ของน้ำส้มโอและการทดลองหาปริมาณกรดในน้ำส้มโอ

### 3.6.6 การคำนวณค่าปริมาณกรดต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้

หลังจากวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้และค่าปริมาณกรดได้แล้วหลังจากนั้นจึงนำมาคำนวณค่าปริมาณกรดต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากสมการที่ 3.4 ซึ่งค่าปริมาณกรดต่อปริมาณของแข็งที่ละลายเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงความเปรี้ยวต่อความหวานของน้ำส้มโอ

$$\text{ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งที่ละลายได้}}{\text{ปริมาณกรดที่ได้อัตรา}} \quad (3.4)$$

### 3.7 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในและภายนอกของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษา

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในและภายนอกของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) เพื่อตรวจสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $P > 0.05$ )

### 3.8 การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษาส้มโอ

การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษาส้มโอใช้วิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) และวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมของผลส้มโอจากเครื่อง NIR Transmittance สเปกตรัมของผลส้มโอจากเครื่อง FQA NIR GUN และ สเปกตรัมของเนื้อส้มโอจากเครื่อง FQA NIR GUN โดยจะทำการแบบจัดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction โดยสัดส่วนในการแบ่งนั้นจะให้กลุ่ม Calibration เป็น 30 ตัวอย่าง และกลุ่ม Prediction เป็น 10 ตัวอย่างของแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มนั้นใช้วิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) และวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) ความแม่นยำในการทำนายการแบ่งกลุ่มจะวิเคราะห์ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ในการทำนาย ซึ่งรายละเอียดในการวิเคราะห์เป็นดังนี้

#### 3.8.1 การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษาส้มโอโดยใช้สเปกตรัมของผลส้มโอจากเครื่อง NIR ระบบ Transmittance

สเปกตรัมของผลส้มโอจากเครื่อง NIR Transmittance ที่นำมาวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มใช้ที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร และ ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตรสเปกตรัมดังนี้

1. สเปกตรัมเริ่มต้น
2. สเปกตรัมที่ปรับปรุงจากวิธี moving average smoothing
3. สเปกตรัมที่ปรับปรุงจากวิธี moving average smoothing ร่วมกับ Savitzky Golay second derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร
4. สเปกตรัมที่ปรับปรุงจากวิธี moving average smoothing ร่วมกับ multiplicative scatter correction

### 3.8.2 การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษาส้มโอโดยใช้สเปกตรัมของผลส้มโอจากเครื่อง FQA NIR GUN

แบบจำลองที่ได้สร้างจากสเปกตรัมของผลส้มโอจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่นำมาวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มใช้ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร และ ที่ความยาวคลื่น 663 - 961 นาโนเมตรสเปกตรัมดังนี้

1. สเปกตรัมเริ่มต้น
2. สเปกตรัมที่ปรับปรุงจากวิธี Savitzky Golay second derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร

### 3.8.3 การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษาส้มโอโดยใช้สเปกตรัมของเนื้อส้มโอจากเครื่อง FQA NIR GUN

แบบจำลองที่ได้สร้างจากสเปกตรัมของเนื้อส้มโอจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่นำมาวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มใช้ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร และ ที่ความยาวคลื่น 663 - 961 นาโนเมตรสเปกตรัมดังนี้

1. สเปกตรัมเริ่มต้น
2. สเปกตรัมที่ปรับปรุงจากวิธี Savitzky Golay second derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร

## 3.9 การประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอ

หลังจากการทดลองหาค่าคุณสมบัติภายในและภายนอกในห้องปฏิบัติการเสร็จสิ้นลงแล้วนั้น จะนำผลของค่าสเปกตรัมที่ได้จากการทดลองโดยเครื่อง NIR Transmittance และ FQA NIR GUN มาประเมินค่าสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอ โดยการแบ่งชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction โดยสัดส่วนในการแบ่งนั้นจะให้กลุ่ม Calibration และกลุ่ม Prediction เป็นอัตราส่วน 5:2 หลังจากทำการปรับปรุงสเปกตรัมตามวิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้วเสร็จสิ้นจากนั้นจะทำการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการประเมินสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอ ด้วยวิธีแบบจำลองจากวิธี Partial Least Square (PLS) เมื่อได้แบบจำลองแล้วจะนำแบบจำลองที่ได้มาทำนายข้อมูลกลุ่ม Prediction เพื่อดูความแม่นยำในการทำนายตัวเองโดยวิเคราะห์จากค่าทางสถิติด้วยค่า  $r$ , SEP และค่า Bias และจากนั้นนำแบบจำลองที่ได้มาทำนายค่าสมบัติภายในและภายนอกของส้มโอของกลุ่มข้อมูลชุด Prediction ซึ่งผลที่ได้จากการทำนายนั้นจะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นคือค่า  $r$  Bias และ SEP โดยรายละเอียดของแต่ละวิธีเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9.1 การประเมินสมบัติของสัมโมโดยใช้สเปกตรัมของผลสัมโมจากเครื่อง NIR

#### Transmittance

จากจุดวัดสเปกตรัมโดยเครื่อง NIR Transmittance คุณภาพของสัมโมที่วิเคราะห์ได้คือ สมบัติเชิงกลของเนื้อสัมโมซึ่งได้แก่ แรงที่ทำให้เนื้อสัมโมทะลุ แรงเฉื่อยในการแทง ความเหนียวของเนื้อสัมโม ความแน่นเนื้อเฉื่อยของผลสัมโม การดูดซับพลังงานของผลสัมโม และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด ปริมาณกรดต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยแบบจำลองใช้สเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร และ ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตร ซึ่งสเปกตรัมที่นำมาวิเคราะห์คือ

1. สเปกตรัมเริ่มต้น
2. สเปกตรัมที่ปรับปรุงจากวิธี moving average smoothing
3. สเปกตรัมที่ปรับปรุงจากวิธี moving average smoothing ร่วมกับ Savitzky Golay second derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร
4. สเปกตรัมที่ปรับปรุงจากวิธี moving average smoothing ร่วมกับ multiplicative scatter correction

### 3.9.2 การประเมินสมบัติของสัมโมโดยใช้สเปกตรัมของผลสัมโมจากเครื่อง FQA NIR

#### GUN

จากจุดวัดสเปกตรัมของผลสัมโมโดยเครื่อง FQA NIR GUN สามารถนำมาวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของผลสัมโมซึ่งทดสอบโดยวิธี Compression test จากวิธีนี้ค่าที่ได้คือ ความแน่นเนื้อเฉื่อย การดูดซับพลังงานของผลสัมโม และวิธี Puncture test จากวิธีนี้ค่าที่ได้คือ ความแน่นเนื้อเฉื่อย แรงที่ทำให้เปลือกทะลุ แบบจำลองที่ได้สร้างจากสเปกตรัมของผลสัมโมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่นำมาวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มใช้ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร และ ที่ความยาวคลื่น 663 - 961 นาโนเมตรสเปกตรัมดังนี้

1. สเปกตรัมเริ่มต้น
2. สเปกตรัมที่ปรับปรุงจากวิธี Savitzky Golay second derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร

### 3.9.3 การประเมินสมบัติของส้อมโอโดยใช้สเปกตรัมของเนื้อส้อมโอจากเครื่อง FQA NIR GUN

จากจุดวัดสเปกตรัมโดยเครื่อง NIR Transmittance คุณภาพของส้อมโอที่วิเคราะห์ได้คือ สมบัติเชิงกลของเนื้อส้อมโอซึ่งได้แก่ แรงที่ทำให้เนื้อส้อมโอทะลุ แรงเฉลี่ยในการแทง ความเหนียวของเนื้อส้อมโอ และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด ปริมาณกรดต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ แบบจำลองที่ได้สร้างจากสเปกตรัมของเนื้อส้อมโอจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่นำมาวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มใช้ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร และ ที่ความยาวคลื่น 663 - 961 นาโนเมตรสเปกตรัมดังนี้

1. สเปกตรัมเริ่มต้น
2. สเปกตรัมที่ปรับปรุงจากวิธี Savitzky Golay second derivatives ที่ segment 10 นาโน

เมตร

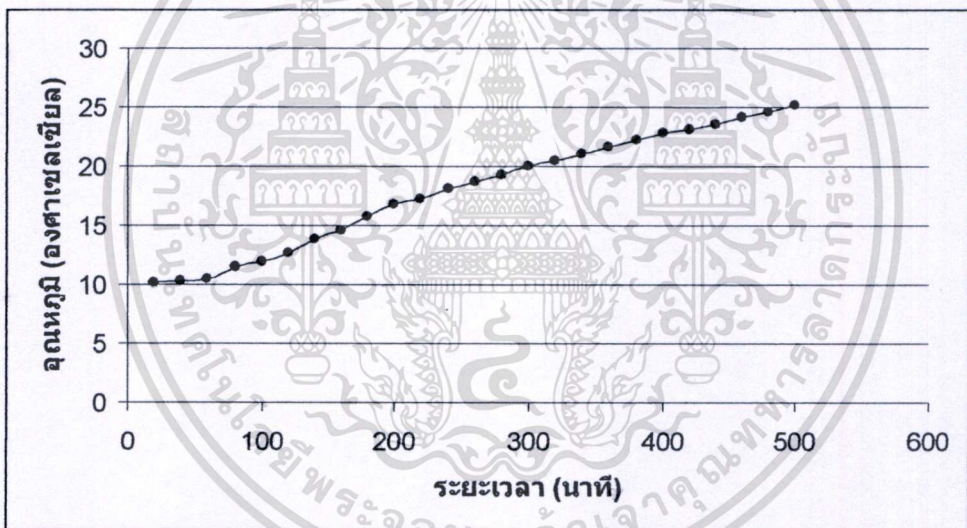


## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองหาระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของส้มโอเมื่อนำออกจากห้องเย็น

การทดลองหาระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของส้มโอเมื่อนำออกจากห้องเย็นนั้นทดลองโดยนำส้มโอมาเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของส้มโอ กราฟความสัมพันธ์ของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่อระยะเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 4.1



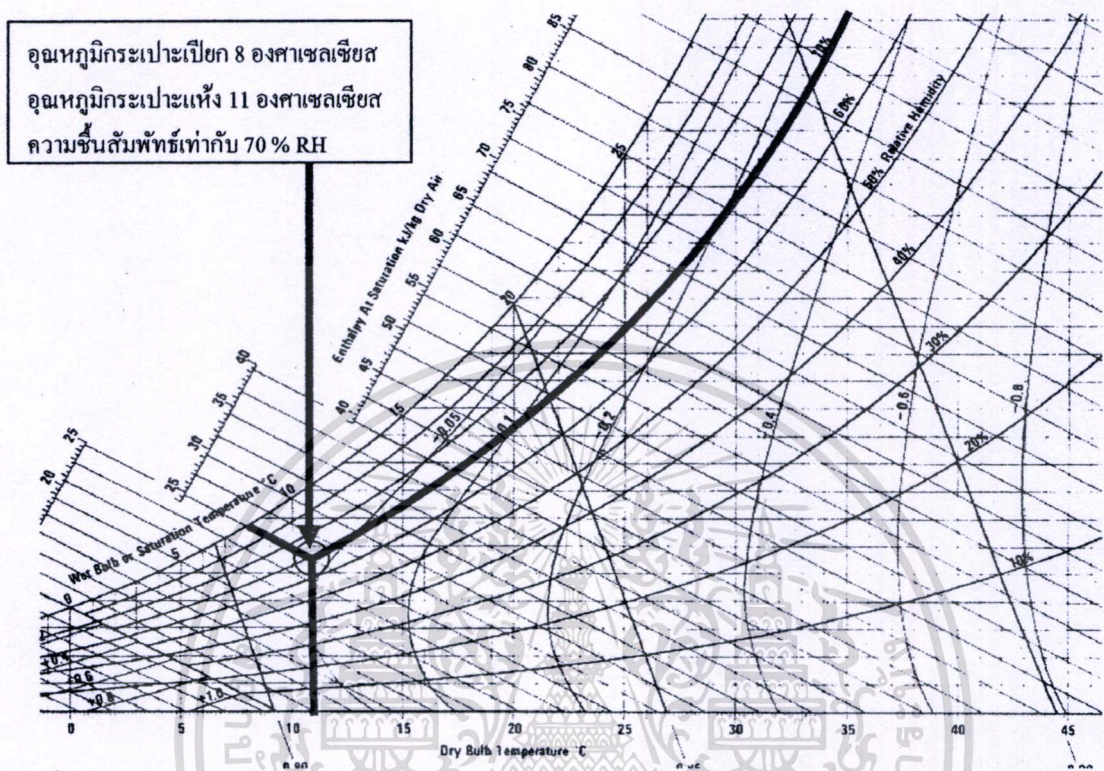
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของส้มโอกับระยะเวลา

จากรูปที่ 4.1 ผลส้มโอเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในจาก 10 องศาเซลเซียสเป็น 25 องศาเซลเซียส นั้นใช้เวลาทั้งสิ้น 500 นาที (8 ชั่วโมง 20 นาที) จากเวลาที่ได้จากการทดลองนี้นำมาใช้เป็นเวลาในการปรับอุณหภูมิภายในของส้มโอหลังจากนำออกมาจากห้องเย็น โดยในการทดลองนั้นทั้งส้มโอไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (1 วัน)

#### 4.2 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น การคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การวัดความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็นนั้นต้องวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของห้องเย็น ซึ่งผลของการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกเฉลี่ย เท่ากับ 8 องศาเซลเซียส

และอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 11 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาหาความชื้นสัมพัทธ์จากไซโครเมตริกส์ชาร์ทซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 จุดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของห้องเย็นบนไซโครเมตริกส์ชาร์ทโดยได้ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 70% RH

จากตารางที่ 4.2 นำค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของห้องเย็นมาพล็อตลงในไซโครเมตริกส์ชาร์ท ดังรูปที่ 4.1 จะได้ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 70% RH

### 4.3 ผลการทดลองหาสมบัติของสัสมโอ

สมบัติของผลสัสมโอจากการทดลองได้แสดงเป็นตารางค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัตินั้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา และกราฟของค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัตินั้นๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยการวิเคราะห์ทางสถิติใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อตรวจสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $P > 0.05$ ) ซึ่งกราฟสมบัติภายนอกต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.1 สมบัติทางกายภาพของผลและเนื้อส้มโอ

สมบัติทางกายภาพของผลส้มโอนั้นแสดงเป็นตารางค่าเฉลี่ยทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษาไว้ในตารางที่ 4.3 และกราฟค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัติต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาสามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 1. เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลเชิงเรขาคณิต

ในตารางที่ 4.3 จากรูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลเชิงเรขาคณิต ผลส้มโอตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ขนาดของผลส้มโอมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงมากนักอาจเนื่องมาจากการเคลือบผิวส้มโอก่อนเก็บรักษาจึงทำให้การระเหยของน้ำเกิดขึ้นน้อย

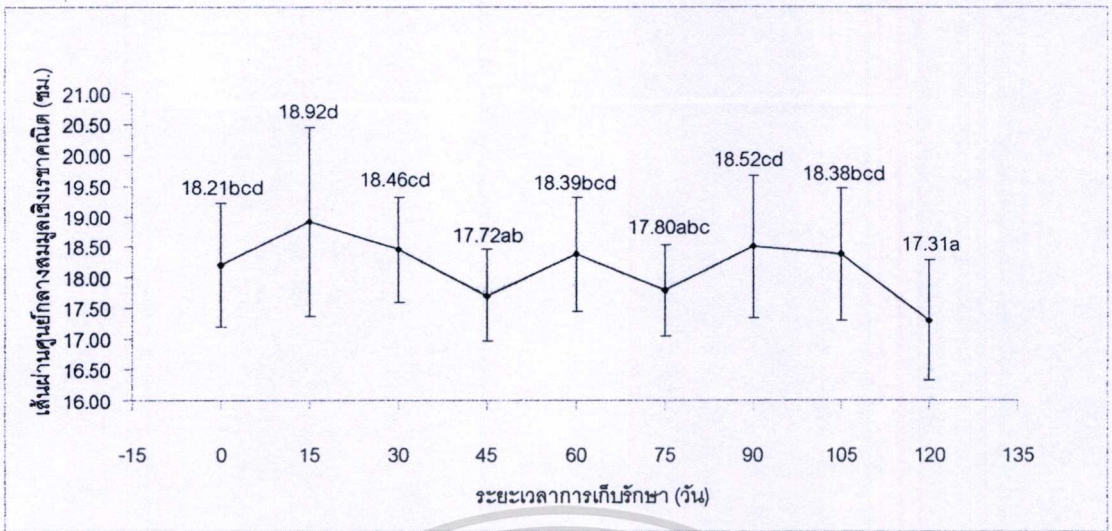
#### 2. น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่น

รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก ปริมาตรและความหนาแน่นของผลส้มโอตามระยะเวลาในการเก็บรักษา น้ำหนักและปริมาตรมีการเปลี่ยนแปลงน้อยตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ส่งผลให้ความหนาแน่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความหนาแน่น เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักและปริมาตร

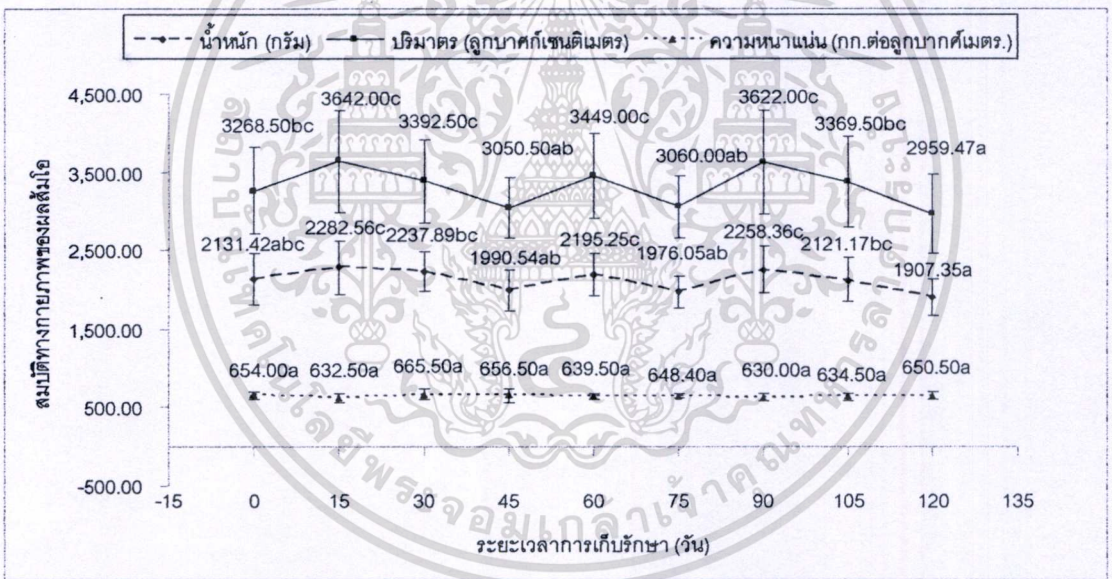
#### 3. สีผลและสีเนื้อส้มโอ

จากรูปที่ 4.5 แสดงค่าสีของผลส้มโอที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งจากกราฟค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นกล่าวได้ว่าสีของผลส้มโอนั้นมีสีที่สว่างขึ้นและเป็นสีเหลืองขึ้น (สังเกตจากค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ที่มีค่าเพิ่มขึ้น) ขณะที่เป็สีเขียวลดลง (สังเกตจากค่า  $a^*$  ที่มีค่าเพิ่มขึ้น) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น อาจเป็นเพราะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในผลส้มโอ จากการสังเกตพบว่หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือนผลส้มโอมีสีเหลืองซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของตลาด

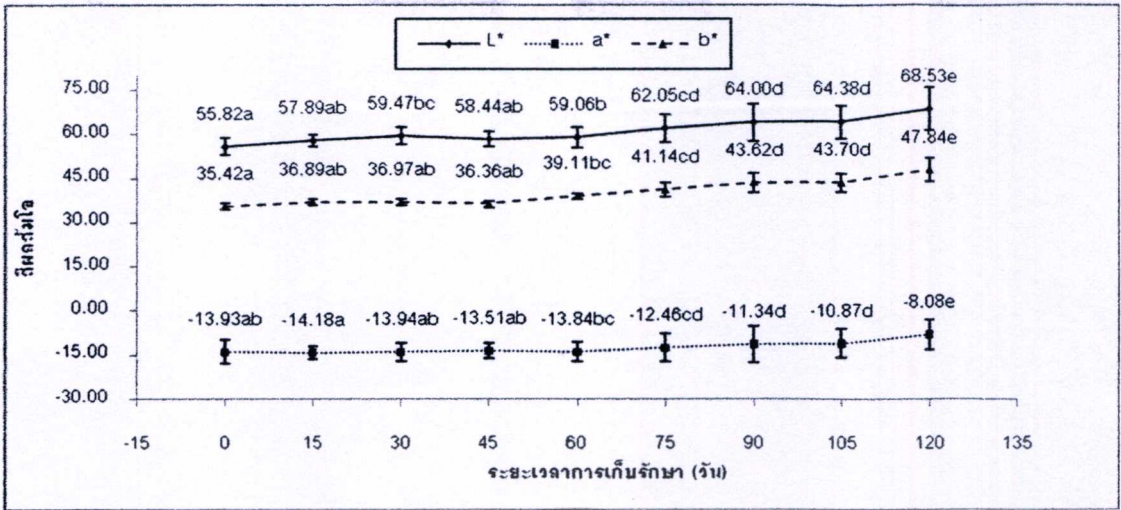
จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงค่าสีเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษา จากกราฟค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเปลี่ยนแปลงไป ส่วนค่า  $a^*$  เพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งอาจบอกได้ว่าสีเนื้อส้มโอเป็นสีเขียวยิ่งขึ้นจากเดิมเล็กน้อย (สังเกตจากค่า  $a^*$  ที่มีค่าลบเพิ่มขึ้น) แต่ยังเป็นสีเหลืองเช่นเดิมและมีความสว่างของสีม่วงเปลี่ยนแปลง (สังเกตจากค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง)



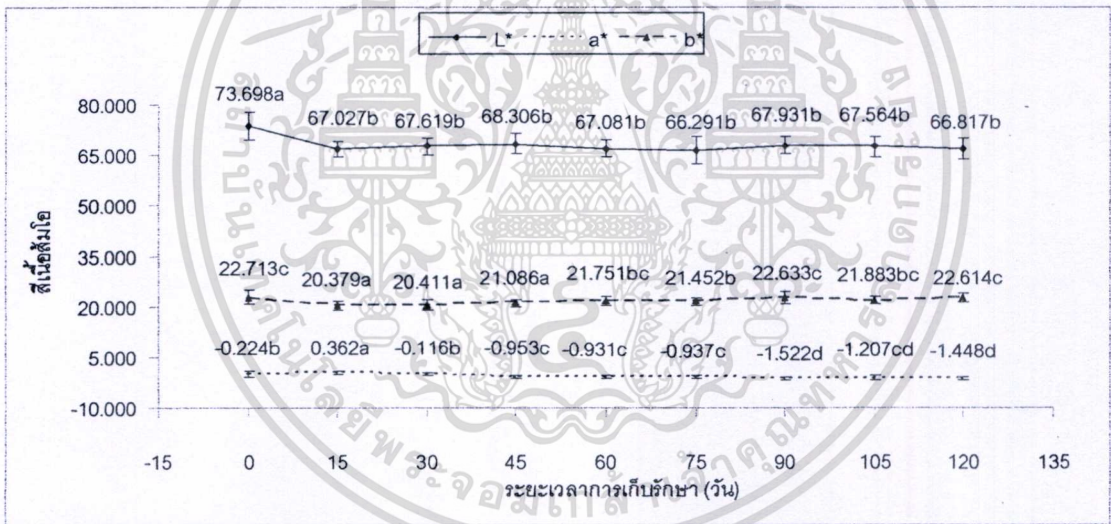
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



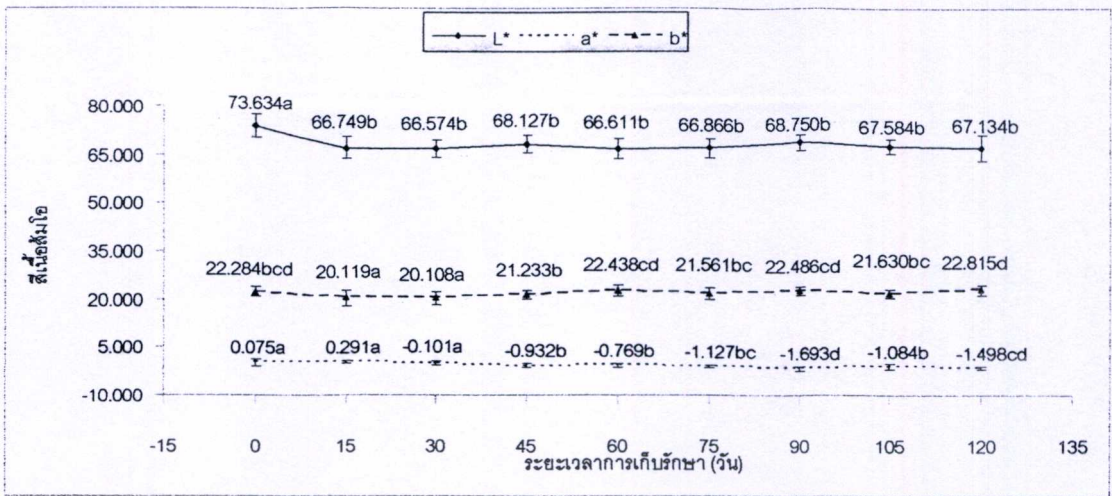
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก ปริมาตรและความหนาแน่นของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า L\*, a\* และ b\* ของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ P > 0.05)



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า L\*, a\* และ b\* ของเนื้อส้มโอด้านที่ 1 กับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ P > 0.05)



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า L\*, a\* และ b\* ของเนื้อส้มโอด้านที่ 3 กับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

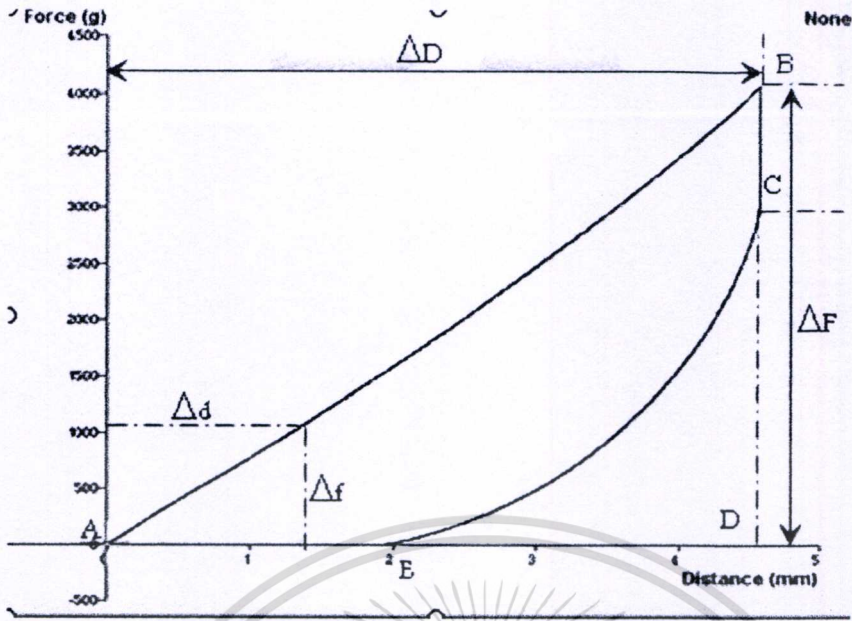
#### 4.3.2 สมบัติเชิงกลของผลและเนื้อส้มโอ

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลโดยเครื่อง Texture Analyzer จะแสดงผลในลักษณะของกราฟ โดยกราฟที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของผลและเนื้อส้มโอนั้นแสดงในรูปที่ 4.8 4.9 4.10 และ 4.11

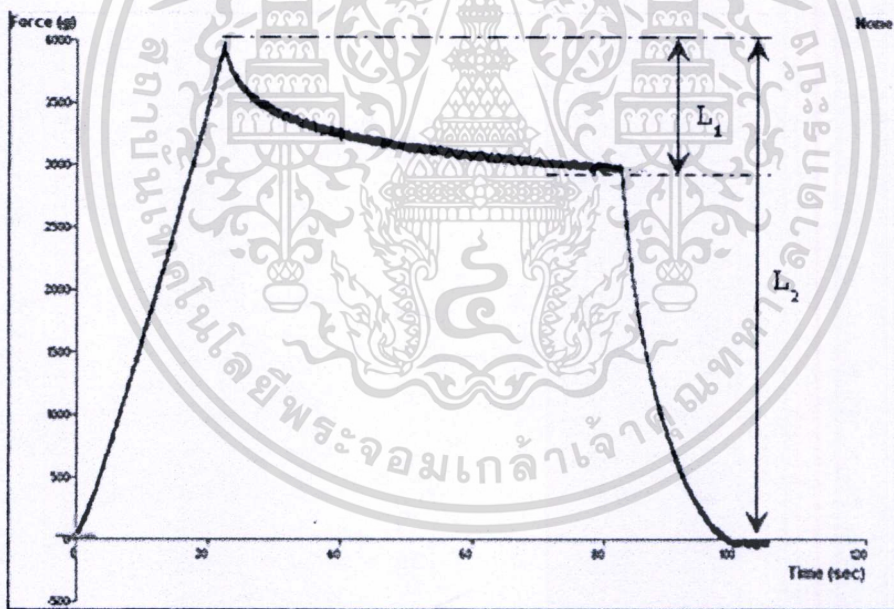
จากรูปที่ 4.8 สามารถนำมาหาสมบัติเชิงกลจากการทดสอบแบบ Puncture test ได้ดังนี้

1. ความแน่นเนื้อเริ่มต้น (N/mm) =  $\Delta F / \Delta D$
2. ความแน่นเนื้อเฉลี่ย (N/mm) =  $F_r / D_r$
3. แรงที่ทำให้เปลือกทะลุ (N) =  $F_r$
4. ความเหนียวของเปลือกส้มโอ (N\*mm) = พื้นที่ ABC
5. แรงที่จุดชีวคราก (N) =  $F_b$
6. แรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอ (N) = ค่าเฉลี่ยของแรงหลังจากจุด  $F_r$
7. พลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอ (N\*mm) = พื้นที่  $CB_1B_2B_3$
8. แรงที่ให้เปลือกเนื้อทะลุ (N) =  $F_f$
9. แรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปเนื้อส้มโอ (N) = ค่าเฉลี่ยของแรงหลังจากจุด  $F_f$
10. พลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปเนื้อ (N\*mm) = พื้นที่ DEFG



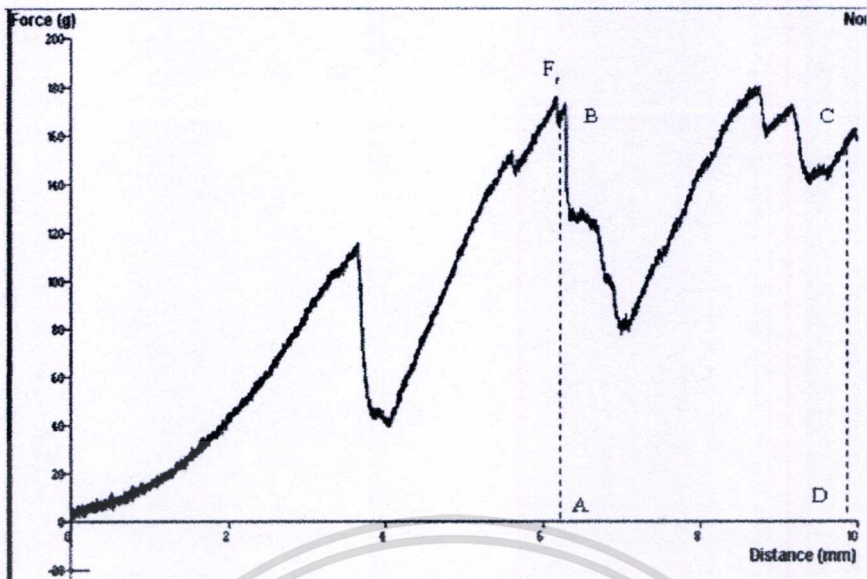


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางในการกดที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลจากวิธี Compress test



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาในการกดที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลจากวิธี Compress test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

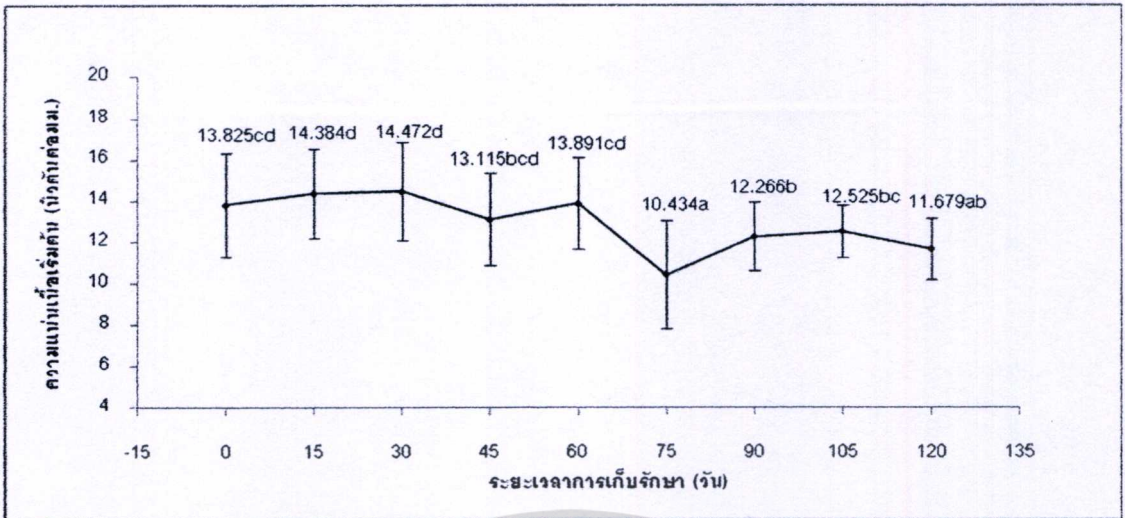


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางในการกดที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของเนื้อส้ม ไอจากวิธี Puncture test

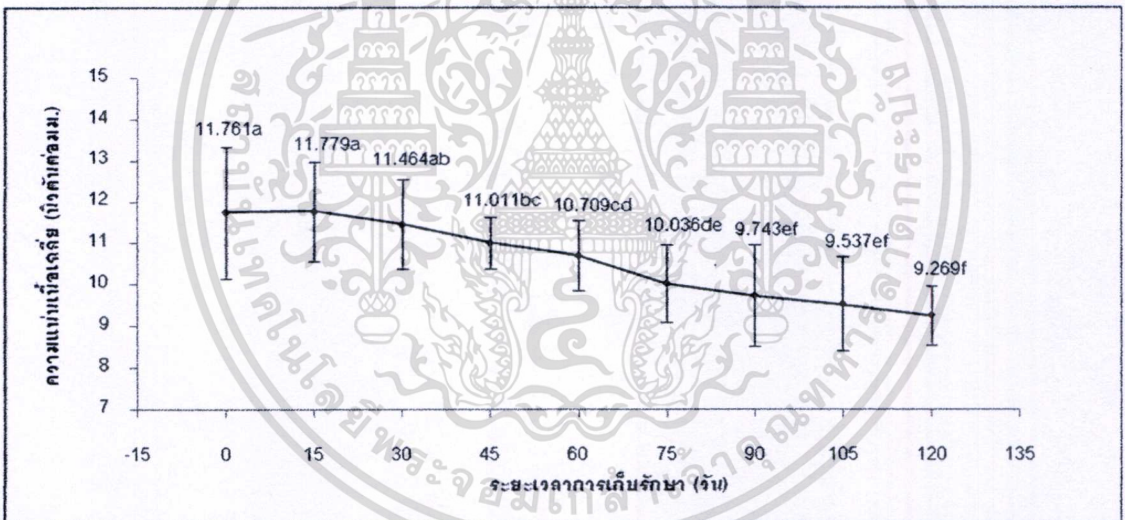
ค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัติเชิงกลของผลส้ม ไอจากการทดสอบ โดยวิธี Compression test และ วิธี Puncture test ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และ 4.5 และค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัติเชิงกลของเนื้อส้ม ไอ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 โดยสามารถอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลต่างๆ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาจากกราฟค่าเฉลี่ยทางสถิติได้ดังนี้

#### 1. สมบัติเชิงกลจากการทดสอบโดยวิธี Compression test

ค่าความแน่นเนื้อเริ่มต้นและความแน่นเนื้อเฉลี่ยพิจารณาจากรูปที่ 4.12 และ 4.13 จะสังเกตว่า ความแน่นเนื้อเริ่มต้นมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่ชัดเจน ส่วนความแน่นเนื้อเฉลี่ยนั้นมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น สิ่งนี้สามารถบ่งบอกได้ว่าผลส้ม ไอ นั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่ผิวหนังนอกน้อย แต่ความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลส้ม ไอ ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่โน้มลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

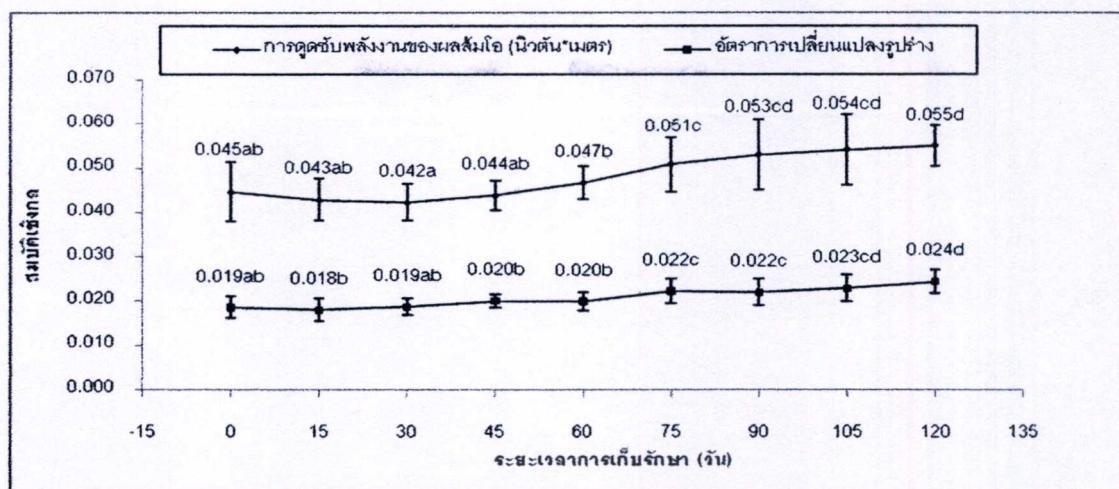


รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อเริ่มต้นของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



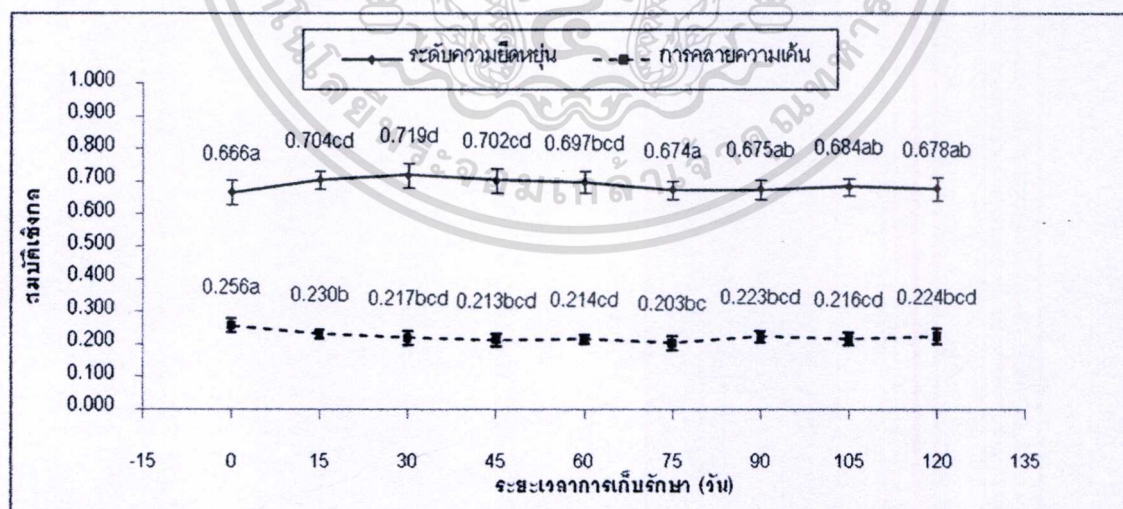
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา

(ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับพลังงานและอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

จากรูปที่ 4.14 แสดงการดูดซับพลังงานและอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลส้มโอ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าทั้งสองนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การดูดซับพลังงานเป็นการดูดซับพลังงานเพื่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวร การที่การดูดซับพลังงานของผลส้มโอเพิ่มมากขึ้นบอกได้ว่าผลส้มโอเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวรมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เพิ่มขึ้น

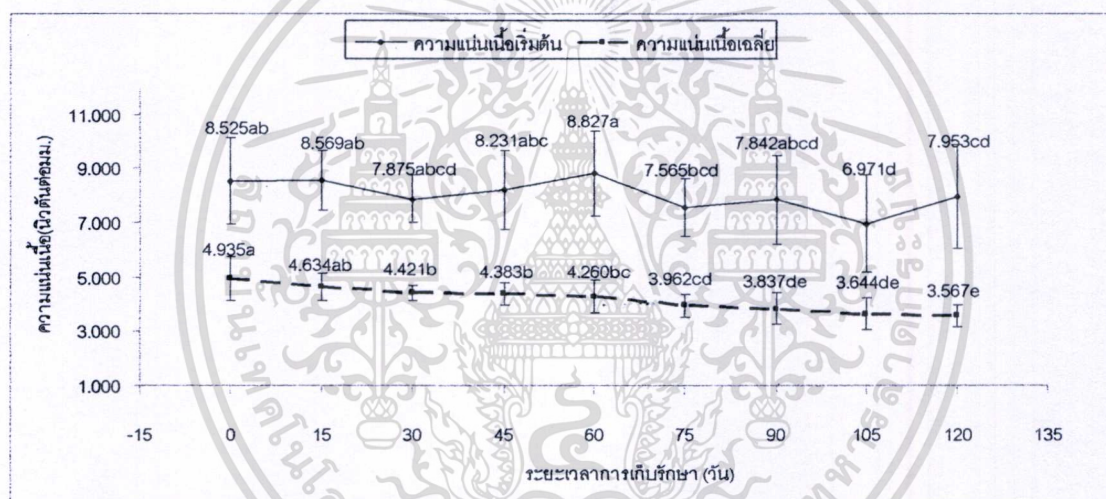


รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับความยืดหยุ่นและการคลายความเคঁของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

จากรูปที่ 4.15 ระดับความยืดหยุ่น (Degree of Elasticity) ของผลส้มโอ นั้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น แสดงถึงความสามารถในการคืนรูปเมื่อรับแรงค่อนข้างคงที่ ส่วนการคลายความเค้นซึ่งแสดงถึงความยืดหยุ่นหนืด (Viscoelasticity) ของผลส้มโอ มีแนวโน้มลดลงตามเวลา ซึ่งค่าความยืดหยุ่นหนืดอยู่ระหว่าง 0.2-0.3 แสดงถึงผลส้มโอมีความยืดหยุ่นมากกว่าความหนืด

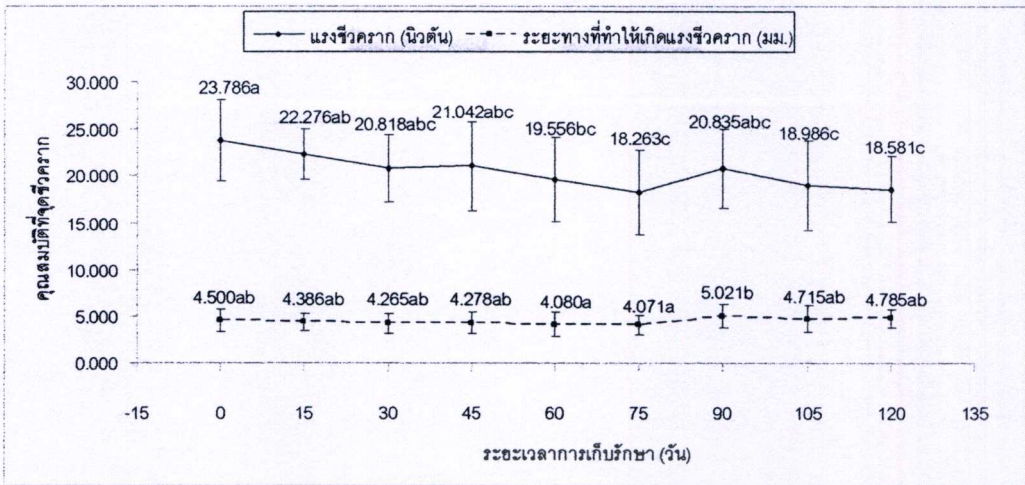
## 2. สมบัติเชิงกลจากการทดสอบโดยวิธี Puncture test

จากรูปที่ 4.16 แสดงความแน่นเนื้อเริ่มต้นที่มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนความแน่นเนื้อเฉลี่ยนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น  $P > 0.05$  ซึ่งสิ่งนี้สามารถบ่งบอกได้ถึงผลส้มโอ นั้นนุ่มลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

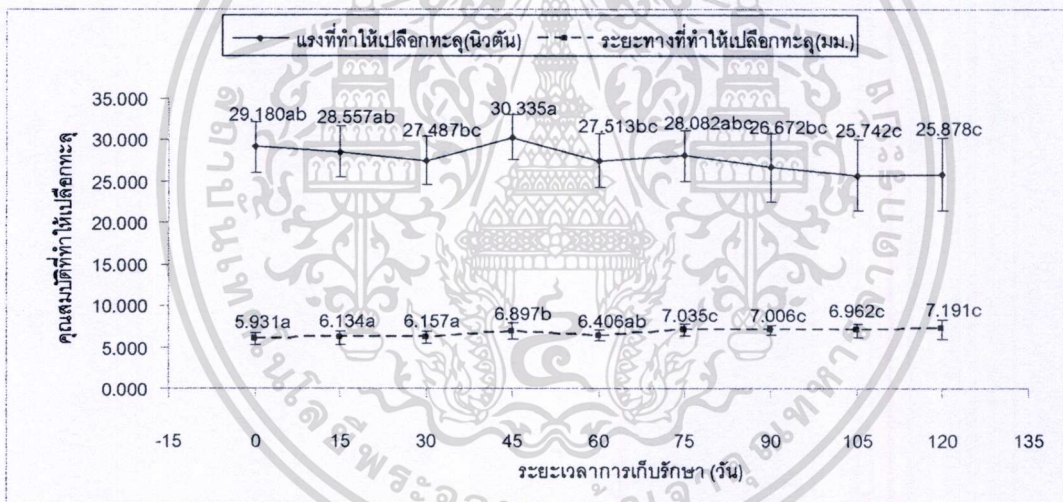


รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อเริ่มต้นและความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลส้มโอ กับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

รูปที่ 4.17 แสดงค่าแรงชีวครากและระยะทางที่ทำให้เกิดแรงชีวครากของผลส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยแรงชีวครากนั้นมีลักษณะที่ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาและเมื่อพิจารณาระยะทางที่ทำให้เกิดแรงชีวครากนั้นมีลักษณะค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจึงบ่งบอกได้ว่าผลส้มโออ่อนนุ่มลง เพราะแรงที่ใช้ในการกดให้ผลส้มโอเสียหายน้อยลงแต่ระยะทางที่ใช้ในการกดยังเท่าเดิม

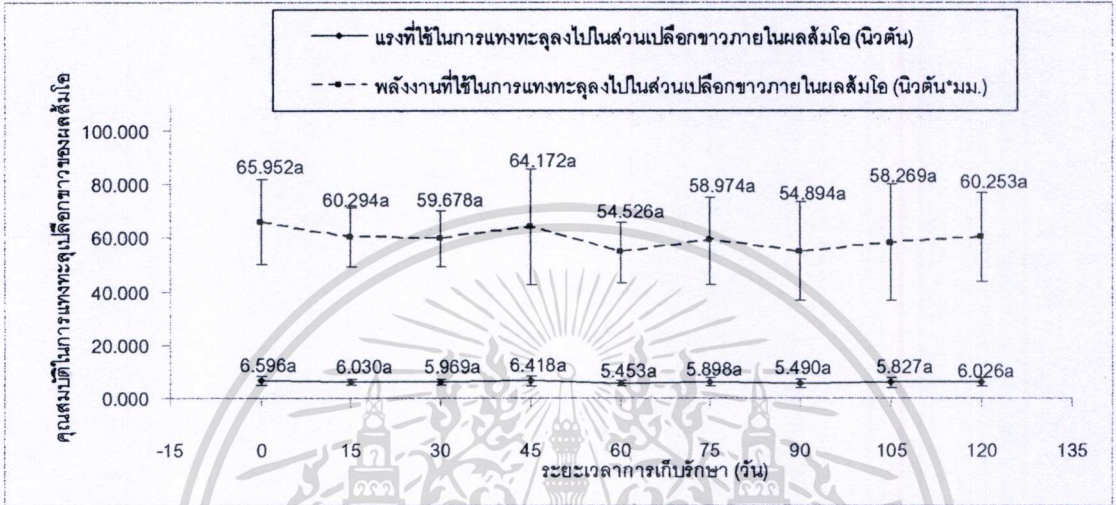


รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงชีวครากและระยะทางที่ทำให้เกิดแรงชีวครากของผลส้มโอเก็บระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



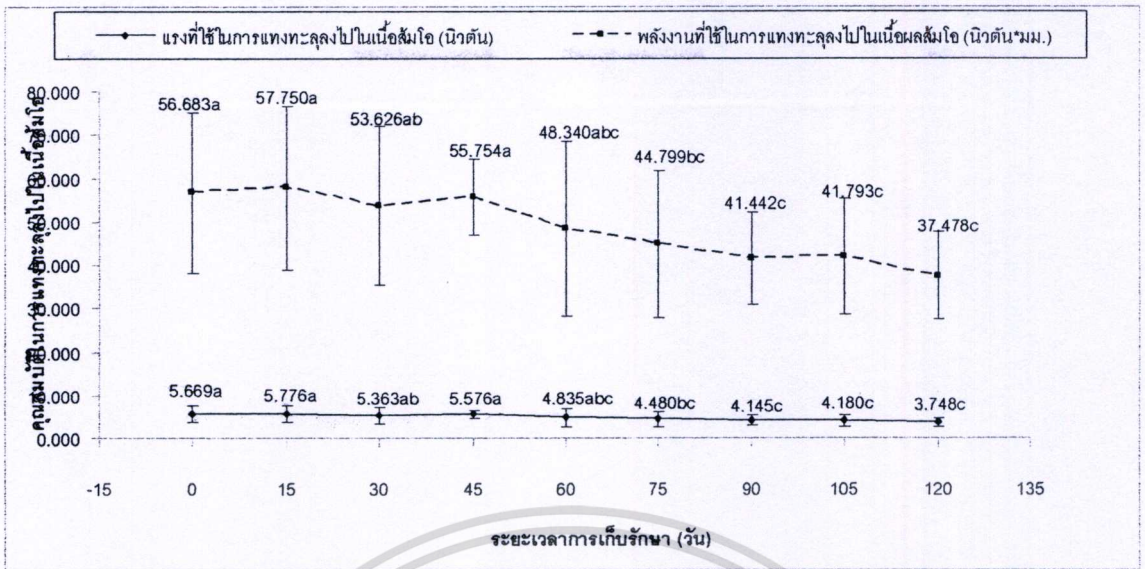
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ทำให้เปลือกทะลุและระยะทางที่ทำให้เปลือกทะลุของผลส้มโอเก็บระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

รูปที่ 4.18 แสดงแรงที่ทำให้เปลือกทะลุและระยะทางที่ทำให้เปลือกทะลุ ซึ่งแรงที่ทำให้เปลือกทะลุมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น อาจกล่าวได้ว่าเปลือกของส้มโอนั้นนุ่มลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น เพราะผลส้มโอที่ถูกเก็บรักษานานสามารถทะลุได้ด้วยแรงที่น้อยลง



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอและพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

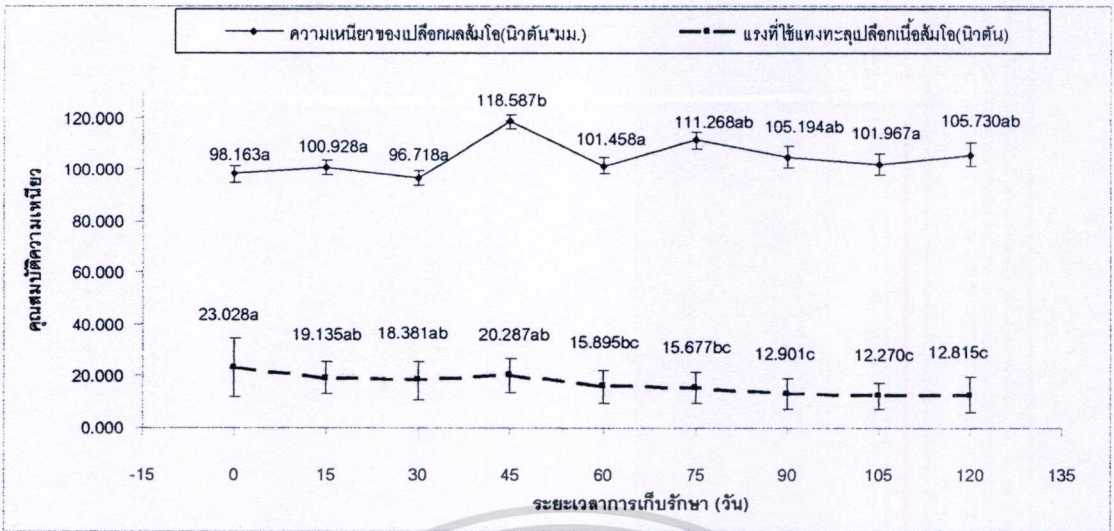
รูปที่ 4.19 แสดงแรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอและพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยแรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอและพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปในส่วนเปลือกขาวภายในผลส้มโอไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางสถิติเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่าเปลือกขาวภายในผลส้มโอไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความหนาของเปลือกนอกของผลส้มโอที่หุ้มเปลือกขาวภายในผลส้มโอเอาไว้นั่นเอง



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปเนื้อส้มโอและพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปเนื้อส้มโอของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

รูปที่ 4.20 แสดงแรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปเนื้อส้มโอและพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปเนื้อส้มโอของผลส้มโอ โดยแรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปเนื้อส้มโอและพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปเนื้อส้มโอมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น  $P > 0.05$  จากผลที่ได้นี้กล่าวได้ว่าเนื้อส้มโอนั้นนุ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น การที่สมบัติเชิงกลของเนื้อส้มโอเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องมาจากความชื้นในการเก็บรักษาและสมบัติทางชีวเคมีของเนื้อที่มีการเปลี่ยนแปลงไป

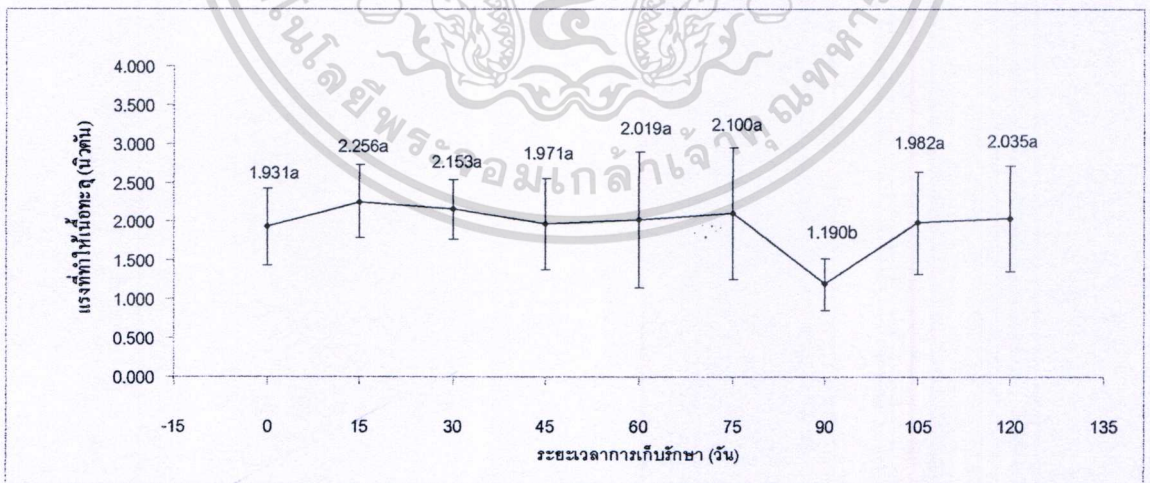
รูปที่ 4.21 แสดงความเหนียวของเปลือกผลส้มโอและแรงที่ใช้ในการแทงทะลุเปลือกเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น จากรูปความเหนียวของเปลือกส้มโอ (พลังงานในการแทงทะลุเปลือกส้มโอ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสิ่งนี้สอดคล้องกับการลดลงของแรงที่ทำให้เปลือกทะลุและการเพิ่มขึ้นของระยะทางที่ทำให้เปลือกทะลุตามระยะเวลาการเก็บรักษา เพราะความเหนียวของเปลือกส้มโอนั้นคือพื้นที่ใต้กราฟของแรงและระยะทางที่ใช้ในการแทงลงในผลส้มโอ



รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวของเปลือกผลส้มโอและแรงที่ใช้ในการแทงทะลุเปลือกเนื้อส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

3. สมบัติของเชิงกลของเนื้อส้มโอที่ได้จากการทดสอบแบบ Puncture test

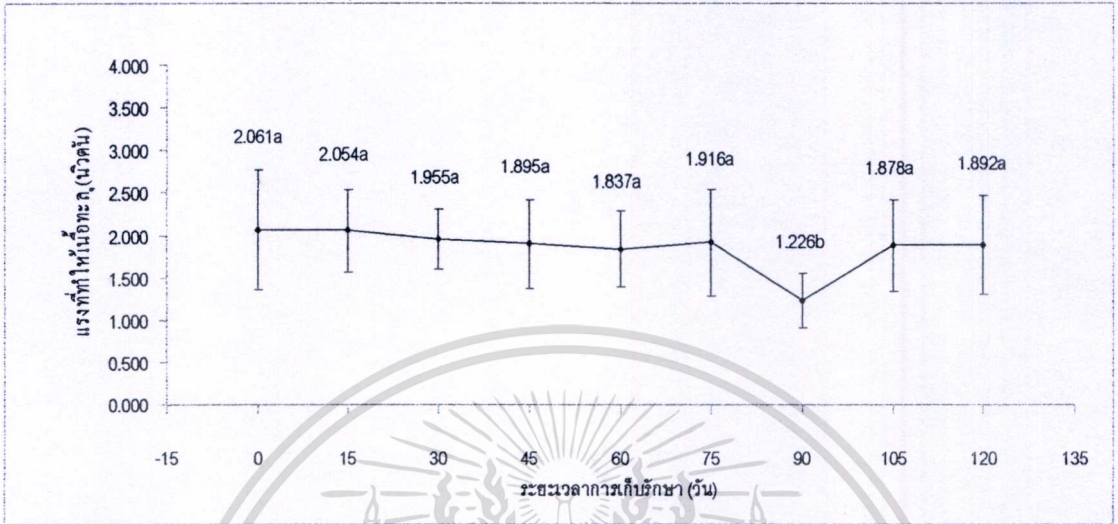
การทดสอบสมบัติเชิงกลที่ทดสอบกับเนื้อส้มโอใช้เนื้อของส้มโอด้านที่ 1 และด้านที่ 3 ซึ่งเป็นจุดเดียวกับจุดวัดสเปกตรัมของผลส้มโอ ค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัติเชิงกลของเนื้อส้มโอได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 โดยผลการทดลองที่ได้เป็นดังนี้



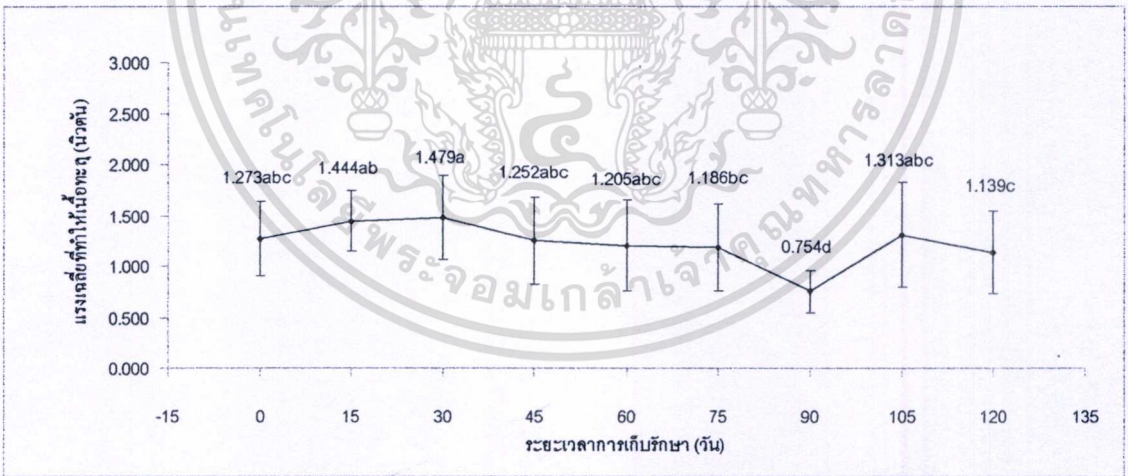
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ทำให้เนื้อทะลุกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้มโอด้านที่ 1 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.22 และ 4.23 แสดงแรงที่ทำให้เนื้อทะลุตามระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้มโอ การค้า  
ไม่ว่าด้านที่ 1 และด้านที่ 3 จาก แรงที่ทำให้เนื้อทะลุของทั้ง 2 ด้านนั้น ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการใช้

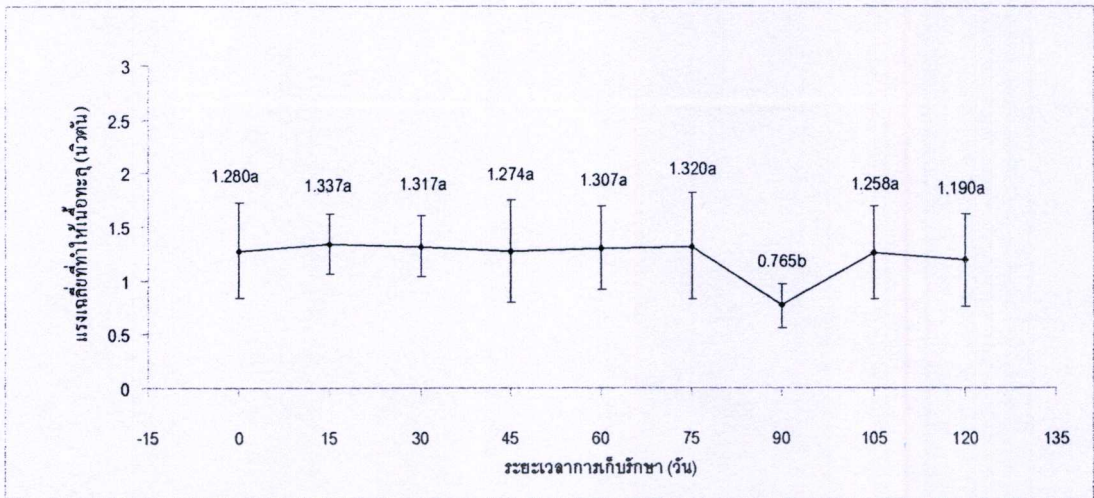
เก็บรักษา อาจกล่าวได้ว่าความแข็งของเนื้อส้ม โอภาขนอกนั้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ทำให้เนื้อเปลือกกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้มโอด้านที่ 3 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

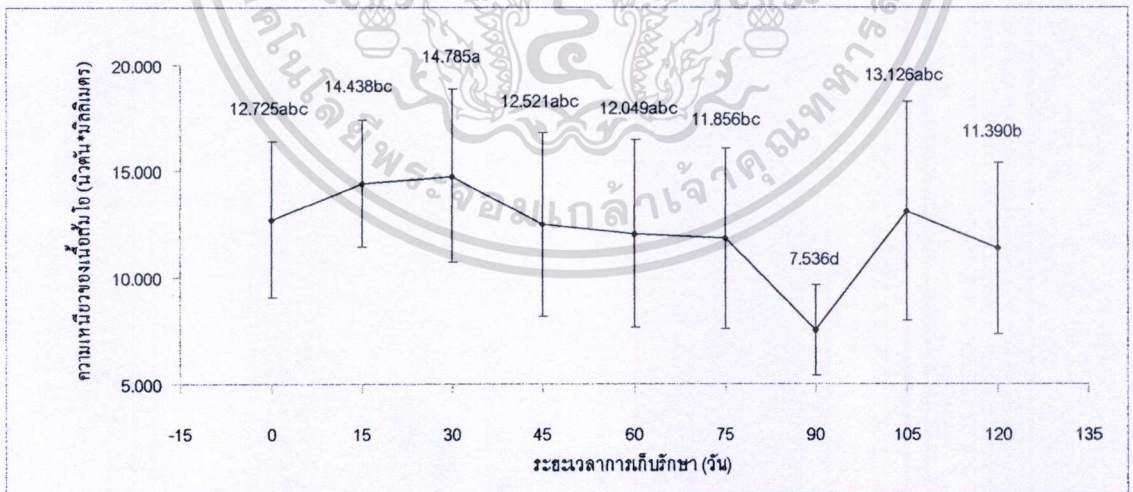


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉลี่ยที่ทำให้เนื้อเปลือกกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้มโอด้านที่ 1 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



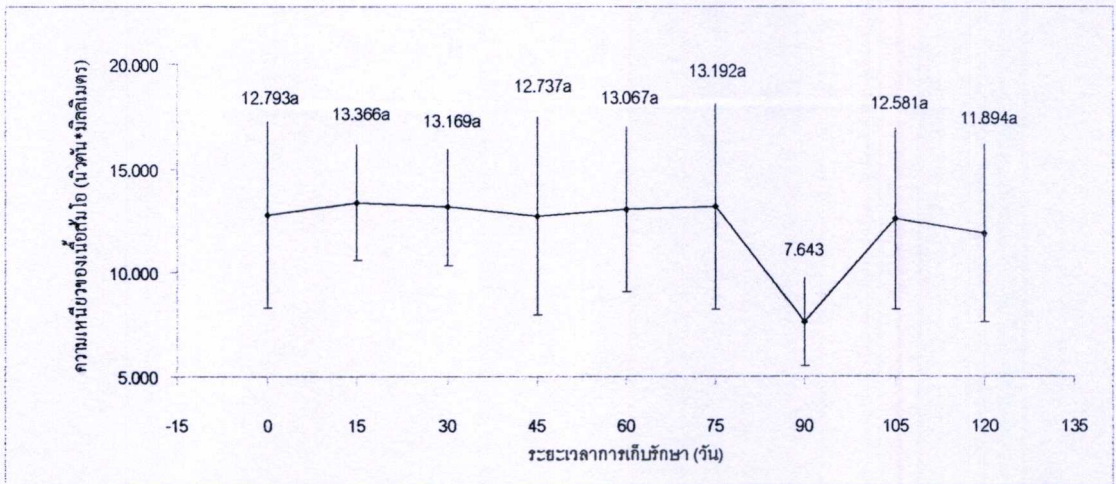
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉลี่ยที่ทำให้เนื้อทะลุกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้ม ไอด้านที่ 3 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

รูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงแรงเฉลี่ยที่ทำให้เนื้อทะลุกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้ม ไอด้านที่ 1 และด้านที่ 3 จากกราฟแรงเฉลี่ยที่ทำให้เนื้อทะลุไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าเนื้อส้ม ไอนั้นมีคุณภาพของเนื้อส้มฝัสดไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนักรวมของเนื้อส้ม ไอกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้ม ไอด้านที่ 1 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเนื้อส้อม โอ๊กกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้อม โอ๊กด้านที่ 3 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

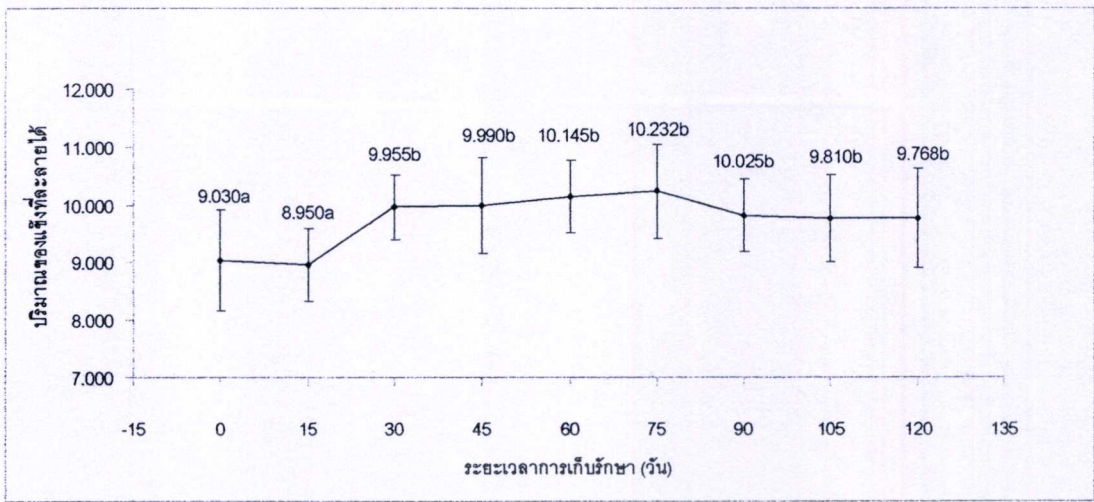
รูปที่ 4.26 และ 4.27 แสดงความชื้นของเนื้อส้อม โอ๊กกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อส้อม โอ๊กด้านที่ 1 และด้านที่ 3 จากกราฟความชื้นของเนื้อส้อม โอ๊กนั้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่ม สิ่งนี้เป็นสิ่งที่สนับสนุนว่าเนื้อส้อม โอ๊กนั้นมีความชื้นของเนื้อส้อม ผัสไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

#### 4.3.3 สมบัติทางชีวเคมีของเนื้อส้อมโอ

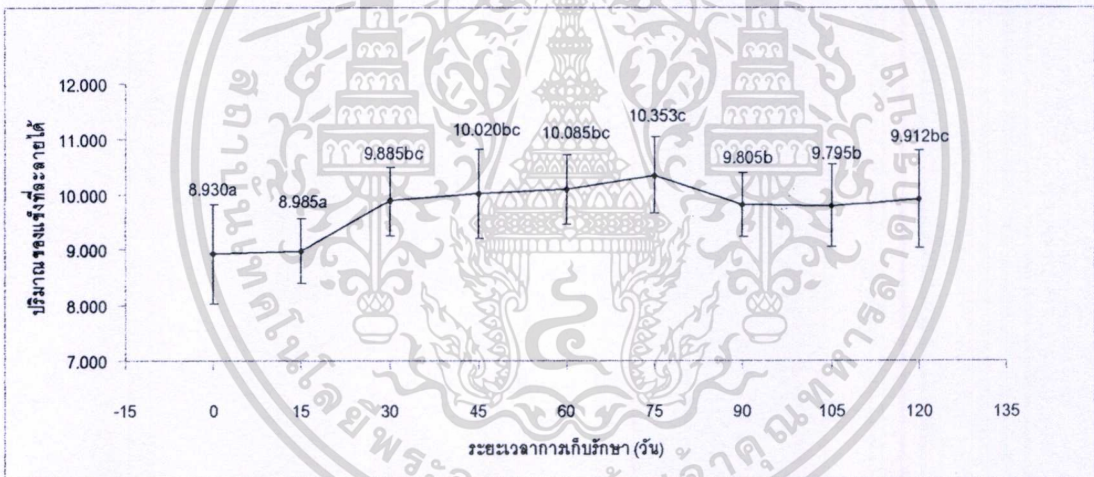
การทดสอบสมบัติทางชีวเคมีของเนื้อส้อม โอ๊กใช้เนื้อของส้อม โอ๊กด้านที่ 1 และด้านที่ 3 ซึ่งเป็นจุดเดียวกับจุดวัดสเปกตรัมของผลส้อม โอ๊ก ค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัติทางชีวเคมีของเนื้อส้อม โอ๊กแสดงในตารางที่ 4.7 โดยผลการทดลองที่ได้เป็นดังนี้

##### 1. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Soluble solids content)

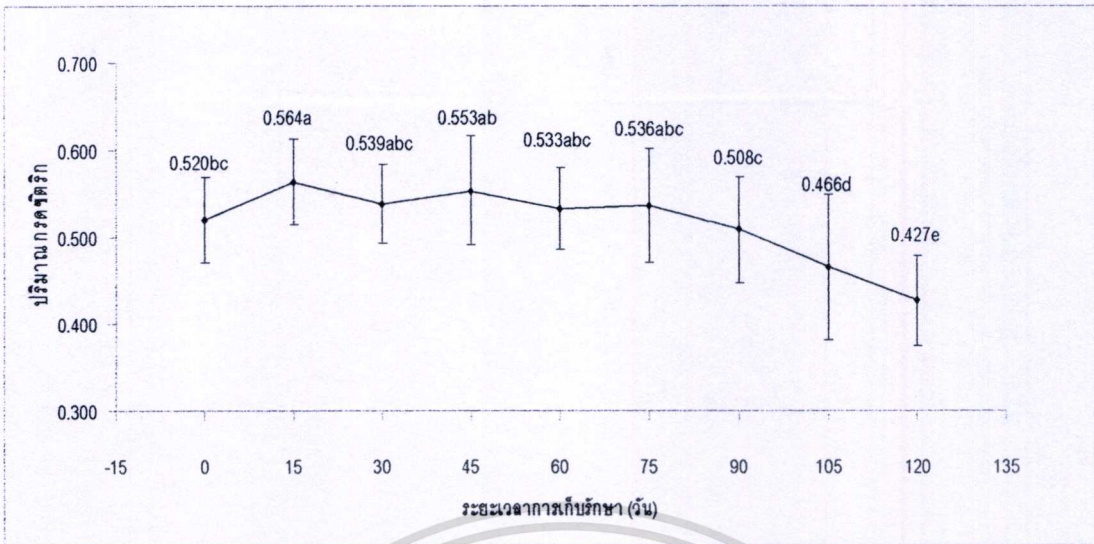
จากรูปที่ 4.28 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 1 ซึ่งแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงก่อนการเก็บรักษา (0 วัน) ไปจนถึงที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากับ 75 วัน หลังจากนั้นกราฟมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ ส่วนรูปที่ 4.29 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 3 โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ตามระยะเวลาในการเก็บรักษานั้นมีลักษณะเดียวกับด้านที่ 1



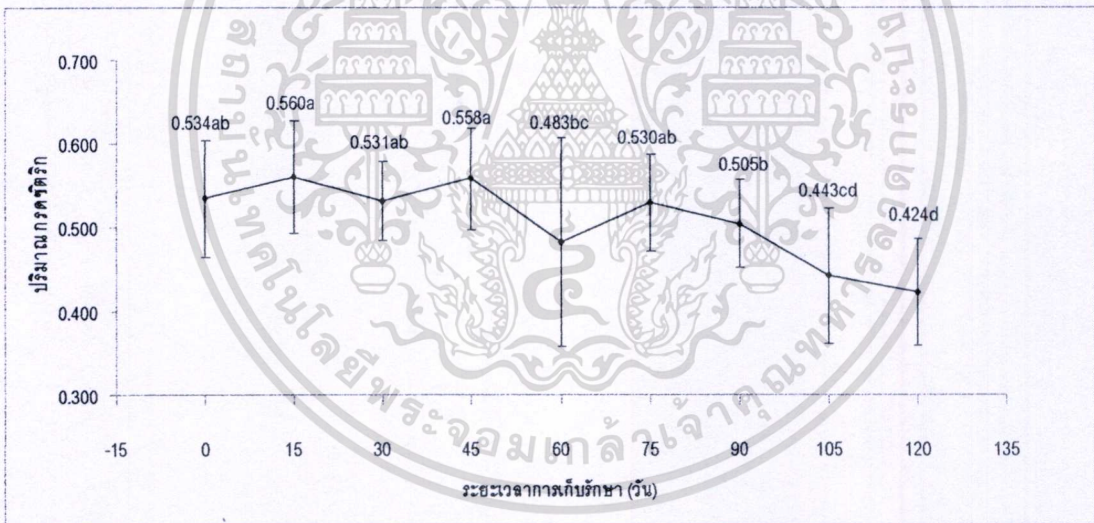
รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อค่าน้ำที่ 1 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อค่าน้ำที่ 3 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณซิติริกกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อดำนที่ 1 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

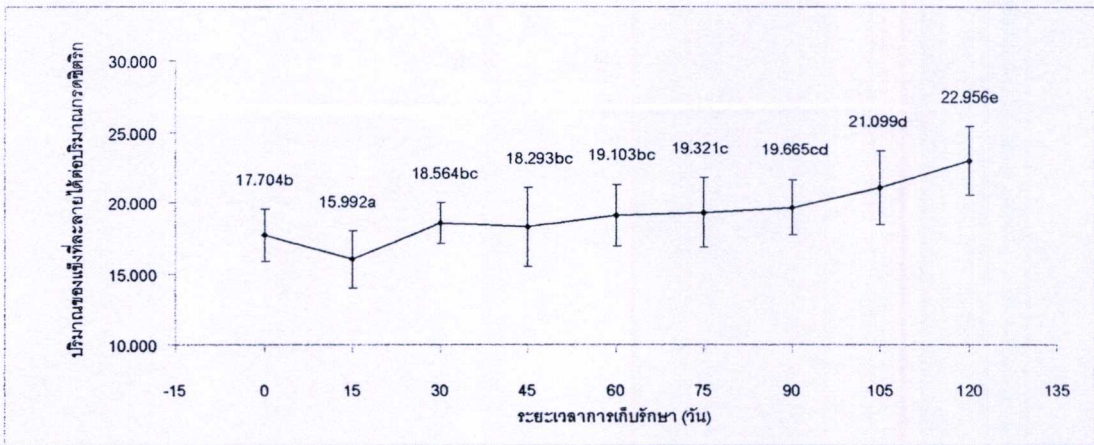


รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณซิติริกกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อดำนที่ 3 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

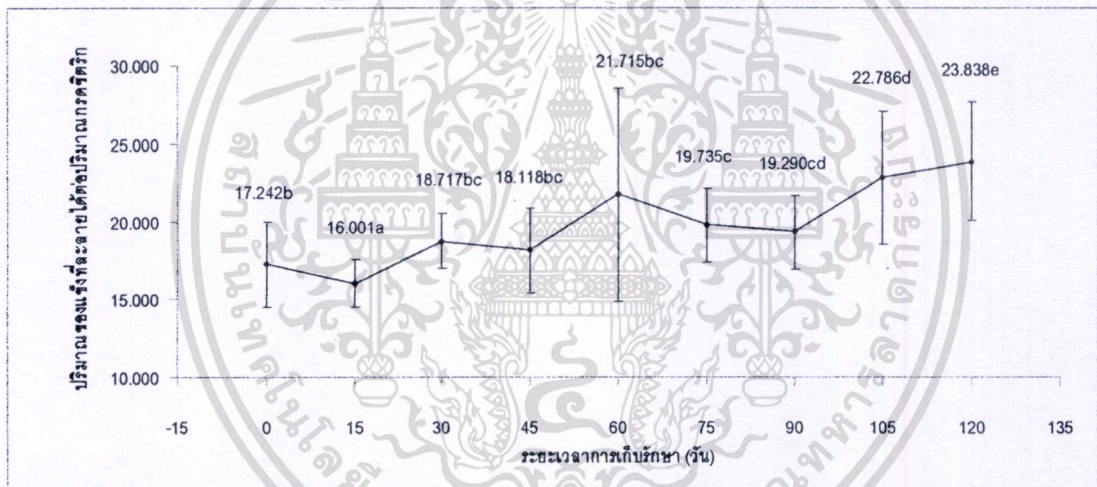
## 2. ปริมาณกรดซิติริก

จากรูปที่ 4.30 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณกรดซิติริกกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อดำนที่ 1 จากกราฟปริมาณกรดซิติริกมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยจะลดลงมากหลังจากการเก็บรักษาไปแล้ว 75 วัน ซึ่งลักษณะการลดลงของปริมาณกรดซิติริกของเนื้อดำนที่ 1 และดำนที่ 3 (รูปที่ 4.31) มีลักษณะที่คล้ายกัน

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดซิดริกกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 1 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณซิดริกกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 3 (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

### 3. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดซิดริก

รูปที่ 4.32 และรูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดซิดริกกับระยะเวลาการเก็บรักษาของเนื้อด้านที่ 1 และด้านที่ 3 ซึ่งจากกราฟปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดซิดริกมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นนั้นเนื้อส้ม โอะจะหวานขึ้นและจะเปรี้ยวน้อยลง

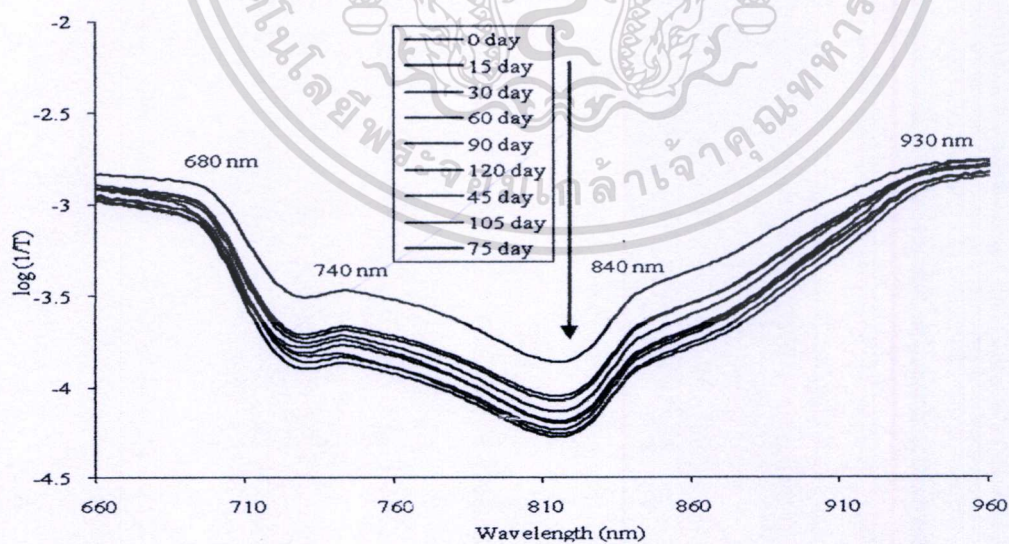
#### 4.4 สเปกตรัมของส้มโอที่ได้จากวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

การวัดสเปกตรัมในงานวิจัยครั้งนี้ สเปกตรัมที่ได้จากผลส้มโอนั้นวัดจากเครื่อง NIR transmittance และจากเครื่อง FQA NIR GUN ส่วนสเปกตรัมของเนื้อส้มโอนั้นวัดจากเครื่อง NIR FQA GUN ซึ่งอธิบายลักษณะของสเปกตรัมต่างๆ ได้ดังนี้

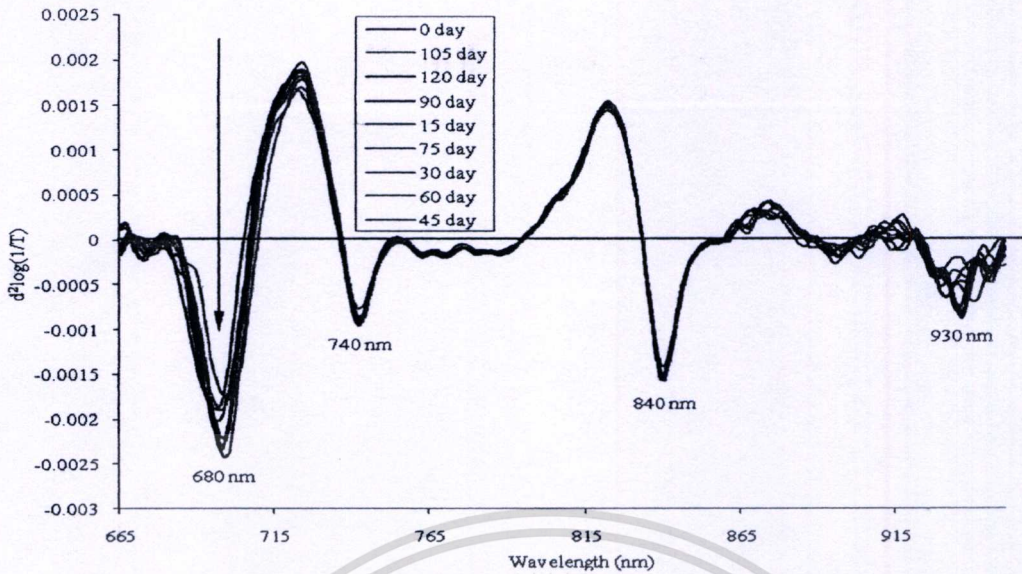
##### 4.4.1 สเปกตรัมของผลส้มโอที่ได้จากการวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR transmittance

สเปกตรัมที่วัดจากเครื่อง NIR transmittance วัดออกมาในรูปแบบ transmittance และจะถูกแปลงให้เป็นแบบ absorbance ซึ่งลักษณะของสเปกตรัมในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.34 จากรูปจุดสูงสุดของสเปกตรัมจะอยู่ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 680 740 840 และ 930 นาโนเมตร โดยที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 680, 840 นาโนเมตร นั้นเป็นบริเวณของดูดซับคลื่นของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และดูดซับคลื่นของน้ำตามลำดับ (Teerachaichayut, et al. 2007) ส่วนที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 930 นาโนเมตรเป็นบริเวณของดูดซับคลื่นของน้ำมัน (Clark, et al. 2003)

รูปที่ 3.35 แสดงสเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) จากการปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร ของผลส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance ซึ่งจากกราฟทำให้เห็นบริเวณของการดูดซับคลื่นของผลส้มโอได้ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 4.34 สเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) ของผลส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance



**รูปที่ 4.35** สเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) จากการปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร ของผลส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance

#### 4.4.2 สเปกตรัมของผลส้มโอที่ได้จากการวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FQA NIR GUN

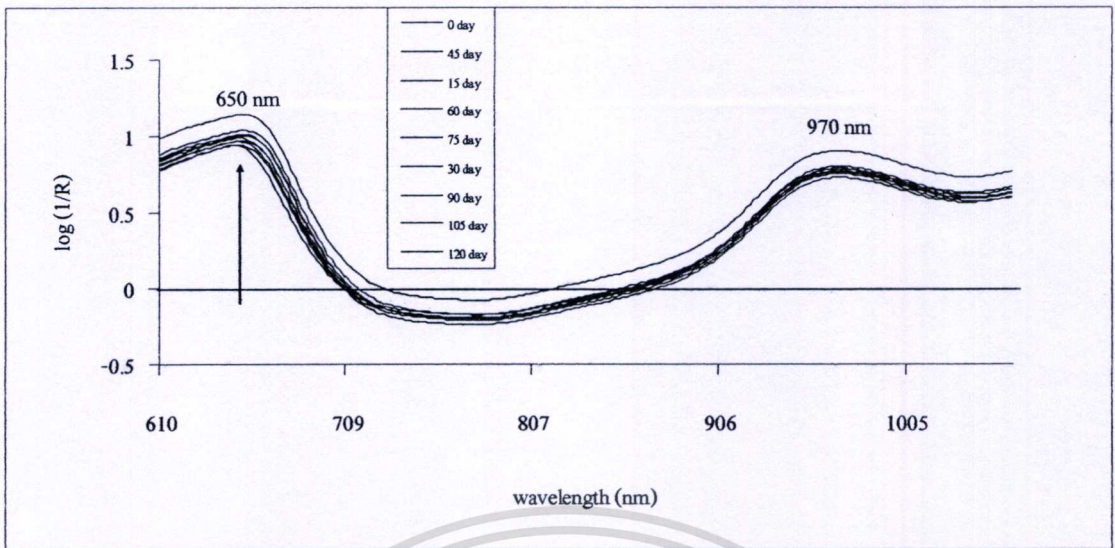
จากรูปที่ 4.36 แสดงสเปกตรัมเฉลี่ยของผลส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ซึ่งจากรูปนั้นจุดสูงสุดของสเปกตรัมคือที่จุด 650 และ 970 นาโนเมตร

รูปที่ 3.37 แสดงสเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) จากการปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร ของผลส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ของผลส้มโอ ซึ่งจากกราฟทำให้เห็นบริเวณของการดูดซับคลื่นของผลส้มโอได้ชัดเจนขึ้น

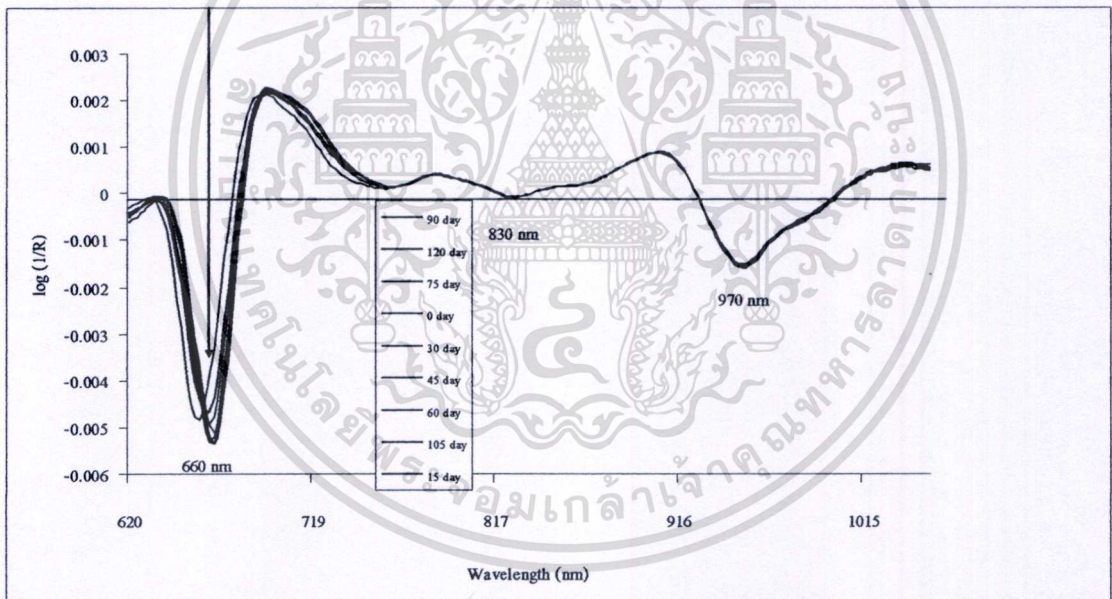
#### 4.4.3 สเปกตรัมของเนื้อส้มโอที่ได้จากการวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FQA NIR GUN

จากรูปที่ 4.38 แสดงสเปกตรัมเฉลี่ยของเนื้อส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ซึ่งจากรูปนั้นจุดสูงสุดของสเปกตรัมคือที่ประมาณ 960 นาโนเมตร

รูปที่ 3.39 แสดงสเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) จากการปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร ของผลส้มโอในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ของผลส้มโอ ซึ่งจากกราฟทำให้เห็นบริเวณของการดูดซับคลื่นของเนื้อส้มโอได้ชัดเจนขึ้น บริเวณของการดูดซับคลื่นของเนื้อส้มโอคือบริเวณ 645 - 665 นาโนเมตร 730 - 755 นาโนเมตร 825 - 849 นาโนเมตร และ 950 - 970 นาโนเมตร



รูปที่ 4.36 สเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) ของผลส้มโอ ในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN



รูปที่ 4.37 สเปกตรัมเฉลี่ยของการดูดซับคลื่น (Absorbance) ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ segment 10 นาโนเมตร ของผลส้มโอ ในแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษาที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN



การวัด 3 แบบ คือ สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance สเปกตรัมของผลส้มโอที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN สเปกตรัมของเนื้อส้มโอที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN โดยผลการทำนายเป็นดังนี้

1. การทำนายกลุ่มของส้มโอดตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance

ผลการแบ่งกลุ่มผลส้มโอดตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance แสดงในภาคผนวก ข โดยผลการทำนายกลุ่มส้มโอดตามระยะเวลาการเก็บรักษา นั้นมีผลการทำนายได้ไม่ดี เมื่อพิจารณาผลการทำนายรวมของทุกแบบจำลอง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการแบ่งกลุ่มผลส้มโอดด้วยวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR Transmittance ที่วัดจากผลส้มโอยังไม่แม่นยำพอจะนำมาแบ่งกลุ่มผลส้มโอดตามระยะเวลาการเก็บรักษา

2. การทำนายกลุ่มของส้มโอดตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลส้มโอ

ผลการแบ่งกลุ่มของส้มโอดวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลส้มโอได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ผลการทำนายกลุ่มส้มโอดตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN เห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การทำนายโดยรวมของทุกแบบจำลองมีเปอร์เซ็นต์การทำนายที่ต่ำ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการแบ่งกลุ่มผลส้มโอดด้วยวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลส้มโอยังไม่แม่นยำพอจะนำมาแบ่งกลุ่มผลส้มโอดตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.1 ผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second

Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90
15	10	100	100	40	100	100	100	100	90	100	100	40
30	10	100	100	100	100	100	100	90	50	100	100	50
45	10	100	40	10	100	100	100	100	100	100	100	10
60	10	100	100	60	100	100	100	100	60	100	100	50
75	8	100	100	100	100	100	100	13	0	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	0	100	0	100	100	0
105	10	100	100	100	100	100	50	20	90	100	100	10
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Total	86	Percentage of correct classification									40.7	

### 3. การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากเนื้อส้มโอ

ผลการแบ่งกลุ่มของเนื้อส้มโอวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากเนื้อส้มโอได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร มีเปอร์เซ็นต์การทำนายโดยรวมที่ดีที่สุด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการแบ่งกลุ่มเนื้อส้มโอด้วยวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์การทำนายถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 40.70 เปอร์เซ็นต์ การทำนายกลุ่มเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร มีเปอร์เซ็นต์การทำนายโดยรวมที่ดีที่สุด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการแบ่งกลุ่มเนื้อส้มโอด้วยวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์การทำนายถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 40.70 เปอร์เซ็นต์

#### 4.5.2 การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA)

การทำนายการแบ่งกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) ใช้สเปกตรัมที่ได้จากการวัด 3 แบบ คือ สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance สเปกตรัมของผลส้มโอที่ได้จากเครื่อง NIR FQA GUN สเปกตรัมของเนื้อส้มโอที่ได้จากเครื่อง NIR FQA GUN โดยผลการทำนายเป็นดังนี้

##### 1. การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance

ผลการทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance แสดงใน ภาคผนวก ข จากผลการแบ่งกลุ่มโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance แบบจำลองทั้งหมดที่สร้างขึ้นนั้นยังมีเปอร์เซ็นต์การทำนายที่ไม่แม่นยำ เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลส้มโอ

ผลการทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดที่ผลส้มโอ แสดงภาคผนวก ข ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR FQA GUN ดังได้กล่าวมานั้นบอกได้ว่าการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR FQA GUN ยังมีความแม่นยำที่ต่ำ

3. การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากเนื้อส้มโอ

ผลการทำนายกลุ่มของเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN แสดงในภาคผนวก ข มีเปอร์เซ็นต์การทำนายได้ถูกต้องโดยรวมยังไม่ดี ซึ่งผลการทำนาย Storage 1 และ Storage 9 ที่มีเปอร์เซ็นต์การทำนายรวมเท่ากับ 90 และ 87.5 ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากการผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำของตัวอย่างเนื้อส้มโอในการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 9

#### 4.6 การทำนายสมบัติของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

4.6.1 การทำนายสมบัติของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR Transmittance

ค่าสมบัติของส้มโอที่นำมาวิเคราะห์การทำนายนั้น ใช้ค่าที่ทดสอบในด้านที่วัดสเปกตรัมของผลส้มโอซึ่งคือด้านที่ 1 และด้านที่ 3 โดยสมบัติที่นำมาวิเคราะห์คือ สมบัติเชิงกลของเนื้อส้มโอซึ่งได้แก่ แรงที่ทำให้เนื้อส้มโอทะลุ แรงเฉลี่ยในการแทง ความเหนียวของเนื้อส้มโอ และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดซิตริก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดซิตริก ผลการทำนายได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ผลการทำนายที่ได้นั้นยังไม่แม่นยำ โดยมีค่า  $r$  ของการทำนายเท่ากับ 0.099 - 0.702 ค่าที่ทำนายได้แม่นยำที่สุดคือค่าการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานของผลส้มโอ โดยมีค่า  $r$  ของการทำนายเท่ากับ 0.722 ค่า SEP เท่ากับ 5.572 เปอร์เซ็นต์ และค่า Bias เท่ากับ -0.227

#### 4.6.2 การทำนายสมบัติของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN

ค่าสมบัติของส้มโอที่นำมาวิเคราะห์การทำนายคือสมบัติเชิงกลของผลส้มโอจากการทดสอบแบบ Puncture test ซึ่งได้แก่ แรงที่ทำให้เปลือกผลส้มโอทะลุ ความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลส้มโอ ผลการทำนายได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ผลการทำนายที่ได้นั้นยังไม่แม่นยำ โดยมีค่า  $r$  ของการทำนายเท่ากับ 0.513 – 0.705

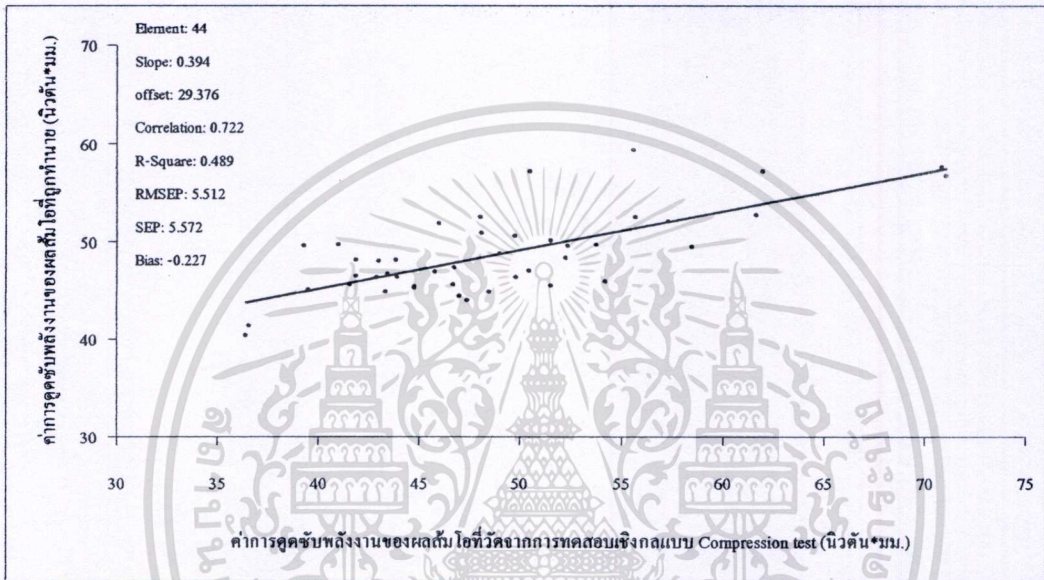
#### 4.6.3 การทำนายสมบัติของเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี โดยใช้สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง FQA NIR GUN

ค่าสมบัติของเนื้อส้มโอที่นำมาวิเคราะห์การทำนายนั้นใช้ค่าที่ทดสอบในด้านที่วัดสเปกตรัมของเนื้อส้มโอซึ่งคือค่าที่ 1 และค่าที่ 3 โดยสมบัติที่นำมาวิเคราะห์คือ สมบัติเชิงกลของเนื้อส้มโอซึ่งได้แก่ แรงที่ทำให้เนื้อส้มโอทะลุ แรงเฉลี่ยในการแทง ความเหนียวของเนื้อส้มโอ และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดซิตริก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดซิตริก ผลการทำนายได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ผลการทำนายที่ได้นั้นยังไม่แม่นยำ โดยมีค่า  $r$  ของการทำนายเท่ากับ -0.193 – 0.705

**ตารางที่ 4.2** ค่าทางสถิติการทำนายค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR transmittance

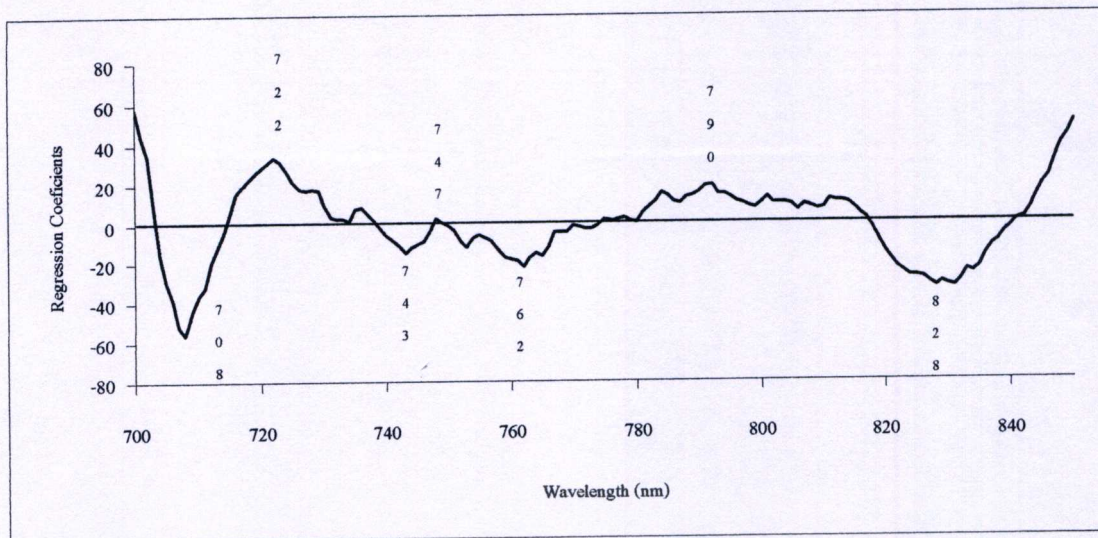
Pre treatment	PC	Calibration						Prediction						Caribration			Prediction	
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias	
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	5	110	47.961	67.772	30.01	7.162	44	48.873	71.105	36.392	7.803	0.715	5.008	1.058E-06	0.693	5.675	-0.815	
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	5	110	47.961	67.772	30.01	7.162	44	48.873	71.105	36.392	7.803	0.714	5.014	4.682E-07	0.700	5.638	-0.879	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	5	110	47.961	67.772	30.01	7.162	44	48.873	71.105	36.392	7.803	0.711	5.035	3.069E-06	0.696	5.653	-0.795	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	5	110	47.961	67.772	30.01	7.162	44	48.873	71.105	36.392	7.803	0.712	5.027	2.098E-06	0.703	5.634	-0.857	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	3	110	47.961	67.772	30.01	7.162	44	48.873	71.105	36.392	7.803	0.689	5.191	4.682E-07	0.712	5.740	0.417	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	3	110	47.961	67.772	30.01	7.162	44	48.873	71.105	36.392	7.803	0.597	5.744	9.537E-07	0.680	5.874	0.355	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	4	110	47.961	67.772	30.01	7.162	44	48.873	71.105	36.392	7.803	0.676	5.278	1.613E-06	0.708	5.698	-0.386	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	5	110	47.961	67.772	30.01	7.162	44	48.873	71.105	36.392	7.803	0.671	5.307	5.739E-06	0.722	5.572	-0.227	

จากรูปที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอที่ถูกทำนายด้วยแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตรกับค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอที่วัดจากการทดสอบเชิงกลแบบ Compression test แบบจำลองในการทำนายค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอใช้จำนวนของ Principle Component (PC) เท่ากับ 3 ซึ่งการทำนายที่ได้มีค่า  $r$  เท่ากับ 0.722 ค่า SEP เท่ากับ 5.572 เปอร์เซ็นต์ และค่า Bias เท่ากับ -0.227

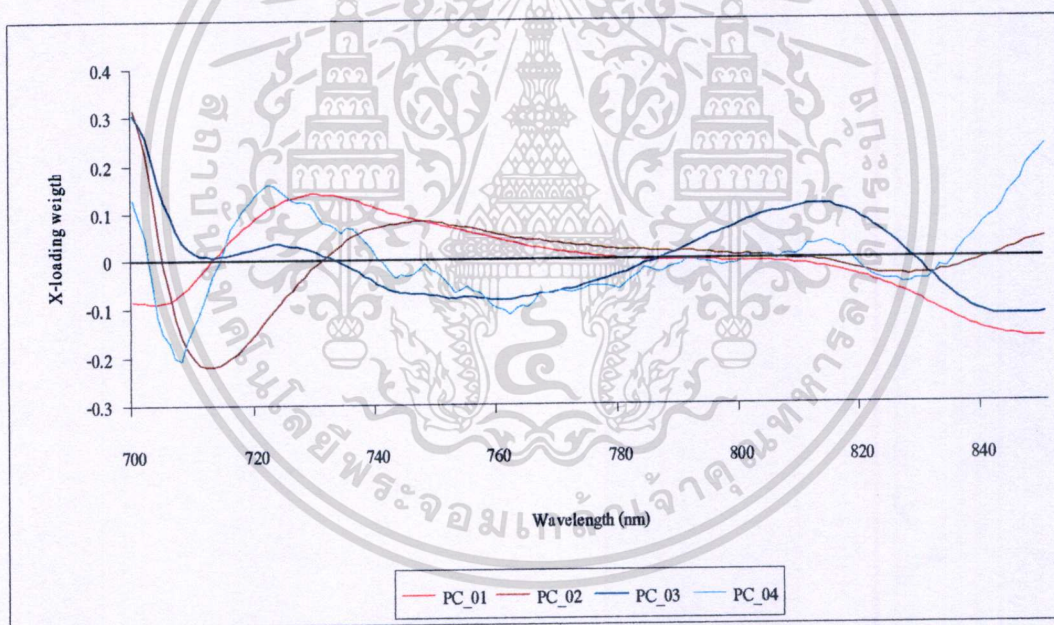


รูปที่ 4.40 กราฟ Linear Regression ของค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอที่ถูกทำนายด้วยแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตรกับค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอที่วัดจากการทดสอบเชิงกลแบบ Compression test

ในรูปที่ 4.41 แสดง Regression Coefficients ของแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตรของค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอ จากกราฟที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 700 708 722 743 747 762 790 828 และ 850 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีผลสูงต่อการทำนายค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอ โดยที่ความยาวคลื่น 747 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับ ArOH ที่ความยาวคลื่น 762 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับ  $\text{CH}_2$  และที่ความยาวคลื่น 790 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับ  $\text{ArNH}_3$  (Osborne and Fearn., 1986) ส่วนที่ความยาวคลื่น 700 708 722 743 747 828 และ 850 นาโนเมตร ไม่สามารถค้นการอ้างอิงได้



รูปที่ 4.41 กราฟ Regression Coefficients ของแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตรของค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอ



รูปที่ 4.42 กราฟ X-loading ของแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตรของค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอ

จากรูปที่ 4.42 แสดงกราฟ X-loading ของแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตรของค่าการดูดซับพลังงานของผลส้มโอ โดยแสดงกราฟ X-loading ของ PC1 PC2 PC3 และ PC4 โดยมีค่าเท่ากับ 55 37 8 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ บริเวณความยาวคลื่นเท่ากับ 714 นาโนเมตร PC1 PC3 PC4 ไม่มีอิทธิพลต่อแบบจำลองแต่มีผลต่อ PC2 บริเวณที่ความยาวคลื่น 787 นาโนเมตร ไม่มีอิทธิพลต่อทุก PC บริเวณความยาวคลื่น 800 – 810 นาโนเมตร ไม่มีอิทธิพลต่อ PC1 PC2 PC4 แต่มีอิทธิพลต่อ PC3 และที่ความยาวคลื่น 834 นาโนเมตรนั้นทุก PC มีอิทธิพลต่อแบบจำลองน้อย



## สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้สมบัติทางกายภาพที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา คือ ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่น อาจเนื่องมาจากก่อนการเก็บรักษาส้มโอ ได้มีการเคลือบผิวส้มโอจึงทำให้ลดการคายน้ำของผลส้มโอลง สีของผลส้มโอเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยผลส้มโอจะเป็นสีเหลืองมากขึ้นและมีความสว่างของสีมากขึ้นหลังจากเก็บรักษาไว้ 3 เดือน

สมบัติเชิงกลจากการทดสอบแบบ Compression test ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นได้แก่ ความแน่นเนื้อเริ่มต้นและความแน่นเนื้อเฉลี่ยซึ่งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น การดูดซับพลังงานและอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากสิ่งเหล่านี้อาจบอกได้ว่าผลส้มโอนั้นมีลักษณะผลอ่อนนุ่มลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ส่วนความสามารถในการคืนรูปเมื่อรับแรงค่อนข้างคงที่ และความยืดหยุ่นหนืด (Viscoelasticity) ของผลส้มโอมีแนวโน้มลดลงตามเวลา ถึงแม้ผลส้มโอจะอ่อนนุ่มลงแต่ ความสามารถในการคืนรูปเมื่อรับแรงค่อนข้างคงที่ส่งผลต่อการจัดการระหว่างขนส่งก่อนถึงมือผู้บริโภค

สมบัติเชิงกลจากการทดสอบแบบ Puncture test ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาได้แก่ ความแน่นเนื้อเฉลี่ยโดยมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แรงฉีกฉีกและแรงที่ทำให้เปลือกทะลุมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งสิ่งนี้บอกได้ว่าเปลือกส้มโอแข็งแรงน้อยลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น แรงที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปเนื้อส้มโอและพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุลงไปเนื้อส้มโอมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างบอกได้ว่าส่วนบริเวณเปลือกหุ้มเนื้อและบริเวณเนื้อที่โดนหักควมมีความอ่อนลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ความเหนียวของเปลือกส้มโอมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการคายน้ำของผิวผลส้มโอทำให้โครงสร้างของเปลือกเหนียวขึ้น ส่วนแรงที่ทำให้เปลือกเนื้อทะลุนั้นมีค่าลดลงอาจกล่าวได้ว่าเปลือกเนื้อนั้นนุ่มลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

สมบัติเชิงกลของเนื้อส้มโอทุกค่าทั้ง แรงที่ทำให้เนื้อทะลุ แรงเฉลี่ยที่ใช้ในการแทง ความเหนียวของเนื้อส้มโอนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น อาจกล่าวได้ว่าเนื้อส้มโอนั้นคงคุณภาพทางเนื้อสัมผัสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของเนื้อส้มโอในรอบของระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 90 วันนั้นอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นจึงทำให้ค่าที่ได้แตกต่างอย่างเห็นได้ชัด

สมบัติทางชีวเคมีของเนื้อส้ม ोनันทุกค่าเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 75 วัน ซึ่งหลังจาก 75 วันปริมาณของแข็งที่ละลายได้นั้นลดลงและคงที่ สิ่งนี้จึงบอกได้ว่าส้มโอเมื่อถูกเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน 15 วันนั้นคุณภาพทางรสชาติจะลดลง ส่วนปริมาณกรดที่ไตเตรทได้มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยจะลดลงมากหลังจากการเก็บรักษาไปแล้ว 75 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไตเตรทได้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นนั้นเนื้อส้ม โอจะหวานขึ้นและจะเปรี้ยวน้อยลง

การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยการทำนายกลุ่มตามระยะเวลาการเก็บรักษานั้นผลการทำนายจากเครื่อง NIR transmittance และ จากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลมีความแม่นยำในการแบ่งกลุ่มที่ต่ำ ส่วน การทำนายกลุ่มเนื้อส้ม โอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร มีเปอร์เซ็นต์การทำนายโดยรวมดีที่สุด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการแบ่งกลุ่มเนื้อส้ม โอด้วยวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์การทำนายถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 40.70 เปอร์เซ็นต์

การทำนายกลุ่มของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีร่วมกับวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) การทำนายโดยใช้เครื่อง NIR transmittance และจากเครื่อง NIR FQA GUN ที่วัดจากผลและเนื้อส้ม ोनันยังมีความแม่นยำที่ต่ำ

การทำนายคุณสมบัติต่างๆ ของส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีนั้น ผลการทำนายที่ได้ทุกเครื่องนั้นยังมีประสิทธิภาพในการทำนายที่ต่ำ โดยการทำนายทุกสมบัตินั้นมีค่า  $r$  ต่ำกว่า 0.8 อยู่มาก ค่าที่ทำนายได้แม่นยำที่สุดคือการดูดซับพลังงานของผลส้มโอแบบจำลองที่ทำนายกลุ่ม Prediction ได้ดีที่สุดคือแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตร โดยมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.722 ค่า SEP เท่ากับ 5.572 เปอร์เซ็นต์ และค่า Bias เท่ากับ -0.227 ส่วนสมบัติอื่นๆนั้นความแม่นยำในการทำนายยังต่ำโดยมีค่า  $r$  อยู่ระหว่าง 0.099 – 0.705 ซึ่งสมบัติที่มีค่า  $r$  มากกว่า 0.7 คือ ความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลส้มโอซึ่งทำนายโดยแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง NIR transmittance ที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร โดยมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.702 ค่า SEP เท่ากับ 0.972 เปอร์เซ็นต์ และค่า Bias เท่ากับ -0.220 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้โดยใช้

สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN จากค่าทางสถิติของแบบจำลองต่างๆ แบบจำลองที่ทำนายได้แม่นยำที่สุดคือแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมเริ่มต้นที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร โดยมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.705 ค่า SEP เท่ากับ 0.584 เปอร์เซนต์ และค่า Bias เท่ากับ 0.061



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- Clark, C.J., V. A. McGlone, C. Requejo, A. White, A. B. Woolf. 2003. Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 29: 300-307.
- Clark, C.J., V. A. McGlone, H.N. De silva, M.A. Manning, J. Burdon, A.D. Mowat. 2004. Prediction of storage disorders of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest. *Postharvest Biology and Technology*. 32: 147-158.
- Iyo, C., Kawano, S. 2001. "Predicting Brix Values of Stored Apple Using Near Infrared Spectra." **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**. 70(4) : 510 – 515 .
- Jarimopas B, Kitthawee U. 2007. Firmness properties of mangoes. *INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD PROPERTIES*. 10 : 899-909
- Lijuan X., Y. Ying and T. Ying. 2007. Combination and comparison of chemometrics methods for identification of transgenic tomatoes using visible and near-infrared diffuse transmittance technique. *Journal of Food Engineering*. 82: 395-401.
- Manuela Zude, Bernd Herold, Jean – Michel Roger, Veronique Bellon – Maurel, Sandra Landaht. 2006. "Non – destructive Tests on The Prediction of Apple Fruit Flesh Firmness and Soluble Solid Content on Tree and in Shelf Life." **Journal of Food Engineering**. 77 : 254 – 260.
- Manuela Zude, Werner B. Herppich, Huating Dou, William M. Miller. 2002. "Non – destructive Prediction of Grapefruit Sensitivity to Chilling Injury." **The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems**. Paper Number : 026187.
- Osborne, B.G., Fearn, T. 1986 *Near Infrared Spectroscopy in food analysis*. Longman Scientific & Technical, New York, USA
- Sirisomboon P, Tanaka M, Akinaga T, Kojima, T. 2000. Evaluation of the textural properties of Japanese pear. *JOURNAL OF TEXTURE STUDIES*. 31 : 665-677.
- Teerachaichayut, S., Kwon Y. K., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, Y. Nakanishi. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 43: 202-206.
- V. Andrew McGlone, Robert B. Jordan, Paul J. Martinsen. 2002. "Vis/NIR Estimation at Harvest of Pre- and Post-Storage Quality Indices for 'Royal Gala' Apple." **Postharvest Biology and Technology**. (25) : 135 – 144.

V. Andrew McGlone, Sumio Kawano. 1998. "Firmness, Dry – matter and Soluble – Solid Assessment of Postharvest Kiwifruit by NIR spectroscopy." **Postharvest Biology and Technology**. 13 : 131 – 141.

Williams, P. 2007. Near-infrared Technology-Getting the best out of light. Edition 5.0. Nanaimo, Cannada.

กรมศุลกากร. "สถิติการนำเข้า." [Online]. Available:

<http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex.jsp>, 2549

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า. "Learning Module on Earth Science and Astronomy." [Online].

Available : <http://www.lesa.in.th/index.html>. 2003.

จริงแท้ ศรีพานิช. 2531. "การเก็บรักษาส้มโอ". **ไม้ผลไทย : การทำสวนส้มโอไทย**. 3 : หน้า 27-30  
 ธงชัย สุวรรณดิชฉน์. "การวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ(Data Analysis of NIR Spectra : Qualitative and Quantitative Analysis )" การอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 2545. หน้า 116 – 119.

นิพนธ์ ดังคณานุกรณ์. "หลักการพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโคปี, การอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 2545. หน้า 42 – 48.

พรรณทิพย์ ห่อศรีสัมพันธ์. "NIR Spectrometer เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สารอินทรีย์" [Online].

Available : [http://www.thaiscience.com/lab\\_vol/p31/nir.asp](http://www.thaiscience.com/lab_vol/p31/nir.asp). 2004.

ศิรินภา ศรีณย์วงศ์, จินดา ศรศรีวิชัย, และศุมิ โอะ คาวา โนะ., "การใช้ประโยชน์ NIRS กับผลไม้เขตร้อน : ช่วงความยาวคลื่นและเครื่องมือสำหรับการประเมินคุณภาพของผลมะม่วงสด". การอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก., 2545., หน้า 213

ส้มโอ. "องค์การตลาดเพื่อการเกษตร." [Online]. Available : <http://www.mof.or.th/fruit-somo.htm>. 2549.

อนุพันธ์ เทิดวงศัวรกุล., "การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์" การอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 2545. หน้า 78 – 96.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค่าเฉลี่ยทางสถิติของ เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลเชิงเรขาคณิต น้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่น และสัณฐานวิทยา (L\*,a\*,b\*) ต่างระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
<b>เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลเชิงเรขาคณิต</b>	18.205 ± 1.008	18.915 ± 1.528	18.463 ± 0.852	17.721 ± 0.738	18.386 ± 0.936	17.802 ± 0.742	18.516 ± 1.158	18.383 ± 1.079	17.307 ± 0.980
<b>น้ำหนัก (กรัม)</b>	2131.422 ±	2282.562 ±	2237.887 ±	1990.536 ±	2195.248 ±	1976.046 ±	2258.359 ±	2121.173 ±	1907.346 ±
	326.944	342.724	253.117	254.337	267.745	204.777	303.292	281.591	232.921
<b>ปริมาตร (ลบ.ซม.)</b>	3268.500 ±	3642.000 ±	3392.500 ±	3050.500 ±	3449.000 ±	3060.000 ±	3622.000 ±	3369.500 ±	2959.470 ±
	547.331	651.529	531.550	384.427	539.024	393.065	655.965	583.866	504.011
<b>ความหนาแน่น (กก.ต่อลบ.ม.)</b>	654.00 ± 49.78	632.50 ± 58.39	665.50 ± 66.84	656.50 ± 81.32	639.50 ± 39.13	648.40 ± 32.53	630.00 ± 51.61	634.50 ± 51.17	650.50 ± 47.43
<b>สีเหลือง L*</b>	55.818 ± 3.983	57.891 ± 2.179	59.47 ± 3.088	58.44 ± 2.389	59.055 ± 3.219	62.053 ± 4.745	64.002 ± 6.033	64.381 ± 4.865	68.531 ± 5.166
<b>a*</b>	-13.932 ± 1.067	-14.180 ± 1.130	-13.936 ± 1.039	-13.511 ± 1.105	-13.839 ± 0.906	-12.457 ± 2.305	-11.335 ± 3.265	-10.873 ± 3.07	-8.084 ± 4.022
<b>b*</b>	35.423 ± 2.955	36.886 ± 2.127	36.974 ± 3.026	36.363 ± 2.469	39.109 ± 3.429	41.141 ± 4.677	43.623 ± 6.381	43.698 ± 5.613	47.843 ± 7.145
<b>สีน้ำเงิน L*</b>	73.698 ± 4.164	67.027 ± 2.297	67.619 ± 2.650	68.306 ± 2.894	67.081 ± 2.570	66.291 ± 4.050	67.931 ± 2.356	67.565 ± 2.748	66.817 ± 3.315
<b>a*</b>	73.634 ± 3.609	66.749 ± 3.411	66.574 ± 2.573	68.127 ± 2.668	66.611 ± 2.955	66.866 ± 3.021	68.750 ± 2.381	67.584 ± 2.270	67.134 ± 3.983
<b>b*</b>	0.075 ± 0.977	0.291 ± 0.424	-0.101 ± 0.577	-0.932 ± 0.540	-0.769 ± 0.553	-1.127 ± 0.368	-1.693 ± 0.544	-1.084 ± 0.693	-1.498 ± 0.545
<b>สีส้ม L*</b>	-0.224 ± 0.855	0.362 ± 0.503	-0.116 ± 0.576	-0.953 ± 0.491	-0.931 ± 0.404	-0.937 ± 0.382	-1.522 ± 0.498	-1.207 ± 0.512	-1.448 ± 0.572
<b>a*</b>	22.713 ± 2.057	20.379 ± 1.400	20.411 ± 1.551	21.086 ± 1.112	21.751 ± 1.362	21.452 ± 1.236	22.633 ± 1.686	21.883 ± 1.196	22.614 ± 1.343
<b>b*</b>	22.284 ± 1.540	20.119 ± 2.279	20.108 ± 2.0725	21.233 ± 1.300	22.438 ± 1.728	21.561 ± 1.766	22.487 ± 1.356	21.630 ± 1.331	22.815 ± 1.506

ตาราง ค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัติเชิงกลของผลึกส้มโอยจากการทดสอบเนื้อส้มโผลัดด้วยวิธี Compression test

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
ความแน่นเนื้อเริ่มต้น (นิวตัน/มิลลิเมตร)	13.825 ± 2.491	14.384 ± 2.172	14.472 ± 2.385	13.115 ± 2.247	13.891 ± 2.203	10.434 ± 2.629	12.266 ± 1.663	12.525 ± 1.271	11.679 ± 1.466
ความแน่นเนื้อเฉลี่ย (นิวตัน/มิลลิเมตร)	11.761 ± 1.596	11.779 ± 1.212	11.464 ± 1.083	11.011 ± 0.630	10.709 ± 0.834	10.036 ± 0.945	9.743 ± 1.236	9.537 ± 1.136	9.269 ± 0.713
การดูดซับพลังงานของผลึกส้มโ (นิวตัน*มิลลิเมตร)	0.045 ± 0.007	0.043 ± 0.005	0.042 ± 0.004	0.044 ± 0.003	0.047 ± 0.004	0.051 ± 0.006	0.053 ± 0.008	0.054 ± 0.008	0.055 ± 0.005
อัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง	0.019 ± 0.002	0.018 ± 0.003	0.019 ± 0.002	0.020 ± 0.002	0.020 ± 0.002	0.022 ± 0.003	0.022 ± 0.003	0.023 ± 0.003	0.025 ± 0.003
ระดับความยืดหยุ่น	0.666 ± 0.037	0.704 ± 0.029	0.719 ± 0.036	0.702 ± 0.037	0.697 ± 0.033	0.674 ± 0.029	0.675 ± 0.031	0.684 ± 0.027	0.678 ± 0.035
การกลายความเค้น	0.256 ± 0.021	0.230 ± 0.015	0.217 ± 0.020	0.213 ± 0.019	0.215 ± 0.014	0.203 ± 0.022	0.233 ± 0.018	0.216 ± 0.019	0.224 ± 0.025

ตาราง ค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมมติเชิงกลของผลสัมฤทธิ์จากการทดสอบเนื้อสัมผัสโดยวิธี Puncture test

การเก็บรักษา (วัน)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
เนื้อเริ่มต้น (นิวตัน*มม.)	8.525 ± 1.593	8.569 ± 1.106	7.875 ± 0.890	8.231 ± 1.465	8.827 ± 1.560	7.565 ± 1.054	7.842 ± 1.625	6.971 ± 1.786	7.953 ± 1.919
เนื้อเฉลี่ย (นิวตัน*มม.)	4.935 ± 0.829	4.634 ± 0.497	4.421 ± 0.272	4.383 ± 0.413	4.260 ± 0.607	3.962 ± 0.429	3.837 ± 0.586	3.644 ± 0.578	3.567 ± 0.422
(นิวตัน)	23.786 ± 4.403	22.276 ± 2.727	20.818 ± 3.565	21.042 ± 4.715	19.556 ± 4.519	18.263 ± 4.514	20.835 ± 4.228	18.986 ± 4.784	18.581 ± 3.529
ทำให้เกิดแรงฉีกขาด (มม.)	4.500 ± 1.212	4.386 ± 0.961	4.265 ± 1.062	4.278 ± 1.181	4.080 ± 1.282	4.071 ± 1.109	5.021 ± 1.287	4.715 ± 1.428	4.785 ± 1.016
ผลการทดลองในส่วนเปลือกขาวยในผลส้มโอ (นิวตัน)	6.596 ± 1.565	6.030 ± 1.115	5.969 ± 1.054	6.418 ± 2.147	5.453 ± 1.119	5.898 ± 1.640	5.490 ± 1.854	5.827 ± 2.170	6.026 ± 1.650
ดำเนินการทดลองในส่วนเปลือกขาวยในผลส้มโอ (นิวตัน*มม.)	65.952 ± 15.645	60.294 ± 11.150	59.678 ± 10.540	64.172 ± 21.461	54.526 ± 11.186	58.974 ± 16.402	54.894 ± 18.539	58.269 ± 21.700	60.253 ± 16.837
เปลือกทะเลดู (นิวตัน)	29.180 ± 3.082	28.557 ± 3.053	27.487 ± 2.885	30.335 ± 2.736	27.513 ± 3.293	28.082 ± 3.064	26.672 ± 4.144	25.742 ± 4.292	25.878 ± 4.351
ทำให้เปลือกทะเลดู (มม.)	5.931 ± 0.736	6.134 ± 0.770	6.157 ± 0.696	6.897 ± 0.942	6.406 ± 0.566	7.035 ± 0.689	7.006 ± 0.547	6.962 ± 0.843	7.191 ± 1.147
ผลการทดลองในส่วนเนื้อส้มโอ (นิวตัน)	5.669 ± 1.853	5.776 ± 1.874	5.563 ± 1.831	5.576 ± 0.875	4.835 ± 2.017	4.480 ± 1.698	4.145 ± 1.061	4.180 ± 1.336	3.748 ± 1.009
ดำเนินการทดลองในส่วนเนื้อส้มโอ (นิวตัน*มม.)	56.683 ± 18.524	57.750 ± 18.736	53.626 ± 18.306	55.754 ± 8.748	48.340 ± 20.166	44.799 ± 16.980	41.442 ± 10.610	41.793 ± 10.610	37.478 ± 10.094


ตาราง ค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัติเชิงกลของเนื้อสัมผัส ไอจากอาการทดสอบเนื้อสัมผัส โดยวิธี Puncture test

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
ค่าแรงที่หักเนื้อทะลุ (นิวตัน)									
ด้านที่ 1	1.931 ± 0.496	2.25 ± 0.479	2.153 ± 0.388	1.971 ± 0.588	2.0188 ± 0.870	2.100 ± 0.846	1.190 ± 0.336	1.982 ± 0.669	2.036 ± 0.684
ด้านที่ 3	2.061 ± 0.708	2.054 ± 0.484	1.955 ± 0.364	1.895 ± 0.522	1.837 ± 0.457	1.916 ± 0.628	1.226 ± 0.317	1.879 ± 0.537	1.892 ± 0.586
ด้านที่ 1	1.273 ± 0.366	1.444 ± 0.299	1.479 ± 0.410	1.2524 ± 0.432	1.205 ± 0.442	1.186 ± 0.424	0.754 ± 0.211	1.313 ± 0.514	1.139 ± 0.404
ด้านที่ 3	1.280 ± 0.448	1.337 ± 0.278	1.317 ± 0.283	1.274 ± 0.477	1.307 ± 0.395	1.320 ± 0.495	0.765 ± 0.208	1.258 ± 0.437	1.190 ± 0.428
ด้านที่ 1	12.725 ± 3.659	14.438 ± 2.992	14.785 ± 4.102	12.521 ± 4.319	12.049 ± 4.423	11.856 ± 4.240	7.537 ± 2.113	13.126 ± 5.138	11.390 ± 4.036
ด้านที่ 3	12.794 ± 4.475	13.366 ± 2.775	13.169 ± 2.830	12.737 ± 4.763	13.067 ± 3.949	13.192 ± 4.949	7.643 ± 2.083	12.581 ± 4.372	11.894 ± 4.276

ความหนืดของเนื้อสัมผัสไอ (นิวตัน\*มม.)

ตาราง ค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัติทางชีวเคมีของเนื้อสัมผัสไอ

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
ค่าของแข็งที่ละลายได้ (% Brix)									
ด้านที่ 1	9.03 ± 0.88	8.95 ± 0.63	9.96 ± 0.57	9.99 ± 0.82	10.15 ± 0.63	10.23 ± 0.82	10.03 ± 0.61	9.81 ± 0.76	9.28 ± 2.34
ด้านที่ 3	8.93 ± 0.89	8.99 ± 0.58	9.88 ± 0.62	10.02 ± 0.80	10.09 ± 0.62	10.35 ± 0.70	9.81 ± 0.59	9.80 ± 0.75	9.41 ± 2.37
ด้านที่ 1	0.520 ± 0.049	0.564 ± 0.050	0.539 ± 0.045	0.553 ± 0.062	0.533 ± 0.048	0.536 ± 0.066	0.509 ± 0.061	0.466 ± 0.083	0.427 ± 0.052
ด้านที่ 3	0.535 ± 0.069	0.560 ± 0.067	0.531 ± 0.047	0.558 ± 0.061	0.483 ± 0.125	0.530 ± 0.057	0.505 ± 0.053	0.443 ± 0.080	0.424 ± 0.064
อัตราส่วนของค่า Soluble Solid ต่อปริมาณกรดที่ได้ออก									
ด้านที่ 1	17.704 ± 1.873	15.992 ± 2.059	18.564 ± 1.471	18.293 ± 2.761	19.103 ± 2.202	19.321 ± 2.500	19.665 ± 1.931	21.099 ± 2.605	22.956 ± 2.418
ด้านที่ 3	17.242 ± 2.725	16.001 ± 1.546	18.717 ± 1.738	18.118 ± 2.755	21.715 ± 6.886	19.735 ± 2.366	19.290 ± 2.395	22.786 ± 4.232	23.838 ± 3.831

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sun with rays, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sun is a decorative banner with Thai script. The entire emblem is surrounded by a circular border containing the university's name in Thai: "มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์" (Mahavithayalai Rajabhat Buriram).

**ภาคผนวก ข.**

**ผลการแบ่งกลุ่มผลส้มโอด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (NIR Spectroscopy) ด้วยวิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) และวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA)**

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร

Storages (day)	No. of fruit for prediction	Model										% Correct			
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9					
0	10	80	10	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	10	90	10	70	40	60	50	60	90	90	90	90	90	90	0
30	10	70	60	80	10	10	10	20	60	60	60	60	60	60	0
45	10	100	100	40	80	40	0	20	50	50	50	50	50	80	0
60	10	80	80	10	0	90	0	0	40	40	40	40	40	30	0
75	8	75	62.5	25	0	12.5	100	0	25	25	25	25	25	25	0
90	10	80	70	50	30	50	30	70	50	50	50	50	50	40	0
105	10	100	100	100	70	90	60	70	70	70	70	70	70	50	0
120	8	100	100	75	37.5	50	50	37.5	50	50	50	50	50	62.5	12.5

of correct classification Percentage

ตารางผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตร

Storages (day)	No. of fruit for prediction	Model										% Correct				
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9						
0	10	100	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	10	90	10	60	30	50	50	50	50	50	50	50	10	90	90	0
30	10	60	60	80	10	10	10	10	10	10	10	20	10	60	60	0
45	10	100	90	40	100	20	100	20	20	20	20	20	0	80	80	0
60	10	80	70	10	0	100	0	100	0	0	0	0	0	50	50	0
75	8	62.5	37.5	12.5	0	0	0	100	0	0	0	0	0	25	25	0
90	10	80	70	40	40	50	40	50	30	60	60	60	10	40	40	0
105	10	100	100	80	60	70	60	70	30	60	60	60	70	50	50	10
120	8	100	100	62.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	12.5	25	25	0

of correct classification Percentage

ตารางผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร

Storages (day)	No. of fruit for prediction	Model										% Correct			
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9					
0	10	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	10	90	80	50	40	20	10	10	10	10	10	10	10	70	0
30	10	30	20	80	10	10	10	0	0	0	0	0	0	40	0
45	10	60	20	40	100	20	0	0	0	0	0	0	0	30	0
60	10	40	0	10	0	100	0	0	0	0	0	0	0	10	0
75	8	50	0	12.5	0	0	100	0	0	100	0	0	0	12.5	0
90	10	70	40	40	30	20	10	10	90	10	10	10	10	0	0
105	10	100	70	90	60	60	0	40	100	0	40	100	30	0	0
120	8	87.5	50	50	37.5	25	0	12.5	0	0	0	0	0	87.5	0

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตร

Storages (day)	No. of fruit for prediction	Model										% Correct					
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9							
0	10	70	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	10	90	10	60	30	50	50	50	90	90	90	90	90	90	90	90	0
30	10	60	60	80	10	20	10	20	60	60	60	60	60	60	60	60	0
45	10	100	90	40	100	20	100	20	20	20	20	20	20	20	20	20	0
60	10	80	70	10	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	8	100	37.5	12.5	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	10	90	70	40	40	50	40	30	60	60	60	60	60	60	60	60	0
105	10	100	100	80	60	70	60	30	60	60	60	60	60	60	60	60	0
120	8	100	100	62.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	25

of correct classification Percentage

ตารางผลการทำนายผลตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร

Storages (day)	No. of fruit for prediction	Model										% Correct		
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9				
0	10	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
15	10	80	10	10	30	30	10	30	30	50	20	50	20	0
30	10	60	60	80	20	0	20	0	20	30	40	30	40	0
45	10	90	90	10	100	10	10	0	10	20	70	20	30	0
60	10	50	60	0	0	100	0	0	0	30	30	30	30	0
75	8	75	50	0	0	0	100	0	0	25	12.5	0	12.5	0
90	10	80	70	30	40	40	40	20	80	40	30	40	30	0
105	10	100	100	80	60	50	20	30	70	30	30	30	30	0
120	8	87.5	100	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	25	50	50	50	50	0

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตร

Storages (day)	No. of fruit for prediction	Model										% Correct				
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9						
0	10	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	8	9	0	0
15	10	80	60	10	30	10	30	10	10	10	30	30	50	80	0	0
30	10	60	20	80	20	10	20	10	0	0	20	20	30	40	0	0
45	10	90	60	20	100	10	100	10	0	0	10	10	50	60	0	0
60	10	60	20	0	0	100	0	100	0	0	0	0	40	20	0	0
75	8	75	25	0	0	0	0	0	100	0	0	0	37.5	12.5	0	0
90	10	80	60	30	40	30	40	20	20	20	70	70	60	30	0	0
105	10	100	100	90	70	50	70	20	20	20	40	40	60	30	0	0
120	8	100	62.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	50	37.5	0	0

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร

Storages (day)	No. of fruit for prediction	Model										% Correct		
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9				
0	10	100	60	50	40	90	100	60	90	70	20	0	9	20
15	10	70	40	60	50	60	80	40	70	90	0	0	0	0
30	10	10	0	100	10	0	20	0	0	30	0	0	0	0
45	10	0	10	0	100	0	10	0	0	20	0	0	20	0
60	10	10	20	20	10	80	10	40	0	20	0	20	20	0
75	8	25	37.5	37.5	50	25	37.5	0	0	50	37.5	0	12.5	0
90	10	40	40	50	50	30	50	50	100	50	10	50	10	0
105	10	70	80	80	60	70	60	70	10	80	10	10	10	10
120	8	50	62.5	62.5	62.5	25	50	0	25	100	25	0	25	0

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตร

Storages (day)	No. of fruit for prediction	Model										% Correct			
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9					
0	10	60	80	70	50	80	70	60	60	60	60	60	80	9	20
15	10	70	40	60	40	60	50	50	80	80	80	80	80	80	0
30	10	60	0	100	10	0	10	0	10	0	10	0	10	70	0
45	10	50	10	0	100	0	10	0	10	0	10	0	10	60	0
60	10	60	20	10	50	90	20	0	10	0	10	0	10	20	0
75	8	37.5	37.5	37.5	50	37.5	62.5	12.5	50	25	25	0	0	0	
90	10	60	40	40	60	30	50	90	30	10	10	0	0	0	
105	10	70	80	70	60	70	40	0	80	10	10	0	0	0	
120	8	37.5	37.5	50	50	12.5	37.5	0	12.5	100	0	0	12.5	100	0

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9	
0	25	96	84	52	56	40	28	40	72	44	20
15	25	24	84	4	32	8	12	4	44	88	0
30	25	64	28	96	44	24	28	8	76	68	0
45	25	24	68	52	40	32	12	16	60	28	0
60	25	16	56	20	36	100	0	0	24	36	0
75	20	50	85	50	75	25	85	0	25	5	0
90	25	60	52	44	64	48	28	88	24	40	0
105	25	76	100	72	96	60	44	20	44	20	0
120	20	25	100	90	100	55	35	25	45	95	13

of correct classification Percentage

ตารางผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9	
0	25	100	84	64	52	40	24	48	56	32	16
15	25	36	84	4	32	8	16	4	40	84	0
30	25	80	28	92	36	20	28	28	68	84	4
45	25	28	60	52	52	40	12	32	52	32	0
60	25	20	48	20	8	96	4	0	12	36	0
75	20	50	80	50	65	40	80	10	25	10	0
90	25	64	52	40	56	52	28	92	24	44	0
105	25	80	92	36	76	56	32	20	44	48	0
120	20	40	100	75	70	60	20	40	40	100	0

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร

Storages (day)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9	
0	25	92	24	28	40	28	24	24	24	24	16
15	25	0	92	4	24	0	0	0	0	4	0
30	25	0	4	100	4	0	0	0	0	0	0
45	25	4	28	20	72	12	4	8	20	16	0
60	25	0	0	4	4	100	0	0	0	0	0
75	20	45	60	40	65	55	85	0	15	0	0
90	25	44	52	40	60	48	24	96	16	0	0
105	25	56	68	72	68	64	36	24	76	4	0
120	20	30	55	50	70	55	35	5	25	95	0

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model										% Correct
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	25	100	36	28	40	32	28	32	28	24	20	
15	25	0	92	16	24	4	8	4	8	4	0	
30	25	0	24	92	16	12	8	8	28	4	0	
45	25	4	52	32	56	32	16	12	24	20	0	
60	25	0	4	8	12	92	8	8	0	0	0	
75	20	50	65	40	65	60	80	0	20	5	0	
90	25	48	56	72	60	60	32	100	16	0	0	
105	25	56	76	76	68	80	44	20	80	4	0	
120	20	30	80	90	70	80	35	10	25	100	0	

Percentage of correct classification

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้ม โอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร

Storages (day)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	40	40
15	10	100	90	40	70	100	60	100	60	100	100	10
30	10	100	0	100	10	100	0	100	0	100	100	0
45	10	100	20	30	80	40	40	50	30	100	100	0
60	10	100	40	30	10	80	10	20	0	100	100	0
75	8	100	25	0	0	13	100	0	0	100	100	0
90	10	100	40	20	30	30	0	80	10	100	100	0
105	10	100	50	20	10	40	30	30	80	100	100	0
120	8	12.5	100	100	100	100	100	100	100	100	88	0

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้ม โดยตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	80	100	100	100	100	100	100	100	100	30	20
15	10	100	90	40	30	80	30	90	20	100	100	0
30	10	100	0	100	10	90	0	100	40	100	100	0
45	10	100	30	30	80	40	30	60	60	100	100	0
60	10	100	30	20	10	90	20	40	20	100	100	0
75	8	100	50	0	0	13	100	25	0	100	100	0
90	10	100	60	30	40	0	0	80	10	100	100	0
105	10	100	30	20	10	20	10	30	80	100	100	0
120	8	25	100	100	100	100	100	100	100	75	12.5	

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้ม โดยตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
15	10	100	100	10	70	90	80	100	100	80	100	10
30	10	100	30	100	0	30	0	100	100	10	100	0
45	10	100	10	0	100	70	60	100	100	50	100	0
60	10	100	30	0	10	100	50	100	100	20	100	0
75	8	100	88	13	25	100	100	0	100	0	100	0
90	10	100	100	40	60	100	0	100	100	10	100	0
105	10	100	100	60	80	100	10	30	100	90	100	0
120	8	87.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	87.5

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้ม โดยตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี SIMCA โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model										% Correct		
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9				
0	10	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90
15	10	100	100	40	100	100	100	100	100	100	100	100	90	40
30	10	100	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	50	50
45	10	100	40	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10
60	10	100	100	60	100	100	100	100	100	100	100	100	60	50
75	8	100	100	100	100	100	100	100	100	13	100	100	0	0
90	10	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	0	0
105	10	100	100	100	100	100	100	50	100	20	100	100	90	10
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct		
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9			
0	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
15	10	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
75	8	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	80	0
105	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80	10
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	25	25

ตารางผลการทำนายค่าคุณสมบัติตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ความยาวคลื่น 700–850 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct		
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9			
0	10	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
15	10	100	0	100	90	100	100	100	100	100	100	100	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
75	8	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	0
90	10	90	100	100	100	100	100	100	100	0	90	100	0
105	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	20	90	20
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	25	25

ตารางผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
15	10	100	0	100	100	100	100	100	100	100	90	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	0
75	8	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	100	0	100	100	90	0
105	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	20	20
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	25	25

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct		
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9			
0	10	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
15	10	100	0	100	90	100	100	100	100	100	100	90	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
75	8	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	100	100	100	0	90	100	0
105	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	20
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	25	25

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับรูปร่างด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
15	10	100	0	100	100	100	100	100	100	100	90	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	0
75	8	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	100	0	90	80	0	0
105	10	100	100	100	100	100	100	100	50	90	50	50
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	25	100	25

ตารางผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตรที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model										% Correct		
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9				
0	10	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
15	10	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
75	8	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	80	0
105	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	0
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	25	25

ตารางผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 660 – 960 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50
15	10	100	0	100	100	100	100	100	100	100	90	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	0
75	8	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	0
105	10	100	100	100	100	100	100	100	0	100	80	0
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0

of correct classification Percentage

ตารางผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR Transmittance ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 – 850 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60
15	10	100	0	100	100	100	100	100	100	100	90	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	0
75	8	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	0
105	10	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	0
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80	0
		100	100	100	100	100	100	100	100	100	13	13

ตารางผลการทำนายผลตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง NIR FQA GUN ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct		
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9			
0	25	12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	12
15	25	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
30	25	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
45	25	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
60	25	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
75	20	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	0
90	25	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	0
105	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	84	0
120	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10	10

of correct classification Percentage

ตารางผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง NIR FQA GUN ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	20
15	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
30	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
45	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
60	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
75	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	0
90	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0
105	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	0
120	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	84	0
		100	100	100	100	100	100	100	100	100	15	15

of correct classification Percentage

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR FQA GUN ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	25	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
15	25	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
30	25	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
45	25	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
60	25	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	0
75	20	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	0
90	25	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	0
105	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	4	4
120	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10

ตารางผลการทำนายกลุ่มส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR FQA GUN ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
15	25	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
30	25	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
45	25	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
60	25	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	0
75	20	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0
90	25	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	0
105	25	100	100	100	100	100	100	100	100	4	76	4
120	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10	10

ตาราง ผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้ม โดยตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง NIR FQA GUN ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	90	100	100	100	100	100	100	100	100	80	80
15	10	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	0
75	8	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	100	0	100	100	90	0
105	10	100	90	100	100	100	100	100	100	100	20	0
120	8	87.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

of correct classification Percentage

ตารางผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมเริ่มต้นจากเครื่อง NIR FQA GUN ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	90	100	100	100	100	100	100	100	100	90	90
15	10	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	0
75	8	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	100	0	100	100	90	0
105	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	20	0
120	8	87.5	100	100	100	100	100	100	100	100	88	87.5

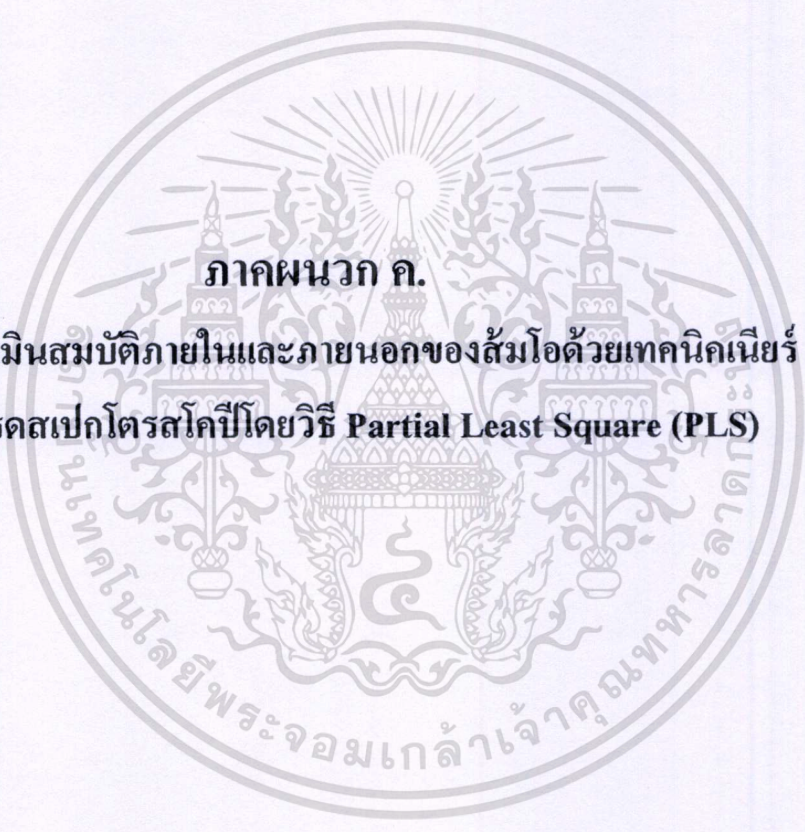
ตาราง ผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้ม โดยตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR FQA GUN ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ความยาวคลื่น 610 – 1060 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct	
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9		
0	10	70	100	100	100	100	100	100	100	100	70	70
15	10	100	60	100	100	100	100	100	100	100	100	60
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
60	10	100	100	100	100	20	100	100	100	100	100	20
75	8	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	0
90	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
105	10	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100	10
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ตารางผลการทำนายกลุ่มเนื้อส้มโอตามระยะเวลาเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR FQA GUN ที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ความยาวคลื่น 663 – 961 นาโนเมตร

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Model									% Correct
		Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9	
0	10	100	100	100	100	100	100	100	100	80	100
15	10	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0
30	10	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0
45	10	100	100	100	10	100	100	100	100	100	10
60	10	100	100	100	100	40	100	100	100	100	40
75	8	100	100	100	100	100	25	100	100	100	25
90	10	100	100	100	100	100	100	0	100	100	0
105	10	100	90	100	100	100	100	100	100	100	0
120	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

of correct classification Percentage

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst is a traditional Thai architectural structure, possibly a stupa or a temple entrance, flanked by two smaller similar structures. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text within the seal includes 'มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์' (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) and 'พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (King Chulalongkornrajavidyalaya University).

**ภาคผนวก ก.**

**ผลการประเมินสมบัติภายในและภายนอกของสัมมนาด้วยเทคนิคเนียร์  
อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีโดยวิธี Partial Least Square (PLS)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายภายใต้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR transmittance

Pre treatment	PC	Calibration						Prediction						Calibration			Prediction		
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias		
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	6	220	9.8	11.467	7.4	0.797	88	9.836	12.0	7.9	0.808	0.620	0.6	-1.300E-07	0.474	0.7	-0.1		
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	7	220	9.8	11.467	7.4	0.797	88	9.836	12.0	7.9	0.808	0.769	0.5	-7.846E-06	0.588	0.7	-0.1		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	8	220	9.8	11.467	7.4	0.797	88	9.836	12.0	7.9	0.808	0.659	0.6	3.468E-07	0.496	0.7	-0.1		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	7	220	9.8	11.467	7.4	0.797	88	9.836	12.0	7.9	0.808	0.737	0.5	-3.069E-06	0.580	0.7	-0.02		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	220	9.8	11.467	7.4	0.797	88	9.836	12.0	7.9	0.808	0.303	0.8	-9.103E-08	0.096	0.8	-0.1		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	8	220	9.8	11.467	7.4	0.797	88	9.836	12.0	7.9	0.808	0.743	0.5	-1.474E-07	0.443	0.8	-0.03		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	7	220	9.8	11.467	7.4	0.797	88	9.836	12.0	7.9	0.808	0.660	0.6	-9.537E-07	0.518	0.7	-0.1		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	6	220	9.8	11.467	7.4	0.797	88	9.836	12.0	7.9	0.808	0.719	0.6	5.228E-06	0.592	0.7	-0.04		

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าปริมาณการที่ไดตรงที่ได้ตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR transmittance

Pre treatment	PC	Calibration				Prediction				Calibration				Prediction			
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	5	211	0.5	0.711	0.3	0.077	82	0.5	0.655	0.3	0.069	0.584	0.1	-1.102E-08	0.553	0.1	0.005
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	3	211	0.5	0.711	0.3	0.077	82	0.5	0.655	0.3	0.069	0.557	0.1	-2.288E-08	0.507	0.1	0.005
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	5	211	0.5	0.711	0.3	0.077	82	0.5	0.655	0.3	0.069	0.584	0.1	-1.102E-08	0.548	0.1	0.004
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	3	211	0.5	0.711	0.3	0.077	82	0.5	0.655	0.3	0.069	0.557	0.1	-4.167E-08	0.507	0.1	0.005
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Goley Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	211	0.5	0.711	0.3	0.077	82	0.5	0.655	0.3	0.069	0.482	0.1	-2.599E-08	0.469	0.1	-0.002
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Goley Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	2	211	0.5	0.711	0.3	0.077	82	0.5	0.655	0.3	0.069	0.480	0.1	-2.754E-08	0.324	0.1	0.003
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	3	211	0.5	0.711	0.3	0.077	82	0.5	0.655	0.3	0.069	0.548	0.1	-3.319E-08	0.462	0.1	0.002
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	3	211	0.5	0.711	0.3	0.077	82	0.5	0.655	0.3	0.069	0.525	0.1	-3.588E-08	0.406	0.1	0.003

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ตรงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR transmittance

Pre treatment	PC	Calibration						Prediction						Calibration			Prediction		
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias		
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	4	215	19.5	38.603	9.4	3.608	84	19.4	29.025	13.6	3.032	0.583	2.9	-8.871E-09	0.529	2.6	0.2		
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	4	215	19.5	38.603	9.4	3.608	84	19.4	29.025	13.6	3.032	0.559	3.0	-8.428E-08	0.534	2.6	0.1		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	4	215	19.5	38.603	9.4	3.608	84	19.4	29.025	13.6	3.032	0.577	3.0	4.081E-07	0.527	2.6	0.2		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	4	215	19.5	38.603	9.4	3.608	84	19.4	29.025	13.6	3.032	0.559	3.0	5.190E-07	0.534	2.6	0.1		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Goley Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	8	215	19.5	38.603	9.4	3.608	84	19.4	29.025	13.6	3.032	0.739	2.432	7.629E-07	0.467	3.0	0.5		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Goley Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	4	215	19.5	38.603	9.4	3.608	84	19.4	29.025	13.6	3.032	0.626	2.8	6.476E-07	0.339	3.2	0.2		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	4	215	19.5	38.603	9.4	3.608	84	19.4	29.025	13.6	3.032	0.554	3.0	9.093E-07	0.499	2.7	0.2		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	6	215	19.5	38.603	9.4	3.608	84	19.4	29.025	13.6	3.032	0.604	2.9	-1.005E-05	0.424	2.7	0.3		

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าแรงที่ทำให้อุณหภูมิของ NIR transmittance โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR transmittance

Pre treatment	PC	Calibration						Prediction						Calibration			Prediction		
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias		
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	215	1.902	3.592	0.668	0.613	86	1.936	3.767	0.837	0.635	0.131	0.608	5.267E-08	0.099	0.632	-0.048		
	2	215	1.902	3.592	0.668	0.613	86	1.936	3.767	0.837	0.635	0.214	0.599	6.044E-08	0.034	0.643	-0.042		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	215	1.902	3.592	0.668	0.613	86	1.936	3.767	0.837	0.635	0.131	0.608	5.933E-08	0.099	0.632	-0.048		
	2	215	1.902	3.592	0.668	0.613	86	1.936	3.767	0.837	0.635	0.213	0.599	4.824E-08	0.034	0.643	-0.042		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Goley Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	215	1.902	3.592	0.668	0.613	86	1.936	3.767	0.837	0.635	0.273	0.590	4.990E-08	0.082	0.643	-0.038		
	2	215	1.902	3.592	0.668	0.613	86	1.936	3.767	0.837	0.635	0.202	0.601	4.879E-08	0.020	0.643	-0.036		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	215	1.902	3.592	0.668	0.613	86	1.936	3.767	0.837	0.635	0.183	0.603	4.491E-08	0.051	0.638	-0.044		
	2	215	1.902	3.592	0.668	0.613	86	1.936	3.767	0.837	0.635	0.147	0.607	3.715E-08	-0.044	0.644	-0.028		

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าแรงทางทะเลตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR transmittance

Pre treatment	PC	Calibration						Prediction						Calibration			Prediction	
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias	
สเปกตรัมที่ปรับเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	216	1.239	2.424	0.266	0.445	84	1.232	2.245	0.468	0.415	0.063	0.444	-5.933E-09	0.177	0.411	0.009	
สเปกตรัมที่ปรับเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	1	216	1.239	2.424	0.266	0.445	84	1.232	2.245	0.468	0.415	0.063	0.444	-1.518E-08	0.175	0.411	0.009	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	216	1.239	2.424	0.266	0.445	84	1.232	2.245	0.468	0.415	0.063	0.444	-7.589E-09	0.177	0.411	0.009	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	1	216	1.239	2.424	0.266	0.445	84	1.232	2.245	0.468	0.415	0.063	0.444	-1.518E-09	0.175	0.411	0.009	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Goley Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	216	1.239	2.424	0.266	0.445	84	1.232	2.245	0.468	0.415	0.255	0.430	4.139E-10	0.230	0.405	-0.003	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Goley Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	1	216	1.239	2.424	0.266	0.445	84	1.232	2.245	0.468	0.415	0.177	0.438	-9.658E-10	0.226	0.405	0.047	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	216	1.239	2.424	0.266	0.445	84	1.232	2.245	0.468	0.415	0.102	0.443	-4.139E-10	0.220	0.407	0.007	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	1	216	1.239	2.424	0.266	0.445	84	1.232	2.245	0.468	0.415	0.099	0.443	-4.567E-08	0.074	0.415	0.005	

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าความหนืดของเนื้อส้ม โอตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR transmittance

Pre treatment	PC	Calibration						Prediction						Calibration			Prediction	
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias	
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	215	12.327	23.966	2.661	4.384	86	12.644	29.269	4.683	4.665	0.055	4.378	-3.870E-07	0.198	4.624	-0.289	
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	1	215	12.327	23.966	2.661	4.384	86	12.644	29.269	4.683	4.665	0.056	4.378	-4.136E-07	0.194	4.623	-0.288	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	215	12.327	23.966	2.661	4.384	86	12.644	29.269	4.683	4.665	0.055	4.378	-4.358E-07	0.198	4.623	-0.289	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	1	215	12.327	23.966	2.661	4.384	86	12.644	29.269	4.683	4.665	0.056	4.378	-4.136E-07	0.194	4.623	-0.288	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตรที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	215	12.327	23.966	2.661	4.384	86	12.644	29.269	4.683	4.665	0.236	4.260	-3.915E-07	0.212	4.560	-0.277	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตรที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	215	12.327	23.966	2.661	4.384	86	12.644	29.269	4.683	4.665	0.134	4.345	-4.269E-07	0.192	4.586	-0.250	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	1	215	12.327	23.966	2.661	4.384	86	12.644	29.269	4.683	4.665	0.109	4.358	-4.491E-07	0.162	4.610	-0.282	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	1	215	12.327	23.966	2.661	4.384	86	12.644	29.269	4.683	4.665	0.113	4.356	-2.096E-07	0.064	4.661	-0.332	

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าความเข้มข้นของผลึกส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง NIR transmittance

Pre treatment	PC	Calibration						Prediction						Calibration			Prediction	
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias	
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	5	111	10.541	16.125	7.433	1.418	44	10.654	14.153	9.625	1.361	0.751	0.937	3.995E-07	0.702	0.972	-0.220	
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	3	111	10.541	16.125	7.433	1.418	44	10.654	14.153	9.625	1.361	0.728	0.972	1.675E-07	0.698	0.975	-0.215	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	5	111	10.541	16.125	7.433	1.418	44	10.654	14.153	9.625	1.361	0.749	0.940	-1.933E-07	0.701	0.974	-0.219	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	3	111	10.541	16.125	7.433	1.418	44	10.654	14.153	9.625	1.361	0.728	0.972	-1.289E-08	0.698	0.975	-0.215	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร	3	111	10.541	16.125	7.433	1.418	44	10.654	14.153	9.625	1.361	0.732	0.966	2.749E-07	0.617	1.071	-0.065	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร	4	111	10.541	16.125	7.433	1.418	44	10.654	14.153	9.625	1.361	0.755	0.931	2.535E-07	0.561	1.127	-0.18	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 660 - 960 นาโนเมตร	4	111	10.541	16.125	7.433	1.418	44	10.654	14.153	9.625	1.361	0.734	0.963	3.823E-07	0.659	1.025	-0.199	
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Moving Average Smoothing ร่วมกับ Multiplicative Scatter Correction ที่ความยาวคลื่น 700 - 850 นาโนเมตร	5	111	10.541	16.125	7.433	1.418	44	10.654	14.153	9.625	1.361	0.731	0.967	-7.247E-06	0.677	1.003	-0.231	

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลส้มโอจากการทดสอบแบบ Puncture test ตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช่  
สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลส้มโอ

Pre treatment	PC	Caribration						Prediction						Caribration			Prediction			
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	7	103	4.206	7.109	2.57	0.726	40	4.164	5.544	2.965	0.606	0.814	0.421	6.944E-09	0.489	0.586	-0.065			
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	10	103	4.206	7.109	2.57	0.726	40	4.164	5.544	2.965	0.606	0.824	0.411	-4.368E-06	0.547	0.515	-0.045			
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	4	103	4.206	7.109	2.57	0.726	40	4.164	5.544	2.965	0.606	0.752	0.479	1.690E-07	0.643	0.466	0.061			
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	6	103	4.206	7.109	2.57	0.726	40	4.164	5.544	2.965	0.606	0.796	0.439	2.199E-07	0.578	0.505	0.017			

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าแรงที่ทำให้เปลือกส้มโอทะลุจากการทดสอบแบบ Puncture test ตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช่  
สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลส้มโอ

Pre treatment	PC	Caribration						Prediction						Caribration			Prediction			
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	2	105	27.740	36.664	15.524	3.999	40	27.785	34.465	19.849	3.460	0.601	3.196	3.270E-07	0.513	3.001	-0.212			
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	3	105	27.740	36.664	15.524	3.999	40	27.785	34.465	19.849	3.460	0.614	3.155	1.453E-07	0.482	3.094	-0.132			
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	1	105	27.740	36.664	15.524	3.999	40	27.785	34.465	19.849	3.460	0.522	3.411	3.633E-07	0.333	3.320	-0.418			
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	1	105	27.740	36.664	15.524	3.999	40	27.785	34.465	19.849	3.460	0.524	3.406	3.996E-07	0.322	3.343	-0.433			

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อส้ม โดยตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR  
GUN ที่วัดจากเนื้อส้มโอ

Pre treatment	PC	Calibration						Prediction						Caribration			Prediction		
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias		
สปกตรั้มีเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	17	231	9.721	11.600	9.300	0.855	90	9.726	11.267	7.800	0.781	0.861	0.434	-9.244E-06	0.677	0.617	0.074		
สปกตรั้มีเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	15	231	9.721	11.600	9.300	0.855	90	9.726	11.267	7.800	0.781	0.844	0.458	-1.792E-05	0.705	0.584	0.061		
สปกตรั้มีที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	11	231	9.721	11.600	9.300	0.855	90	9.726	11.267	7.800	0.781	0.789	0.525	1.548E-07	0.613	0.646	0.006		
สปกตรั้มีที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	15	231	9.721	11.600	9.300	0.855	90	9.726	11.267	7.800	0.781	0.822	0.487	4.851E-07	0.683	0.595	0.050		

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายปริมาณกรดที่ใดเตรทที่ได้ของเนื้อส้ม โดยตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR  
GUN ที่วัดจากเนื้อส้มโอ

Pre treatment	PC	Calibration						Prediction						Caribration			Prediction		
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias		
สปกตรั้มีเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	12	222	0.512	0.737	0.313	0.008	88	0.515	0.698	0.343	0.007	0.635	0.059	1.498E-07	0.610	0.059	-0.006		
สปกตรั้มีเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	9	222	0.512	0.737	0.313	0.008	88	0.515	0.698	0.343	0.007	0.583	0.062	5.679E-08	0.564	0.061	-0.005		
สปกตรั้มีที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	4	222	0.512	0.737	0.313	0.008	88	0.515	0.698	0.343	0.007	0.564	0.063	2.443E-08	0.430	0.068	-0.004		
สปกตรั้มีที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	7	222	0.512	0.737	0.313	0.008	88	0.515	0.698	0.343	0.007	0.609	0.061	2.524E-08	0.564	0.061	-0.005		

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ของเนื้อส้มโอตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากเนื้อส้มโอ

Pre treatment	PC	Caribration						Prediction						Caribration			Prediction			
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	13	221	19.282	30.649	11.324	3.417	86	19.199	27.651	12.983	3.071	0.724	2.357	1.159E-05	0.649	2.365	0.036			
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	11	221	19.282	30.649	11.324	3.417	86	19.199	27.651	12.983	3.071	0.680	2.507	-5.852E-06	0.642	2.384	0.021			
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	8	221	19.282	30.649	11.324	3.417	86	19.199	27.651	12.983	3.071	0.699	2.442	-1.286E-06	0.544	2.704	0.246			
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	7	221	19.282	30.649	11.324	3.417	86	19.199	27.651	12.983	3.071	0.674	2.525	-1.070E-06	0.571	2.627	0.181			

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าแรงที่ทำให้เนื้อส้มโอทะลุตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากเนื้อส้มโอ

Pre treatment	PC	Caribration						Prediction						Caribration			Prediction			
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	1	226	1.915	3.767	0.668	0.591	90	1.941	3.592	0.837	0.594	0.058	0.590	-3.956E-08	0.228	0.587	-0.026			
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	1	226	1.915	3.767	0.668	0.591	90	1.941	3.592	0.837	0.594	0.056	0.590	-3.218E-08	0.232	0.587	-0.027			
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	1	226	1.915	3.767	0.668	0.591	90	1.941	3.592	0.837	0.594	0.042	0.591	-3.534E-08	0.033	0.594	-0.027			
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	1	226	1.915	3.767	0.668	0.591	90	1.941	3.592	0.837	0.594	0.036	0.591	-3.534E-08	0.033	0.594	-0.026			

ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายแรงผลึกที่ทำได้เพื่อทดสอบระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากเนื้อส้มโอ

Pre treatment	PC	Caribration						Prediction						Caribration			Prediction		
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias		
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	1	226	1.234	2.424	0.266	0.420	90	1.252	2.397	0.468	0.422	0.129	0.417	5.051E-08	0.112	0.419	-0.015		
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	1	226	1.234	2.424	0.266	0.420	90	1.252	2.397	0.468	0.422	0.117	0.417	5.209E-08	0.164	0.416	-0.012		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	1	226	1.234	2.424	0.266	0.420	90	1.252	2.397	0.468	0.422	0.122	0.417	5.367E-08	-0.193	0.436	-0.026		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	1	226	1.234	2.424	0.266	0.420	90	1.252	2.397	0.468	0.422	0.123	0.417	5.631E-08	-0.191	0.436	-0.026		

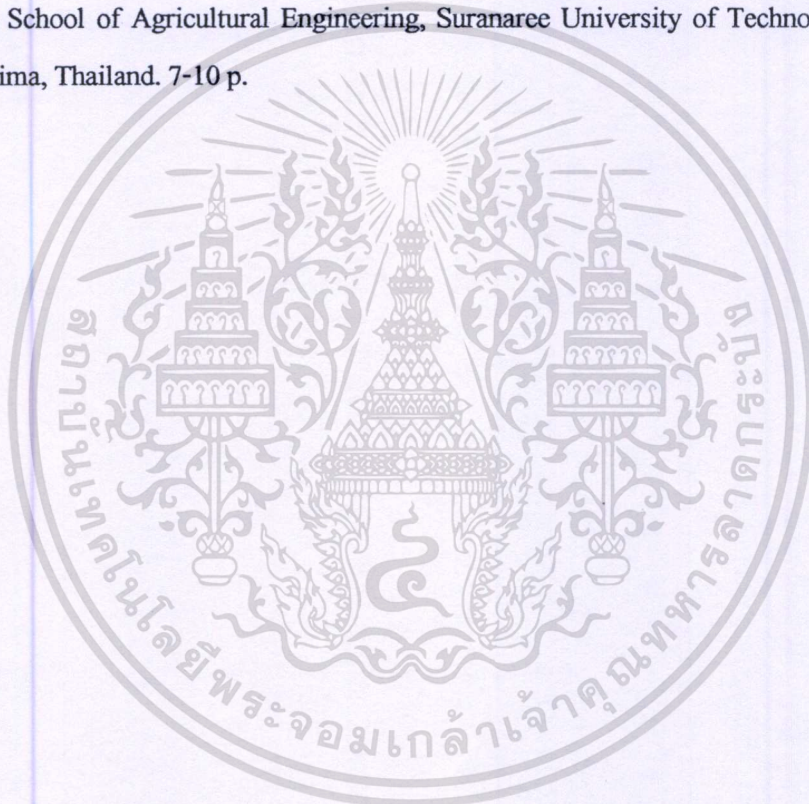
ตาราง ค่าทางสถิติการทำนายค่าความหนืดด้วยวิธี Puncture test ตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยใช้สเปกตรัมจากเครื่อง FQA NIR GUN ที่วัดจากผลส้มโอ

Pre treatment	PC	Caribration						Prediction						Caribration			Prediction		
		Nc	Mean	Max	Min	SD	Np	Mean	Max	Min	SD	r	SEC	Bias	r	SEP	Bias		
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	1	226	12.428	24.233	4.028	4.157	90	12.595	23.966	5.054	4.213	0.063	4.149	-2.004E-07	0.231	4.165	-0.135		
สเปกตรัมเริ่มต้น ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	1	226	12.428	24.233	4.028	4.157	90	12.595	23.966	5.054	4.213	0.056	4.150	-2.384E-07	0.212	4.173	-0.138		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 610 - 1060 นาโนเมตร	1	226	12.428	24.233	4.028	4.157	90	12.595	23.966	5.054	4.213	0.209	4.065	-2.131E-07	0.166	4.156	0.009		
สเปกตรัมที่ปรับปรุงด้วยวิธี Savitzki Golay Second Derivatives ที่ Segment 10 นาโนเมตร ที่ความยาวคลื่น 661 - 963 นาโนเมตร	1	226	12.428	24.233	4.028	4.157	90	12.595	23.966	5.054	4.213	0.056	4.150	-2.131E-07	0.150	4.184	-0.160		

## ภาคผนวก ง.

### ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่

1. Sirisomboon, P. and Lapchareunsuk R., 2009. **Study of Physical and Mechanical Properties of Intact Pomelo (Kao Num Peung Variety) During Storage.** The Proceeding of 47<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference. Bangkok., Thailand. 121–128 p.
2. Sirisomboon, P., Thanapase W., and Lapchareunsuk R., 2009. **Identification of Different Storage Duration of Pomelo (Kao Num Peung Variety) by Near Infrared Spectroscopy using SIMCA.** The 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering, 1-3 April 2009. School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. 7-10 p.



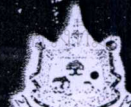
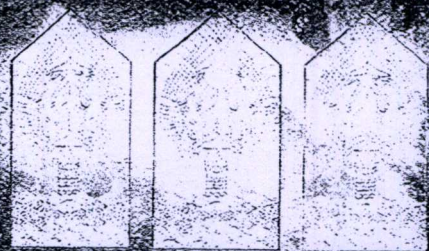


# เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ ๔๗ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Proceeding of 47<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference

เล่มที่ 7 สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์  
(Subject: Architecture and Engineering)

เกษตรนำไทย : อาหารและพลังงานทดแทนสู่สมดุลอย่างยั่งยืน  
Agricultural Science Leading Thailand : Food and Alternative Energy  
for Sustainable Balance



# การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งระหว่างระยะเวลา การเก็บรักษาต่าง ๆ

Study of Physical and Mechanical Properties of Intact Pomelo (Kao Num Peung Variety)  
During Storage

ปานมนัส ศิริสมบูรณ์<sup>1</sup> และ รวีภัทร ลาภเจริญสุข<sup>1</sup>

Panmanas Sirisomboon<sup>1</sup> and Ravipat Lapcharoensuk<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่างๆ (0 15 30 45 60 75 90 105 และ 120 วัน) การเก็บรักษาส้มโอ หลังจากเก็บมาแล้วจะนำส้มโอมาเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวแล้วจึงนำส้มโอเข้าเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ สมบัติทางกายภาพที่ศึกษาคือ ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่น และสี ส่วนสมบัติเชิงกลจากการทดสอบโดยวิธี Compression test ได้แก่ ความแน่นเนื้อเริ่มต้น ความแน่นเนื้อเฉลี่ย การดูดซับพลังงาน ระดับความยืดหยุ่น การคลายความเค้น และอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง สมบัติที่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาคือ สี ความแน่นเนื้อเฉลี่ย การดูดซับพลังงานและอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ส่วนสมบัติที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อย ได้แก่ ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่น ความแน่นเนื้อเริ่มต้น ระดับความยืดหยุ่น การคลายความเค้น

## ABSTRACT

This research was to study the physical and mechanical properties of intact pomelo (Kao Num Peung Variety) during storage (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 days). After picking, the pomeloes were waxed. Then they were kept in cold storage at temperature of 10 °C and relative humidity of 70 %. The physical properties studied were size, weight, volume, apparent density and color. The mechanical properties were obtained by compression test which were initial firmness, average firmness, energy absorption, degree of elasticity, relaxation ratio and deformation ratio. The properties that were significantly changed in the storage period were color, average firmness, energy absorption and deformation ratio. The properties that didn't change or slightly changed were size, weight, volume, density, initial firmness, degree of elasticity and relaxation ratio.

Key words : Pomelo, Physical properties, Texture, Mechanical properties, Compression test

P Sirisomboon : kspanman@kmitl.ac.th

L Ravipat : kmitl\_x\_room@hotmail.com

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า  
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkabang, Bangkok,  
ไม่วารณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
Thailand

### คำนำ

ส้มโอเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับต้นๆ ของประเทศ นิยมบริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศ เป็นไม้ผลที่มีศักยภาพในการส่งออก เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ ดังนั้นส้มโอจึงเป็นผลไม้อีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตเพื่อการส่งออก ตามตารางที่ 1 (กรมศุลกากร, 2549) ประเทศไทยส่งออกส้มโอปีละประมาณ 65,735 – 93,869 ตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าถึง 101 – 133 ล้านบาท การส่งออกส่วนใหญ่จะส่งออกในระหว่างเดือนกันยายน – ตุลาคม ส้มโอที่ส่งออกและเป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศคือ พันธุ์ชาวน้ำผึ้ง (ปิยะ เฉลิมกลิ่น, 2551)

ตารางที่ 1 สถิติการส่งออกส้มโอของประเทศไทย [ปริมาณ (kg) มูลค่า บาท]

2544		2545		2546	
ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
6,573,543	101,530,695	7,517,651	101,387,709	7,609,017	108,252,997
2547		2548		2549	
ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
7,313,071	102,038,944	6,255,462	99,455,166	9,386,981	132,904,721

มีรายงานพื้นที่ปลูกในปี 2548 มากกว่า 210,000 ไร่ เนื้อที่ให้ผล 192,103 ไร่ 64,093 ครัวเรือน และมีผลผลิตปีละประมาณ 276,628 ตัน มีมูลค่าโดยรวมประมาณ 4,700 ล้านบาท (องค์การตลาดเพื่อการเกษตร, 2549) นับเป็นรายได้มหาศาลของเกษตรกร อีกทั้งส้มโอยังเป็นผลไม้ที่สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานานจึงเป็นผลไม้ที่เหมาะสมสำหรับการส่งออกไปยังประเทศที่มีระยะทางไกลเนื่องจากเปลือกของส้มโอที่มีความหนาสามารถทนต่อการขนส่งในระยะไกลได้ดี

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผักผลไม้มีความสำคัญในแง่ของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การศึกษาความแน่นเนื้อของมะม่วง (Jarimapas and Kitthawee, 2007) การวิจัยนี้เล็งเห็นถึงความสำคัญของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้งที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ ซึ่งจากข้อมูลส้มโอเป็นผลไม้ที่ทำรายได้ให้ประเทศสูง คุณสมบัติเหล่านี้อาจใช้ประโยชน์ในการอ้างอิงให้แก่เกษตรกร วิศวกร ผู้ประกอบการธุรกิจส้มโอ และผู้ที่สนใจ เพราะคุณสมบัติเหล่านี้เป็นตัวชี้วัดความเสื่อมของคุณภาพผลส้มโอหลังการเก็บรักษาไปเป็นเวลาต่างๆ และในงานวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปได้

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### การเตรียมตัวอย่างส้มโอและการปฏิบัติในการเก็บรักษาส้มโอ

ผลส้มโอที่นำมาทดลองนั้นได้มาจากสวนในอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม โดยสุ่มต้นส้มโอที่กำลังออกดอก จากนั้นรอวันที่ดอกบานนำป้ายพลาสติกไปผูกไว้กับช่อดอกพร้อมเขียนวันที่ดอกบาน โดยระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลส้มโอนั้นจะเก็บที่ระยะเวลา 210 วันหลังดอกบานซึ่งเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม (จริงแท้ ศิริพานิช และธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์, 2549) หลังจากเก็บผลส้มโอมาแล้วนำผลส้มโอเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิวผลส้มโอด้วยไซ (Nature Bright, ประเทศอิสราเอล) ก่อนเก็บรักษาภายในห้องเย็นโดยใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาสมบัติต่างๆ ของส้มโอทำการทดลองก่อนการเก็บไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รักษาและหลังเก็บรักษา (15 30 45 60 75 90 105 และ 120 วัน) ใช้ส้มโอจำนวน 20 ผลต่อ 1 ครั้งการทดลอง รวม 180 ผล

### ขนาด

ขนาดของผลส้มโอนั้นจะวัดตามวิธีการหาเส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลเชิงเรขาคณิต (Geometric Mean Diameter) โดยดัดแปลงใช้ Vernier Height Gauge (H6-18" P Mitsutoyo, Japan)

### น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่น

น้ำหนักวัดโดยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (ARC120, Ohaus, USA พิกัด 3000 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม)

ปริมาตรใช้วิธีการชั่งน้ำหนักในน้ำโดยใช้เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ UWE (AFM, Taiwan พิกัด 60 กิโลกรัม ความละเอียด 0.01 กิโลกรัม) น้ำหนักผลส้มโอที่ได้จากการชั่งในน้ำแทนในสมการที่ 1 หลังจากได้ปริมาตรของผลส้มโอแล้วจึงนำปริมาตรที่ได้ไปหาความหนาแน่นจากสมการที่ 2

$$V_m = \frac{m_L}{\rho_L} \quad (1)$$

เมื่อ  $V_m$  คือปริมาตรของผลส้มโอ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)  $m_L$  คือมวลของน้ำที่ถูกแทนที่เป็นค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง UWE (กรัม) และ  $\rho_L$  คือความหนาแน่นของน้ำ (เท่ากับ 1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

$$\rho_m = \frac{m_m}{V_m} \quad (2)$$

และ  $\rho_m$  คือความหนาแน่นของผลส้มโอ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)  $m_m$  คือมวลของผลส้มโอที่ได้จากเครื่องชั่ง OHAUSS (กรัม) และ  $V_m$  ปริมาตรของผลส้มโอที่ได้จากสมการที่ 2 (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

### สี

การวัดสีใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab (Miniscan XE Plus 45/0 LAV, Reston, USA) ใช้มาตรฐานระบบ CIELab ( $L^*a^*b^*$ ) มุมมอง (Observer Angle) 2 องศา แสงมาตรฐาน (Illuminant) ชนิด D 65 ตำแหน่งในการวัดคือ 5 ตำแหน่งรอบผลส้มโอ ในแต่ละตำแหน่งสแกน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

### สมบัติเชิงกล

คุณสมบัติเชิงกลทดสอบโดยเครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System รุ่น TA. HD. Plus, London, UK) ทดสอบโดยวิธี Compression test สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแน่นเนื้อเริ่มต้น (initial firmness) ความแน่นเนื้อเฉลี่ย (average firmness) การดูดซับพลังงาน (energy absorption) ระดับความยืดหยุ่น (degree of elasticity) การคลายความเค้น (relaxation ratio) อัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation ratio) ทั้งนี้วิธีการวัดได้ดัดแปลงจาก Sirisomboon et al., 2000

### การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) เพื่อตรวจสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $P > 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

### เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลย์เชิงเรขาคณิต

รูปที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลย์เชิงเรขาคณิต ผลสัมไอตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ขนาดของผลสัมไอมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงมากนักอาจเนื่องมาจากการเคลือบผิวสัมไอก่อนเก็บรักษาจึงทำให้การระเหยของน้ำเกิดขึ้นน้อย

### น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่น

รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก ปริมาตรและความหนาแน่นของผลสัมไอตามระยะเวลาในการเก็บรักษา น้ำหนักและปริมาตรมีการเปลี่ยนแปลงน้อยตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ส่งผลให้ความหนาแน่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความหนาแน่น เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักและปริมาตร

สี

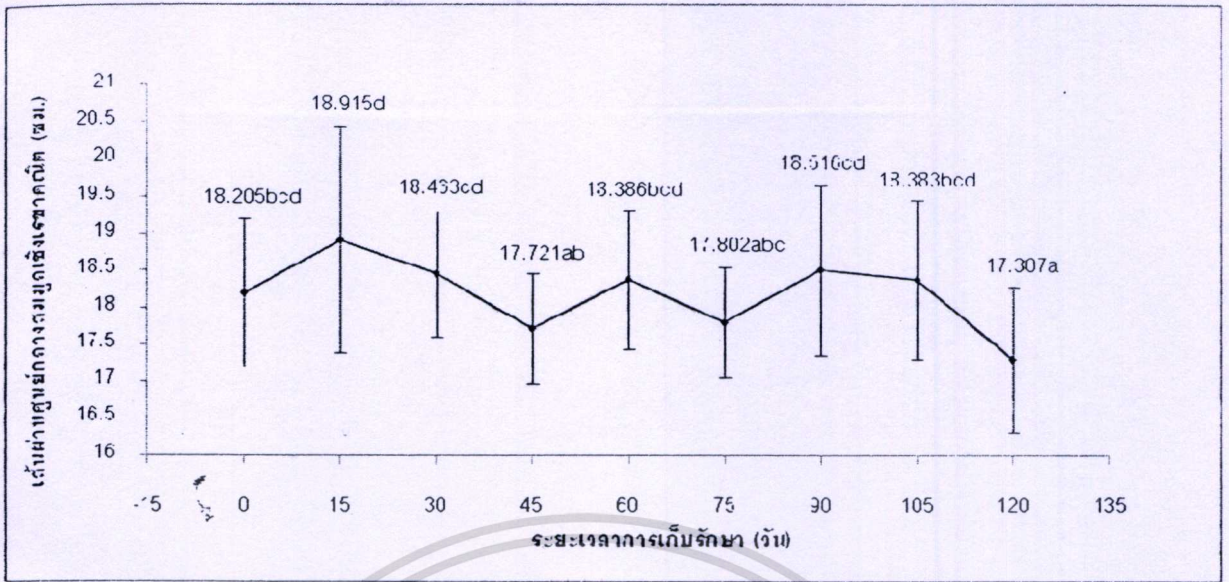
จากรูปที่ 3 แสดงค่าสีของผลสัมไอที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งจากกราฟค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นกล่าวได้ว่าสีของผลสัมไอนั้นมีสีที่สว่างขึ้นและเป็นสีเหลืองขึ้น (สังเกตจากค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ที่มีค่าเพิ่มขึ้น) ขณะที่สีเขียวอ่อนลง (สังเกตจากค่า  $a^*$  ที่มีค่าเพิ่มขึ้น) เมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น อาจเป็นเพราะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในผลสัมไอจากการสังเกตพบว่หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือนผลสัมไอมีสีเหลืองซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของตลาด

### สมบัติเชิงกลจากการทดสอบแบบ Compression test

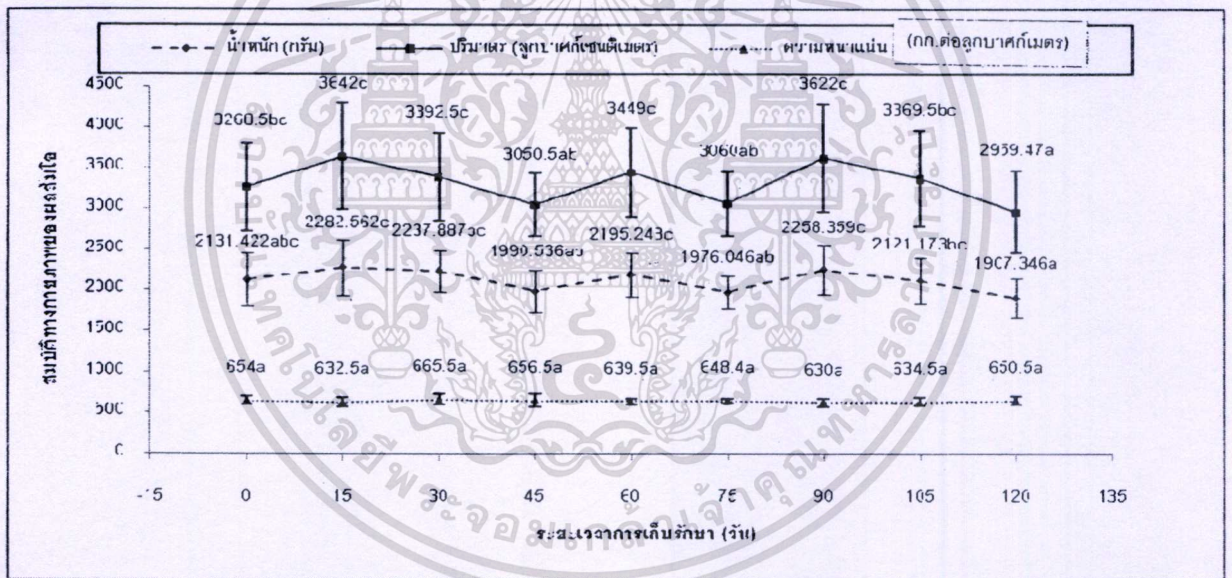
ค่าความแน่นเนื้อเริ่มต้นและความแน่นเนื้อเฉลี่ยพิจารณาจากรูปที่ 4 และ 5 จะสังเกตว่า ความแน่นเนื้อเริ่มต้นมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่ชัดเจน ส่วนความแน่นเนื้อเฉลี่ยนั้นมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น สิ่งนี้สามารถบ่งบอกได้ว่าผลสัมไอนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่ผิวด้านนอกน้อย แต่ความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลสัมไอทั้งผลมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่นุ่มลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

จากรูปที่ 6 แสดงการดูดซับพลังงานและอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลสัมไอ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าทั้งสองนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การดูดซับพลังงานเป็นการดูดซับพลังงานเพื่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวร การที่การดูดซับพลังงานของผลสัมไอเพิ่มมากขึ้นบ่งบอกว่าผลสัมไอเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวรมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 7 ระดับความยืดหยุ่น (Degree of Elasticity) ของผลสัมไอนั้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น แสดงถึงความสามารถในการคืนรูปเมื่อรับแรงค่อนข้างคงที่ ส่วนการคลายความเค้นซึ่งแสดงถึงความยืดหยุ่นหนืด (Viscoelasticity) ของผลสัมไอมีแนวโน้มลดลงตามเวลา ซึ่งค่าความยืดหยุ่นหนืด อยู่ระหว่าง 0.2-0.3 แสดงถึงผลสัมไอมีความยืดหยุ่นมากกว่าความหนืด

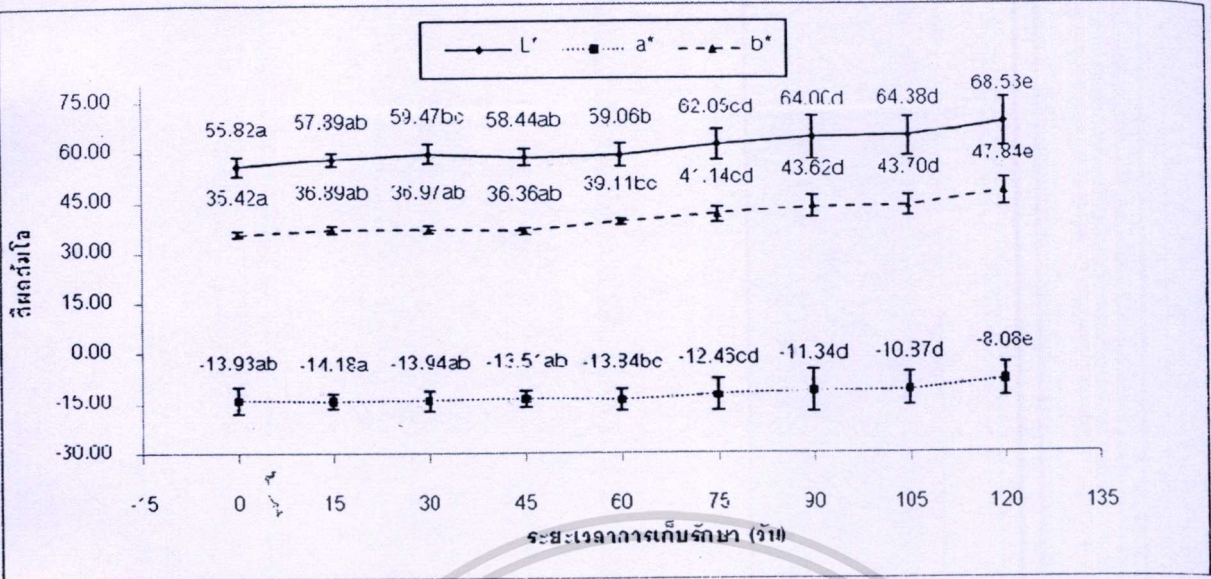


รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

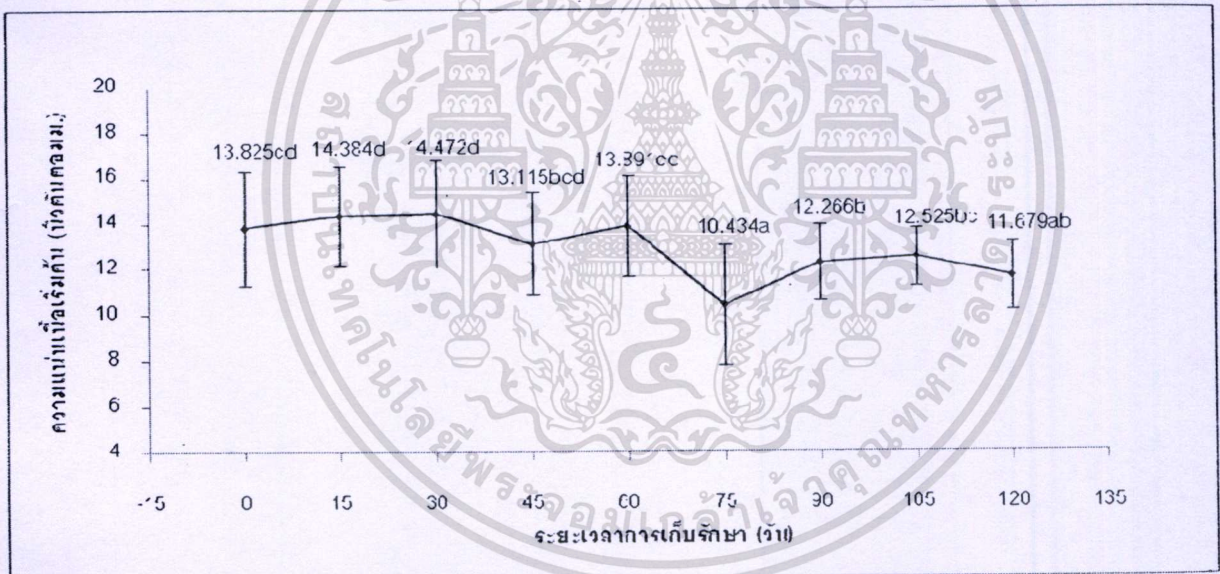


รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก ปริมาตรและความหนาแน่นของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

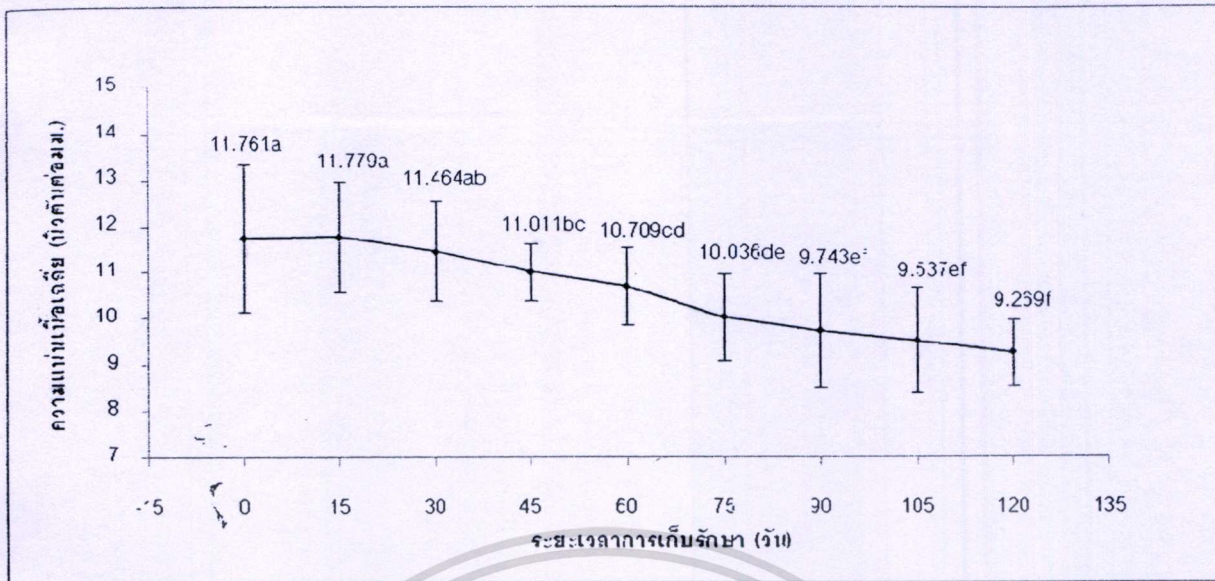


รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า L\*, a\* และ b\* ของผลส้มโอเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ P > 0.05)

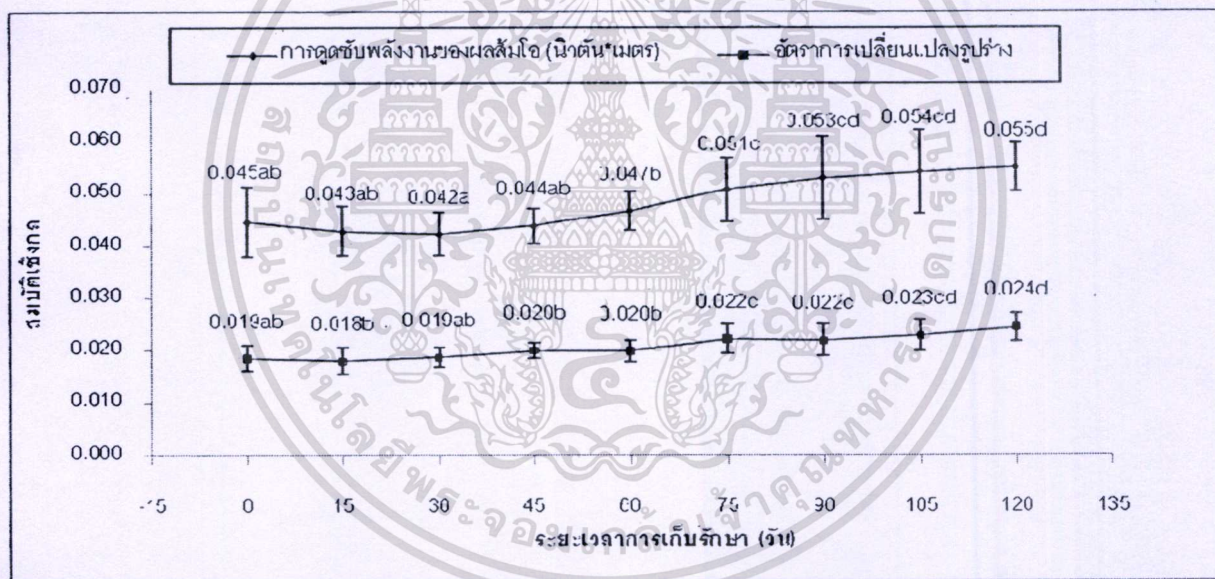


รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อเริ่มต้นของผลส้มโอเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ P > 0.05)

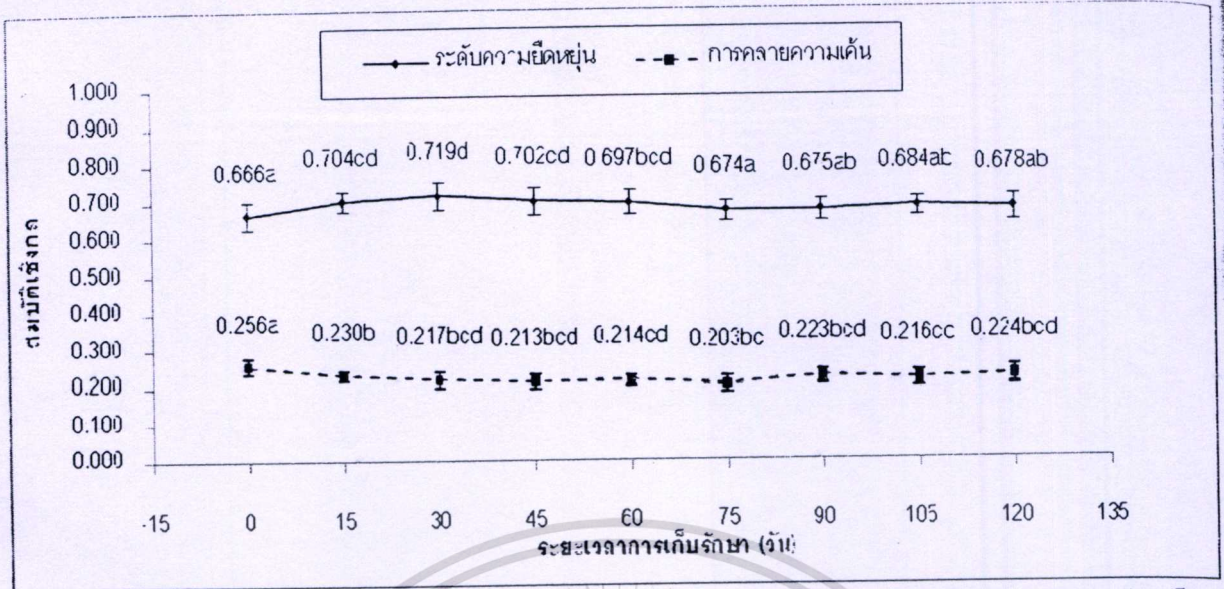
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อเฉลี่ยของผลส้มโอเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับพลังงานและอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลส้มโอเก็บรักษา (ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับความยืดหยุ่นและการคลายความเค้นของผลส้มโอกับระยะเวลาการเก็บรักษา

(ค่าที่มีอักษรแตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่  $P > 0.05$ )

### สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาอาจเนื่องมาจากก่อนการเก็บรักษาส้มโอได้มีการเคลือบผิวส้มโอจึงทำให้ลดการคายน้ำของผลส้มโอลง สีของผลส้มโอเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยผลส้มโอจะเป็นสีเหลืองมากขึ้นและมีความสว่างของสีมากขึ้นหลังจากเก็บรักษาไว้ 3 เดือน สมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้นได้แก่ ความแน่นเนื้อเริ่มต้นและความแน่นเนื้อเฉลี่ยซึ่งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น การดูดซับพลังงานและอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากสิ่งเหล่านี้อาจบอกได้ว่าผลส้มโอนั้นมีลักษณะผลอ่อนนุ่มลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ส่วนความสามารถในการคืนรูปเมื่อรับแรงค่อนข้างคงที่ และความยืดหยุ่นหนืด (Viscoelasticity) ของผลส้มโอมีแนวโน้มลดลงตามเวลา ถึงแม้ผลส้มโอจะอ่อนนุ่มลงแต่ความสามารถในการคืนรูปเมื่อรับแรงค่อนข้างคงที่ส่งผลดีต่อการจัดการระหว่างขนส่งก่อนถึงมือผู้บริโภค

### เอกสารอ้างอิง

Jarimopas B, Kitthawee U. 2007. Firmness properties of mangoes. INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD PROPERTIES. 10 : 899-909

Sirisomboon P, Tanaka M, Akinaga T, Kojima, T. 2000. Evaluation of the textural properties of Japanese pear. JOURNAL OF TEXTURE STUDIES. 31 : 665-677.

กรมศุลกากร. 2549. สถิตินำเข้าและส่งออก. <http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex.jsp>.

จริงแท้ ศิริพานิช, ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์. 2549. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 3. นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมกรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. หน้า 21

ปิยะ เฉลิมกลิ่น. 2551. ส้มโอ. [http://www.tistr.or.th/publication/page\\_area\\_show\\_bc.asp?i1=65&i2=29](http://www.tistr.or.th/publication/page_area_show_bc.asp?i1=65&i2=29).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

องค์การตลาดเพื่อการเกษตร. 2549. ส้มโอ <http://www.mof.or.th/fruit-som-o.htm>.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Identification of Different Storage Duration of Pomelo (Kao Num Peung Variety) by Near Infrared Spectroscopy using SIMCA

Panmanas SIRISOMBOON<sup>1</sup>, Warunee THANAPASE<sup>2</sup>, Ravipat LAPCHAROENSUK\*<sup>1</sup>

### Abstract

This research studied the identification of Pomelo (Kao Num Peung Variety) at different storage duration of by Near Infrared Spectroscopy using Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA). The near infrared (NIR) spectra of Pomelo fruits were measured by NIR transmission spectrometer at 660-960 nm at harvesting date and at nine different storage duration (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 days) in cooling room at 10 °C and 70%RH. The classification models were developed by raw spectra and pretreated spectra, using moving average smoothing, moving average smoothing and Savitzki Golay second derivatives, and moving average smoothing and multiplicative scatter correction, in full wavelength range (660-960 nm) or specified wavelength range (700-850 nm). The model of the first storage duration (0 days) developed from specified wavelength range raw spectra could self-predict of 100% correctness and could predict other group with high percentage of correctness. Overall, the model could classify with 86% correctness.

[Keywords] Pomelo, Storage, Near Infrared Spectroscopy, SIMCA

### I Introduction

The pomelo is an important fruits of Thailand. It is for consumption both internal and external countries. It is required in foreign market. Pomelo is the fruits that can be stored for longtime which appropriate for exporting to the distant countries because of the thick peel. During 2001-2008, Thailand exports the pomelo about 62,554 – 112,178 tons yearly which is about 101 – 133 million bath (Customs Department, 2009). One of popular variety for exporting is Kao Num Peung (Chaloemkin, 2009).

The long storage of pomeloes make many qualities of pomeloes decrease. It is useful if we can identify the long term storage fruits from those of fresh or short term storage. The near infrared (NIR) spectroscopy is a rapid non-destructive method for classifying groups of fruits according to such as maturity or storage duration (Clark et al., 2004). Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) was reported to produce very high correct classification rate in the separation of very similar materials (Lijuan Xie et al., 2007).

This research has a purpose of applying NIR spectroscopy and SIMCA in identifying groups of storages of Kao Num Peung pomeloes. It would be a referable information in management of post-harvest and transportation for pomelo traders, agriculturists, engineers and consumers.

### II Material and Method

#### 1. Samples and spectral measurement.

Pomeloes (*Citrus maxima*' Merr cv Kao Num Peung) from commercial orchard in Nakornchaisri district, Nakornpathom province, Thailand were random sampling at the age of 210 days after blooming. It is an appropriate dates for harvest (Siriphanich and Romphopk, 2006). Before storage, the pomeloes were waxed (Nature Bright, Israel) and kept in cooling room at 10°C and relative humidity of 70%. Pomeloes were classified into 9 groups by storages time (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 days). Before spectra measurement, the pomeloes were kept at 25 °C in 24 hours to regulate temperature of pomeloes to be room temperature. The NIR transmittance spectra were obtained at 2 positions at the equatorial point 180° apart.

NIR transmittance spectra of pomeloes were measured in the range 660 – 960 nm with a resolution of 1 nm with NIR transmittance instrument (SEIKA, Japan) as shown in Fig. 1.

#### 2. Spectral data analysis

The classification models were developed by raw spectra and pretreated spectra, using moving average smoothing, moving average smoothing and Savitzki Golay second derivatives, and moving average smoothing and multiplicative scatter correction, in full wavelength range (660-960 nm) or specified wavelength range (700-850 nm). Soft Independent

\* Corresponding author, Tel.: 084-044-6124; E-mail address: kmitl\_x\_room@hotmail.com

<sup>1</sup> Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 10520

<sup>2</sup> Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University, Jatujak, Bangkok, Thailand, 10900

Modeling of Class Analogy (SIMCA) was used classify the storage time.

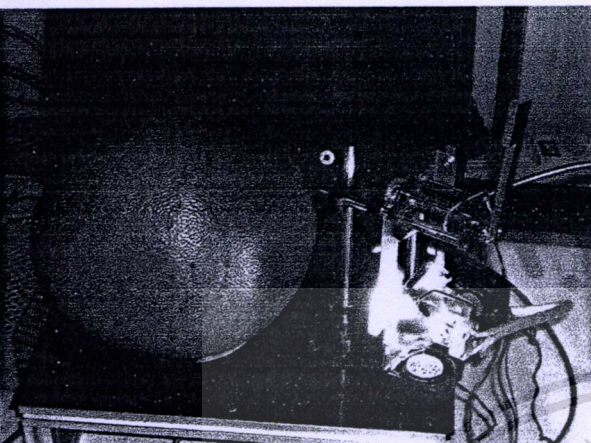


Fig. 1 Experimental set up for NIR Transmittance of pomelo

III Result

Fig. 2 shows NIR absorbance spectra of intact pomeloes at different storage duration. The absorbance peaks were at 680, 740, 840 and 930 nm. The chlorophyll peak was around 680 nm and water peak around 840 nm (Sontisuk et al., 2007) and oil around 930 nm (Clark et al., 2003). The chemical assignment of absorption at 740 nm was not reported in any literatures. Fig. 3 shows the second derivative spectra of intact pomeloes at different storage duration. It was more clearly seen that the peak appeared at 680, 740, 840 and 930 nm and there was small peaks appeared between 764-788 nm and 897 nm. It could be seen that there was a noise in the spectra in the range of 850-960 nm. Therefore, the range was not included the specified range (750-850 nm).

Table 1 shows the result of storage duration classification using full wavelength (660 – 960 nm) of raw transmittance spectra. Some models (Storage 1, Storage 3, Storage 4, Storage 5, Storage 6 and Storage 7) could self-predict very well (80 – 100%). The Storage 1 model could classify group of storages with 86.05% correctness, while other storage models could classify not well (31.40 – 65.12% correctness).

Table 2 the result of storage duration classification using models developed from specified transmittance (750 – 850 nm) raw spectra. Some models, including Storage 1, Storage 4 and Storage 9, showed better classification performance than those from full wavelength spectra. Storage 1 model could self-predict with 100% correctness.

The models developed from pretreated spectra could not improve the prediction performance and even poor performance.

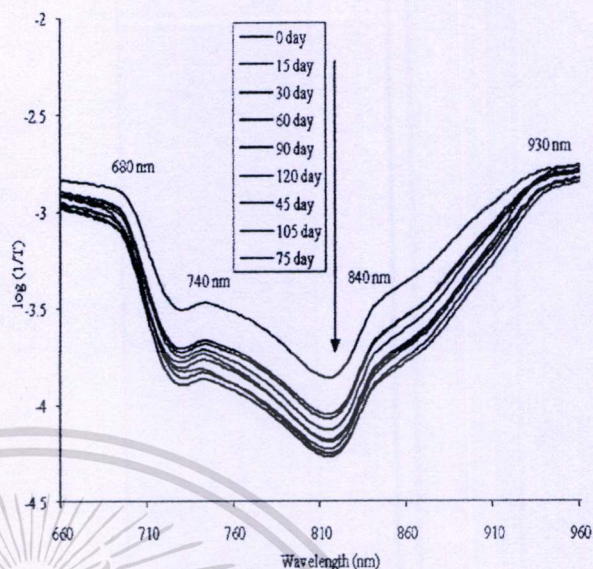


Fig. 2 The average raw NIR absorbance spectrum of pomelo at storages at 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 days

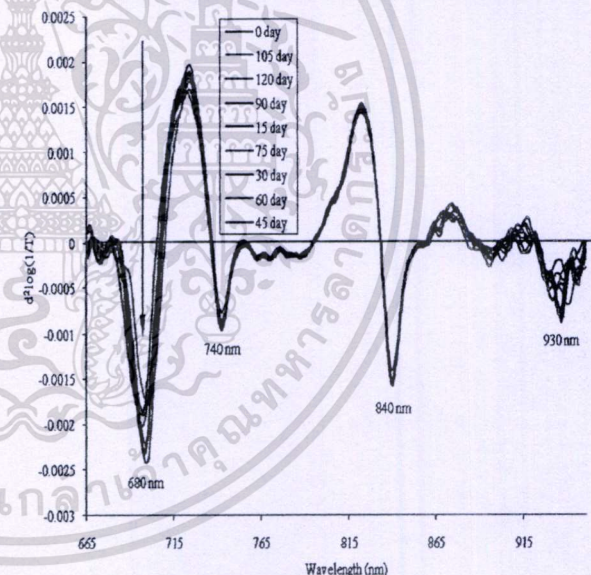


Fig. 3 The average moving average smoothing and Savitzki Goley second derivatives NIR absorbance spectrum of pomelo at 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 days

Table 1 Result of classification by SIMCA for every group using full wavelength of raw spectra (660 – 960 nm)

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Percentage of correct classification	Model								
			Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9
0	10		80	10	0	20	0	0	0	50	0
15	10		90	10	70	40	60	50	60	90	90
30	10		70	60	80	10	10	10	20	60	60
45	10		100	100	40	80	40	0	20	50	80
60	10		80	80	10	0	90	0	0	40	30
75	8		75	62.5	25	0	12.5	100	0	25	25
90	10		80	70	50	30	50	30	70	50	40
105	10		100	100	100	70	90	60	70	20	50
120	8		100	100	75	37.5	50	50	37.5	50	62.5
Total	86		% Correct	86.05	65.12	50.00	32.56	45.35	31.40	31.40	48.84

Storage 1, Storage 2, Storage 3, Storage 4, Storage 5, Storage 6, Storage 7, Storage 8 and Storage 9 are the names of models for storage duration of 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 days, respectively

Table 2 Result of classification by SIMCA for every group using specified wavelength of raw spectra (750 – 850 nm)

Storages (days)	No. of fruits for prediction	Percentage of correct classification	Model								
			Storage 1	Storage 2	Storage 3	Storage 4	Storage 5	Storage 6	Storage 7	Storage 8	Storage 9
0	10		100	0	0	20	0	0	0	0	30
15	10		90	10	60	30	50	50	50	10	90
30	10		60	60	80	10	10	10	20	10	60
45	10		100	90	40	100	20	0	20	0	80
60	10		80	70	10	0	100	0	0	0	50
75	8		62.5	37.5	12.5	0	0	100	0	0	25
90	10		80	70	40	40	50	30	60	10	40
105	10		100	100	80	60	70	30	60	70	50
120	8		100	100	62.5	37.5	37.5	37.5	37.5	12.5	25
Total	86		% Correct	86.05	59.30	43.02	33.72	38.37	26.74	27.91	12.79

Storage 1, Storage 2, Storage 3, Storage 4, Storage 5, Storage 6, Storage 7, Storage 8 and Storage 9 are the names of models for storage duration of 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 days, respectively.

#### IV Conclusion

This research concerned about classifying storage duration of Kao Num Peung pomelo. The models developed from raw spectra on full wavelength (660 – 960 nm) and specified wavelength (750 – 850 nm) could classify best. The pretreatment of spectra could not improve the classification performance. The storage 1 (0 day storage) model could classify best with 86.05% correctness, and could self-predict very well (full wavelength with 80% and specified wavelength with 100%). This might be because the average raw NIR absorbance spectra (Fig. 2) at 0 day was obviously different

from the other storage duration. Therefore, the NIR spectroscopy and Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) could fairly classify the group Kao Num Peung pomeloes of 0 day storage from the other groups that were stored for some duration.

#### References

- Clark, C.J., V. A. McGlone, C. Requejo, A. White, A. B. Woolf. 2003. Dry matter determination in ‘Hass’ avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 29: 300-307.
- Clark, C.J., V. A. McGlone, H.N. De silva, M.A. Manning, J. Burdon, A.D. Mowat. 2004. Prediction of storage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

disorders of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest. *Postharvest Biology and Technology*. 32: 147-158.

Customs Department. 2009. Import-Export Statistics., Ministry of Finance, Thailand. [Online]. Accessed from:

<http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticResult2550.jsp?page=1&statType=export&month=12&year=2008&productCodeCheck=Y&productCode=0805400001&countryCheck=null&country=>

Lijuan X., Y. Ying and T. Ying. 2007. Combination and comparison of chemometrics methods for identification of transgenic tomatoes using visible and near-infrared diffuse transmittance technique. *Journal of Food Engineering*. 82: 395-401.

Chaloemkin P. 2009. Pomelo. (in Thai) [Online]. Accessed from:

[http://www.tistr.or.th/t/publication/page\\_area\\_show\\_bc.asp?i1=65&i2=29](http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=65&i2=29).

Siriphanich, J. and T. Romphophak. 2006. Post-Harvest Management of Vegetable and Fruit, Nakornpathom, Thailand: Office of Extension and Training

Kamphaeng Saen.

Teerachaichayut, S., Kwon Y. K., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, Y. Nakanishi. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 43: 202-206.

### Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support provided by the Thailand Research Fund and King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang under TRF-master research grants (Science and Technology) (MGR-WI1505E070). The opinion in this research article is the authors' which Thailand Research Fund and King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang may not agree. Also the authors are very thankful to Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University, Thailand for providing instrument and place to run the experiment

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นาย วิชาญ งามเจริญสุข  
 วัน เดือน ปีเกิด 8 เมษายน 2527  
 ที่อยู่ 25/66 ซ. ลาดพร้าว 35 ถ. ลาดพร้าว  
 แขวง จันทน์เกษม เขต จตุจักร  
 กรุงเทพมหานคร 10900  
 โทรศัพท์ 02- 938-9541  
 โทรศัพท์มือถือ 084-044-6124

ประวัติการศึกษา 2542 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช. ช่างยนต์) รร.กองทัพภาค  
 อุบลราชธานี ช่างกล ขส.ทบ.  
 2547 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส. ช่างยนต์) สถาบัน  
 เทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต พระนครเหนือ  
 2549 ระดับปริญญาตรี วศ.บ. (วิศวกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยี  
 พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
 2552 ระดับปริญญาโท วศ.ม. (วิศวกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยี  
 พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

สาขาวิชาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ  
 สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของวัสดุเกษตรและอาหาร  
 สมบัติทางเนื้อสัมผัสของวัสดุเกษตรและอาหาร  
 การตรวจสอบคุณภาพของวัสดุเกษตรและอาหาร โดยใช้ Near Infrared  
 Spectroscopy  
 เทคโนโลยีการขนถ่ายวัสดุ  
 การออกแบบเครื่องจักรกล  
 งานเกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์

### ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

- อาชีพรับจ้างอิสระวิศวกรออกแบบและปรึกษาบริษัท บ. เวนคอร์ด จ.
- ผู้ช่วยอาจารย์ในวิชา Engineering Mechanics และวิชา Engineering P  
 หลักสูตรปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี  
 พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- การออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเปลือกผลและเปลือกเมล็ดสนุ่นดำ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 2549.(นักศึกษาผู้รับผิดชอบโครงการ)  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การประกการประเมินดัชนีคุณภาพภายในและภายนอกของส้มโอเพื่อการส่งออกที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ กันด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี 2552.(นักศึกษาผู้รับผิดชอบโครงการ)
- ออกแบบชิ้นส่วนของล้อขับและล้อตามสายพานลำเลียง. โครงการ New AFR Platform – Zone C : บ. ปูนซีเมนต์นครหลวงไทย จ. (มหาชน ). 2550. (วิศวกรออกแบบ)

Sirisomboon, P., Thanapase W., and Lapchareunsuk R., 2009.

**Identification of Different Storage Duration of Pomelo (Kao Num Peung Variety) by Near Infrared Spectroscopy using SIMCA.** The 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering, 1-3 April 2009. School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. 7-10 p.

Sirisomboon, P. and Lapchareunsuk R., 2009. **Study of Physical and Mechanical Properties of Intact Pomelo (Kao Num Peung Variety) During Storage.** The Proceeding of 47<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference. Bangkok., Thailand. 121–128 p.