



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบคุณภาพของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยวิธีแบบไม่ทำลาย ด้วย  
เทคนิค Near Infrared Spectroscopy  
Nondestructive Evaluation of Pomelo (Kao Numpung Variety)  
Quality By Near Infrared Spectroscopy Technique

น.ส. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RDH

2547ก

2555

b. 12623052  
i. ....

เลขหมู่.....เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เลขทะเบียน.....137345  
รับเดือนปี 22 ส.ค. 2558

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การตรวจสอบคุณภาพของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยวิธีแบบไม่ทำลาย  
ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

แหล่งเงิน เงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555 คณะวิศวกรรมศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 72,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2554 ถึง กันยายน 2555 /

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

น.ส. ปานมนัส ศิริสมบุญณ์ สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล (หัวหน้าโครงการ)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งโดยวิธีแบบไม่ทำลาย ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 633-961 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ในการตรวจวัดสเปกตรัมจากผิวผล และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ที่ 5 อายุการเก็บเกี่ยว ได้แก่ 180 190 200 210 และ 220 วันหลังจากดอกบาน นอกจากนี้ยังทำนายสมบัติทางกายภาพ และชีวเคมีจากผล และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกันพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต น้ำหนัก และปริมาตรของผลส้มโอ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยว แต่ค่าความหนาแน่นของผลส้มโอมีค่อนข้างคงที่ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผลส้มโอ ค่า  $L^*$  หรือความสว่างเพิ่มขึ้น ค่า  $a^*$  มีสีเขียวจางลง และ  $b^*$  มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนการตรวจวัดเนื้อส้มโอแบบ Puncture test เฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัด พบว่าค่า Initial firmness Average firmness Strength of membrane และ Penetrating energy in Albedo มีแนวโน้มลดลง ต่างกับค่า Bioyield distance Rupture distance Bioyield force Toughness และ Penetrating energy in flesh มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Rupture force, Penetrating force in Albedo และ Penetrating force in flesh มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนการตรวจวัดเนื้อส้มโอแบบ Plate Compression test ค่า Initial firmness และ Average firmness มีแนวโน้มค่อยๆลดลง ตามอายุการเก็บเกี่ยว ต่างกับค่า Energy absorption และ Deformation ratio มีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Degree of elasticity และ Relaxation ratio มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

จากการสังเกตสเปกตรัมที่เกิดจากการดูดกลืนแสงของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งทั้ง 5 อายุการเก็บเกี่ยว พบว่า สเปกตรัมของผิวผลส้มโอมีความยาวคลื่นที่มีการดูดซับคลื่นมากที่สุดที่ 970 นาโนเมตร และหลังจากจัดการสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สองพบช่วงคลื่นที่มีการดูดซับคลื่นมากที่สุดที่ 960-965 นาโนเมตร ส่วนลักษณะสเปกตรัมของเนื้อผลส้มโอมีช่วงคลื่นที่มีการดูดซับคลื่นมาก

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสำนักงานวิจัยแห่งชาติ ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แก่ 680 และ 970 นาโนเมตร และหลังจากจัดการสเปกตรัม ด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สองพบช่วงคลื่นที่มีการดูดซับคลื่นมากได้แก่ 652 738 832 956 และ 990 nm

จากผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy) พบว่าในการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวด้วยสเปกตรัมผิวเปลือกส้มโอที่ความยาวคลื่น 633-961 นาโนเมตร และควรใช้แบบจำลองทุกอายุการเก็บเกี่ยวที่ความยาวคลื่น 633-961 นาโนเมตร ในการคัดแยก โดยใช้วิธี SIMCA ในการคัดแยกกลุ่มเดียวกันกับแบบจำลอง ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงกว่า 98.33 % และวิธี PLS-DA ในการคัดแยกต่างกลุ่มกันกับแบบจำลอง ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงกว่า 100 %

ผลการสร้างสมการทำนายค่าความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับ ค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ แรงที่แทงทะลุเปลือก ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย และค่าความเหนียวของเปลือกพบว่าวิธีการทำนายที่ใช้ไม่สามารถทำนายได้แม่นยำ ( $r = (-0.05) - 0.70$ ) ส่วนการทำนายค่าของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พบว่าแบบจำลองที่พัฒนามาจากสเปกตรัมของ Multiplicative Scatter Correction (MSC) สามารถใช้ประมาณค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ได้ โดย ได้ค่า  $r=0.87$  SEP=0.35 และ Bias=-0.051

คำสำคัญ : คุณภาพ ส้มโอ ขาวน้ำผึ้ง วิธีแบบไม่ทำลาย เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

**Research Title:** Nondestructive Evaluation of Pomelo (Kao Numpung Variety) Quality By Near Infrared Spectroscopy Technique

**Researcher:** Panmanas Sirisomboon

**Faculty:** Engineering **Department:** Mechanical Engineering

## ABSTRACT

The objective of this research was to study the possibility of nondestructive evaluation of pomelo (Kao Numpung Variety) maturity by near infrared spectroscopic technique at wavelength between 633-961 nanometers by an instrument FQA NIR GUN using spectra from peel of intact fruit and from fresh cut of pomeloes at 5 different maturity of 180, 190, 200, 210 and 220 days after flower blooming. In addition, the determination of physical and biochemical properties of intact fruits and fresh cut were predicted with the comparison of the values from reference laboratory.

From the study of physical properties of intact pomeloes, the results showed that the geometric mean diameter, weight and volume of pomeloes increased with maturities, but the density remained the same. For the color of fruit peel, the  $L^*$  increased,  $a^*$  which indicated green color decreased and  $b^*$  which indicated yellow color increased. The results from puncture test, which indicates the textural properties at specific point, showed that initial firmness, average firmness, strength of membrane which covered flesh and penetrating energy in albedo decreased with maturities and bioyield distance, rupture distance, penetrating energy in flesh and toughness increased, while rupture force, penetrating force in albedo, and penetrating force in flesh had a little change. The results from plate compression test, which indicates the response of whole fruit, showed that initial firmness and average firmness decreased with maturities and energy absorption and deformation ratio increased while degree of elasticity and relaxation ratio had a little change.

The raw spectra of intact pomeloes at 5 different maturities showed the peak at 970 nanometer and the second derivative spectra showed the same peak around 960-965 nanometers. The raw spectra of flesh of pomeloes showed the peaks at 680 and 970 nanometers and the second derivative spectra revealed more peaks at 652, 738, 832, 956 and 990 nanometers.

The results of maturity classification by near infrared spectroscopy indicated that using of spectra at 633-961 nanometers. It recommended to use every maturity models developed from

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

spectra at 633-961 nanometers in classification by SIMCA for self-prediction which provide the percentage of correctness of 98.33 and PLS-DA for other group prediction which provide the percentage of correctness of 100.

The calibration models, which related the absorbance variables to dependent variables, the percentage of area of oil gland, density of oil gland, titratable acidity, max force, average force and toughness, could not accurately predict those dependent variables ( $r = (-0.05)-0.70$ ). However, the model developed from multiplicative scatter correction (MSC) could fairly predict the soluble solids  $r=0.87$   $SEP=0.35$  and  $Bias=-0.051$

**Keywords :** Quality, Pomelo, Kao Numpung, Non-destructive, Near infrared spectroscopy.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย (รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบุญ) และคณะผู้ช่วยวิจัย (นายจรูญพงศ์ เทียมประทีป นาย  
รวิภัทร ลากเจริญสุข และ น.ส. จิตรา ค้วงช้าง) ขอขอบคุณที่การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการ  
วิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบุญ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 คำสำคัญของการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	6
3.1 การเตรียมผลส้มโอสำหรับการศึกษา.....	6
3.2 การศึกษาตรวจสอบสมบัติภายนอกของผลส้มโอ.....	6
3.3 การศึกษาตรวจสอบสมบัติภายในของผลส้มโอ.....	13
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	15
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	18
4.1 ผลการตรวจวัดสมบัติของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง.....	18
4.2 ผลการตรวจวัดสมบัติทางชีวเคมีของน้ำส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง.....	26
4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม.....	27
4.4 ผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง.....	30
4.5 ผลการทำนายสมบัติภายนอกและภายในที่มีการเปลี่ยนแปลงตามอายุการเก็บเกี่ยวของ ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	47
5.1 สรุปผลการตรวจวัดสมบัติของผลส้มโอพันธุ์ชวาน้ำผึ้ง.....	48
5.2 สรุปผลการตรวจวัดสมบัติทางชีวเคมีของเนื้อส้มโอพันธุ์ชวาน้ำผึ้ง.....	48
5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม.....	48
5.4 สรุปผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ชวาน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัม.....	48
5.5 สรุปผลการสร้างสมการทำนายค่าการเปลี่ยนแปลงตามอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ชวาน้ำผึ้ง.....	48
5.6 ข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ประวัตินักวิจัย.....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมช่วง 633-961 นาโนเมตร ด้วยวิธี SIMCA.....	31
4.2 ผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมช่วง 633-961 นาโนเมตร ด้วยวิธี PLS-DA.....	33
4.3 ค่าทางสถิติของสมบัติต่างๆ ผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่ใช้สร้างสมการทำนายค่า.....	35
4.4 ผลการสร้างสมการและการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ด้วยวิธี PLS.....	38
4.5 ผลการสร้างสมการและการทำนายค่าแรงที่แทงทะลุเปลือก ความแน่นเนื้อเฉลี่ยและความเหนียวของเปลือก โดยวิธี PLS.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 การผูกปาย และผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งสำหรับการทดลอง.....	6
3.2 ขั้นตอนต่างๆ ในการทดลอง.....	7
3.3 กำหนดตำแหน่งที่ตรวจวัด และการตรวจวัดด้วยเครื่อง FQA NIR GUN.....	8
3.4 การวัดขนาด และการชั่งน้ำหนักผลส้มโอ.....	9
3.5 การวัดสีผิวส้มโอด้วยเครื่องวัดสี แบบ Spectrophotometer.....	10
3.6 การตรวจวัดปริมาตร และความหนาแน่นของผลส้มโอ.....	11
3.7 การตรวจแบบ Puncture Test และแบบ Plate Compression Test.....	12
3.8 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอ.....	13
3.9 การวัดหาความเป็นกรดของน้ำส้มโอ.....	15
4.1 การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต.....	19
4.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และปริมาตรของผลส้มโอ.....	19
4.3 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของผลส้มโอ.....	20
4.4 การเปลี่ยนแปลงสีผิวผลส้มโอ.....	20
4.5 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อเฉพาะตรงจุดที่ทดลอง.....	21
4.6 การเปลี่ยนแปลงระยะทางการยุบของเปลือกเฉพาะตรงจุด.....	22
4.7 การเปลี่ยนแปลงแรงที่ใช้ในการกดแทงทะลุผลส้มโอเฉพาะตรงจุด.....	23
4.8 การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุผลส้มโอเฉพาะตรงจุด.....	24
4.9 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ และการดูดซับพลังงานของผลส้มโอ.....	25
4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าระดับความยืดหยุ่นและอัตราส่วนการคลายเครียดของผลส้มโอ.....	25
4.11 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการเปลี่ยนรูปร่างของผลส้มโอ.....	26
4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอตามอายุการเก็บเกี่ยว.....	27
4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ของน้ำส้มโอตามอายุการเก็บเกี่ยว.....	27
4.14 สเปกตรัมดั้งเดิมของผิวผลส้มโอ.....	29
4.15 สเปกตรัมที่ได้จาก Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm ของผิวผลส้มโอ.....	29
4.16 สเปกตรัมที่ได้จาก Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm ของผิวผลส้มโอ.....	30
4.17 ความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับค่าที่ทำนาย (a) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ (b) ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้.....	39

เอกสารนี้เป็น ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ วิจารณ์และแก้ไขได้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
4.18 ค่า regression coefficient (a) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ (b) ของปริมาณกรดที่ละลายได้.....	40
4.19 ค่า X-loading (a) ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ (b) ปริมาณกรดที่โครเมทรทได้.....	41
4.20 ความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับค่าที่ทำนายแรงที่แทงทะลุเปลือก.....	45
4.21 ความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับค่าที่ทำนายความแน่นเนื้อเฉลี่ย.....	45
4.22 ความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับค่าที่ทำนายความเหนียวของเปลือก.....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ส้มโอเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับต้นๆ ของประเทศ นิยมบริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศ เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี มีรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยวขึ้นอยู่กับพันธุ์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นไม้ผลที่มีศักยภาพในการส่งออก เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ อีกทั้งส้มโอเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนา ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสียคุณภาพ ทนทานต่อการกระทบกระเทือนระหว่างขนส่งได้ในระยะทางไกล โดยเฉพาะการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ ดังนั้นจึงเป็นผลไม้อีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตเพื่อการส่งออก ในปี 2553 ประเทศไทยส่งออกส้มโอ 12,149.126 ตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าถึง 129.46 ล้านบาท (กรมส่งเสริมการส่งออก 2554) ตลาดภายในประเทศ ได้แก่ ตลาดท้องถิ่นในจังหวัดต่าง ๆ และตลาดขายส่งสี่มุมเมือง ตลาดต่างประเทศมีความต้องการส้มโอในปริมาณที่มาก เนื่องจากส้มโอไทยมีรสชาติดีได้แก่ ประเทศยุโรป เช่น อังกฤษ เนเธอร์แลนด์ เยอรมัน ฝรั่งเศส สวิสเซอร์แลนด์ เบลเยียม สาธารณรัฐเชค ประเทศเอเชีย เช่น จีน ฮองกง ลาว อินโดนีเซีย สิงคโปร์ อินเดีย พม่า เวียดนาม ประเทศในทวีปอเมริกา เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ปัจจุบันตลาดต่างประเทศเริ่มขยายไปทางตะวันออกกลาง เช่น สาธารณรัฐอาหรับ การส่งออกส่วนใหญ่จะส่งออกในระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม ส้มโอที่ส่งออกและเป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศมีอยู่ 3 พันธุ์คือ ขาวหอม ขาวน้ำผึ้ง และขาวทองดี

การเก็บเกี่ยวผลส้มโอในปัจจุบันใช้แรงงานคน ผลส้มโอที่อยู่ไม่สูงมากนักใช้กรรไกรตัดजू ถ้าเป็นผลที่อยู่สูงใช้ที่เก็บเกี่ยวชนิดมีขอ ตัดต่อด้าม และมีเชือกกระตุกพร้อมถุงรองรับ จะช่วยให้ผลไม่ร่วงหล่นลงดิน ลักษณะผลที่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว คือ ผิวเปลือกจะเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวอมเหลือง ต่อมาน้ำมันบริเวณก้นผลจะขยายใหญ่และห่างกันมากขึ้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) ปัญหาสำคัญคือ การเก็บเกี่ยวผลส้มโอตามความต้องการของตลาดกำหนดให้ต้องมีความสุกแก่ 70 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น เพราะไม่เน่าเสียง่ายและเป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคยอมรับได้และความหวานต้องมากกว่า 8 องศาบริกซ์ ซึ่งในสภาพจริงการประมาณอายุในการเก็บเกี่ยวเพื่อความสุกแก่ที่ต้องการนั้นค่อนข้างลำบากบ่อยครั้งที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวที่ผลสุกแก่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ทำให้รสชาติไม่ดีส่งผลให้ไม่เป็นที่ยอมรับของตลาดจนต้องส่งคืนกลับประเทศจึงทำให้เกษตรกรขาดทุน และส้มโอเป็นผลไม้ตระกูลส้มที่มีคุณสมบัติเฉพาะคือบ่มไม่สุก (วิทยา บัวเจริญ, 2546) โดยปัจจุบันในการเก็บเกี่ยวผลส้มโอเกษตรกรต้องอาศัยความชำนาญในการสังเกตสีผิว ต่อมาน้ำมัน ขนาด และการนับวันหลังจากดอกบาน ซึ่งยังไม่มีคำแนะนำมากนัก หรือบางครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเขียวหรือสีน้ำตาลก็ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บเกี่ยวตามความต้องการของตลาดเพื่อให้ได้ราคาสูง แต่ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวอาจยังไม่สุกแก่หรือ อาจจะไม่สุกแก่มากเกินไป จนทำให้คุณภาพของส้มโอในการส่งออกไม่ดีเท่าที่ควร และส่วนใหญ่ยังมี ปัญหาขาดแคลนเทคโนโลยีในการผลิตและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่ตรงกับ มาตรฐานการส่งออก(องค์การตลาดเพื่อการเกษตร, 2549)

ซึ่งจะเห็นได้ว่าเกษตรกรไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลได้ตรงตามที่ต้องการทั้งหมด ต้องเกิดความ ผิดพลาดในการเก็บเกี่ยว โดยมีผลอ่อนหรือผลแก่เกินไปปะปนมาแน่นอน ซึ่งจะทำให้คุณภาพไม่ดี ขายไม่ได้ หรือหากถึงมือผู้บริโภคจะทำให้ถูกปฏิเสธในครั้งต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าเป็นสินค้า ส่งออก ดังนั้นการคัดความบริบูรณ์ (ความสุกแก่) ก่อนนำออกขายจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง แต่การ ใช้แรงงานคนก็ต้องการแรงงานที่มีความเชี่ยวชาญและต้องมีจำนวนมาก จึงจะทำงานเสร็จทันเวลา และผิดพลาดน้อย อย่างไรก็ตามก็ผู้เชี่ยวชาญในการคัดก็ไม่สามารถบอกคุณภาพภายใน เช่น ความ หวาน หรือความเป็นกรด หรืออัตราส่วนความหวานต่อความเป็นกรด หรือเนื้อสัมผัส (Texture) โดยไม่ทำลายผลได้

การวิจัยเรื่อง การตรวจสอบคุณภาพของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยวิธีแบบไม่ทำลาย ด้วย เทคนิค Near Infrared Spectroscopy ที่เสนอของงบประมาณในการทำวิจัยนี้มีแนวทางที่สามารถ ตรวจสอบความบริบูรณ์ (ความสุกแก่) และคุณภาพภายใน (ความหวาน หรือความเป็นกรด หรือ อัตราส่วนความหวานต่อความเป็นกรด เนื้อสัมผัส) ของส้มโอได้โดยไม่ทำลายผล หลังการเก็บเกี่ยว ได้ ทำให้สามารถเกษตรกรหรือผู้ส่งออกมั่นใจในคุณภาพของผลผลิตหรือสินค้าของตน ทำให้ สามารถขายได้ราคาดี เพิ่มรายได้ให้มากขึ้น และสามารถแข่งขันกับผู้ผลิตรายอื่นในตลาดโลกได้ และผู้บริโภคก็มั่นใจว่าสินค้าที่ซื้อมามีคุณภาพดีแน่นอน ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนอกจากจะทำให้เศรษฐกิจ ของประเทศโดยรวมดีขึ้นแล้ว ยังนำประโยชน์สู่เกษตรกรซึ่งเป็นระดับฐานรากของประเทศ และยังเป็น การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ (ซึ่งนับวันจะมีราคาถูกลง รวดเร็ว ใช้แรงงานคนน้อยและไม่ ต้องการความชำนาญพิเศษ) กับการเกษตรและการส่งออกของประเทศ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาคุณสมบัติหลังการเก็บเกี่ยวทางกายภาพทั้งภายนอก (ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่น และสี) และภายใน (ความหวาน หรือความเป็นกรด หรืออัตราส่วนความหวานต่อ ความเป็นกรด หรือเนื้อสัมผัส (Texture)) ของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่ระยะความบริบูรณ์ต่างๆ โดย วิธีแบบไม่ทำลาย ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ใช้ส้มโอพันธุ์ส่งออก ได้แก่ พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีวิจัย ประกอบด้วยขั้นตอน 3 ส่วน คือ

- 1) การเตรียม วัสดุอุปกรณ์
- 2) การวางแผนการทดลองและการทดลอง
- 3) การวิเคราะห์ข้อมูล

ซึ่งอธิบายสังเขปรายละเอียดดังแผนผังต่อไปนี้



1.5 คำสำคัญของการวิจัย คุณภาพ ส้มโอ ขาวน้ำผึ้ง วิธีแบบไม่ทำลาย เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองและเทคนิคทาง Near Infrared Spectroscopy ที่สามารถใช้ในการประเมินคุณภาพภายใน (ความหวาน หรือความเป็นกรด หรืออัตราส่วนความหวานต่อความเป็นกรด เนื้อส้มฝัด) ของส้มโอพันธุ์ส่งออก ได้แก่ พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ทั้งหลังการเก็บเกี่ยวโดยวิธีไม่ทำลาย
2. ได้เทคนิควิธีในข้อ 1 และ 2 ที่สามารถถ่ายทอดให้เกษตรกร (โดยผ่านทางกรมส่งเสริมการเกษตร) หรือ บริษัทผู้ส่งออกส้มโอ ทำให้เพิ่มความสามารถในการคัดคุณภาพผลผลิต ทำให้เกษตรกรมีรายได้จากการจำหน่ายส้มโอสูงขึ้นเนื่องจากเกษตรกรสามารถทราบคุณภาพภายในผลผลิต และทางบริษัทผู้ส่งออกส้มโอก็สามารถมั่นใจในคุณภาพของสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นอกจากนี้นักศึกษาที่เข้าร่วมโครงการนี้ทั้งระดับปริญญาโท จะได้รับความรู้และทักษะคัด  
คุณภาพส้มโอ และเทคนิคทาง Near Infrared Spectroscopy
4. งานวิจัยนี้สามารถนำผลตีพิมพ์ในวารสารวิชาการทั้งในระดับนานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

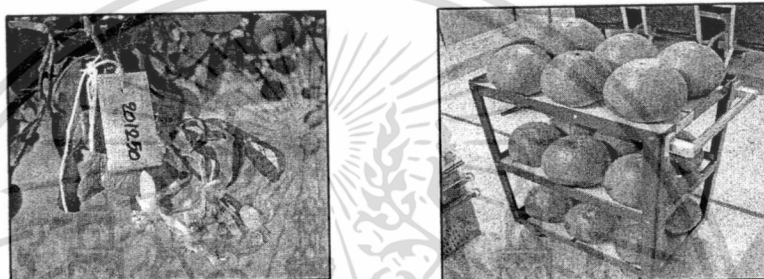
ในปัจจุบันการคัดความบริสุทธิ์และคุณภาพภายนอกของส้มโอยังคงทำโดยใช้คน ทั้งในโรงงานแปรรูป และในสวนของเกษตรกร ส่วนคุณภาพภายในทำได้โดยการทำลายผลและการชิมเพียงอย่างเดียว การคัดคุณภาพโดยคนไม่เพียงแต่ จะต้องใช้แรงงานคนมาก นำเบื้อหน่ายแล้วยังมีความผิดพลาดสูงอีกด้วย เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโคปีถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ คุณภาพภายนอก และคุณภาพภายในของผักผลไม้หลายชนิด สำหรับผลไม้ประเภทส้มมีการนำมาตรวจสอบที่ผลภายนอก (ไม่ทำลาย) ได้แก่ Soluble solid content (McGlone et al., 2003, Lu et al., 2005, Cayuela, 2008), titratable acidity (McGlone et al., 2003, Lu et al., 2005), pH (Gómez et al., 2006), Sugar content (Lee et al., 2004, Kawano et al., 1993), ความสุกแก่ (ripeness) (Kim et al., 2004), ความแน่นเนื้อ (firmness) (Gómez et al., 2006). วิธีการวัดแบบ Reflectance ใช้ได้ดีในการวิเคราะห์ soluble solid content ( $r=0.94$ , Gómez et al., 2006, 0.872, Lu et al., 2005), titratable acidity ( $r= 0.8$ , Gómez et al., 2006) และ firmness ( $r=0.83$ , Gómez et al., 2006) NIR spectroscopy ใช้ในการแยกระดับความบริสุทธิ์ของผลไม้ชนิดอื่นๆ เช่น มะละกอ pawpaws (Carica papaya) (Greensill and Newman, 1999), มะม่วง (Saranwong et al., 2003), องุ่น (Arana et al., 2005) และ แดงโม (Abebe, 2006) ดังนั้น จึงควรมีความพยายามในการทำวิจัยเพื่อนำเทคโนโลยีนี้มาใช้กับส้มโอ สำหรับการจัดการ สเปกตรัมนั้น แบบจำลองที่ได้จากสเปกตรัมที่ถูกจัดการด้วยวิธี multiplicative scattering (MSC) จะดีกว่าแบบจำลองที่ไม่ได้ใช้ MSC (Gómez et al., 2006) และการใช้วิธี Second derivative หลังจากทำ baseline correction แล้วได้ผลในการกำจัดการรบกวน (noise) ได้ดี และให้แบบจำลองที่เหมาะสม (Lu et al., 2005) เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองในการทำนายคุณภาพต่างๆ วิธี Partial least squares regression (PLS) และวิธี Principle component regression (PCR) ถูกนำมาใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การเตรียมผลส้มโอสำหรับการศึกษา

การดำเนินงานได้สุ่มผลส้มโอมาจากสวนผู้ผลิตส้มโอส่งออก โดยเริ่มจากเลือกสวนที่ผลิตส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเพื่อการส่งออก จากนั้นรอวันที่ดอกส้มโอบานจึงนำป้ายไปผูกไว้กับช่อดอกพร้อมเขียนวันที่ดอกบาน รวมทั้งหมด 500 ช่อ แล้วปล่อยให้ผลส้มโอเจริญเติบโต ซึ่งอุปกรณ์ในการทดลองได้แก่ ป้ายพลาสติก เชือก ปากกามาจิก เป็นต้น โดยเริ่มสุ่มเก็บผลส้มโอสำหรับทดลองเมื่อส้มโอมีอายุการเก็บเกี่ยวครบ 180 190 200 210 และ 220 วันหลังดอกบาน ครั้งละ 20 ผล



ภาพที่ 3.1 การผูกป้าย และผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งสำหรับการทดลอง

#### 3.2 การศึกษาตรวจสอบสมบัติภายนอกของผลส้มโอ

การดำเนินงานได้นำผลส้มโอที่สุ่มในแต่ละครั้ง วางไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ (ประมาณ 25°C) แล้ว นำมาตรวจวัดด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 600 – 1100 นาโนเมตร และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของผลส้มโอ ได้แก่ ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร ความแน่นเนื้อ สีผิว เนื้อสัมผัส พื้นที่ของต่อมน้ำมัน ความหนาแน่นของต่อมน้ำมัน และเปอร์เซ็นต์พื้นที่ของต่อมน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งมีวิธีการดังนี้ (ภาพที่ 3.2)

##### 3.2.1 การตรวจวัดด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ของผลส้มโอ

การดำเนินการทดลองเพื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง 600-1100 นาโนเมตร ตรวจวัดทุกๆ 2 นาโนเมตร ของผลส้มโอ ด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ซึ่งมีลักษณะการวัดแบบ Interactance อุปกรณ์

1. เครื่อง FQA NIR GUN (Fantec, Japan)
2. ผ้าสีดำ

ขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

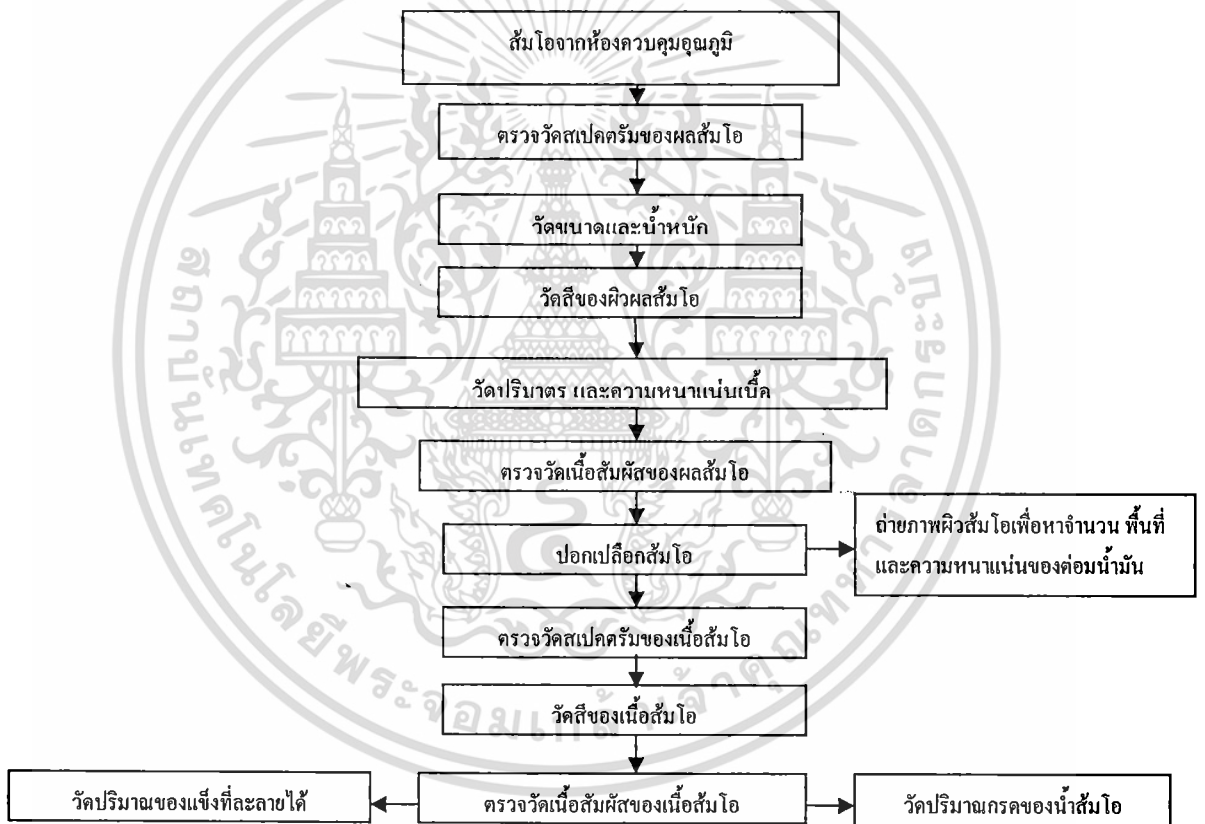
1. กำหนดตำแหน่งที่ตรวจวัดบริเวณด้านข้างกึ่งกลางผลส้มโอรวม 5 ตำแหน่งห่างกันประมาณทุกๆ  $72^{\circ}$  รอบผลส้มโอ แล้วทำเครื่องหมายบอกจากตำแหน่งวัดที่ 1-5 บนทวนเข็ม นาฬิกาไว้เหนือตำแหน่งวัดใกล้ขั้วผล ดังภาพที่ 3.3

2. ก่อนการตรวจวัดให้นำเครื่อง FQA NIR GUN มาตรวจวัดวัสดุมาตรฐาน (Ceramic) ก่อน เพื่อนำเป็นค่าอ้างอิงในการทำงานของเครื่อง

3. เริ่มการตรวจวัดทีละตำแหน่ง โดยตั้งค่าที่เครื่อง FQA NIR GUN ให้ทำการตรวจวัด 3 ครั้ง/ตำแหน่ง ดังภาพที่ 3.3 เพื่อหาค่าเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่ง ทั้งนี้ใช้ผ้าดำคลุมผลส้มโอ และ NIR GUN ขณะวัดเพื่อป้องกันแสงจากภายนอกรบกวน

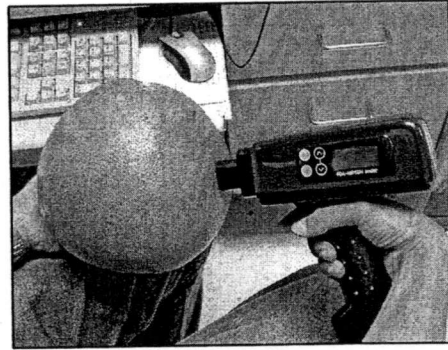
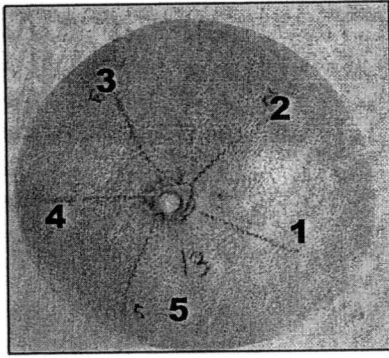
4. ดำเนินการตรวจวัดทั้ง 5 ตำแหน่ง ของส้มโอแต่ละผล

5. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2-4 จนครบ 20 ผล



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนต่างๆ ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 กำหนดตำแหน่งที่ตรวจวัด และการตรวจวัดด้วยเครื่อง FQA NIR GUN

### 3.2.2 การตรวจวัดขนาด และน้ำหนักของผลส้มโอ

การดำเนินการทดลองเพื่อวัดขนาดผลส้มโอที่ผ่านการทดลองในวิธีการที่ 3.2.1 เรียบร้อยแล้วนำมาวัดขนาด และชั่งน้ำหนักของผลส้มโอในแต่ละผลด้วย เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

อุปกรณ์

1. Vernier Height Gauge (Mitutoyo, 514-106, Japan ขนาด 600 มิลลิเมตร ความละเอียด 0.02)

2. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (OHAUSS, ARC 120, USA ขนาด 3100 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม)

3. โต๊ะระดับ

ขั้นตอนการทดลอง

1. เริ่มนำผลส้มโอมาชั่งน้ำหนักทีละผล แล้วบันทึกผล

2. จากนั้นนำผลส้มโอที่ชั่งน้ำหนักแล้ว มาวัดขนาดผลด้วย Vernier Height Gauge ของ Mitutoyo โดยผลส้มโอ 1 ผล วัดความยาวเป็นเส้นตรงทั้งหมด 3 แกน คือ 1) แกน A คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากขั้วผลถึงก้นผล 2) แกน B คือวัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับแกน A 3) แกน C วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับแกน A และแกน B แล้วบันทึกผล

จากนั้นนำไปค่าที่ได้ไปคำนวณค่า เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลเชิงเรขาคณิต (GMD) ของผลส้มโอ จาก

$$\text{สมการ} \quad GMD = \frac{(ABC)^{\frac{1}{3}}}{3}$$

โดยที่

A คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากขั้วผลถึงก้นผล (มิลลิเมตร)

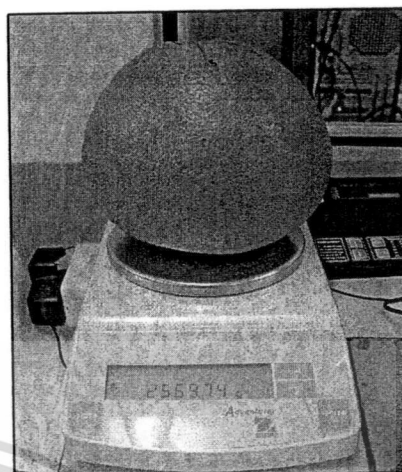
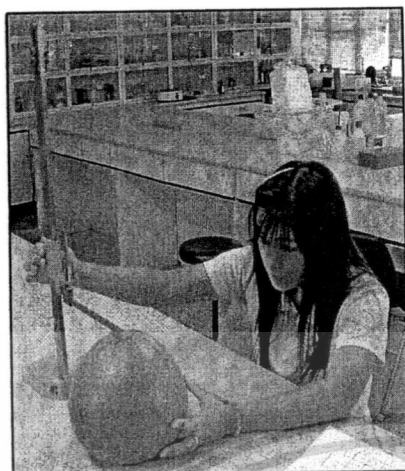
B คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับแกน A (มิลลิเมตร)

C คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับแกน A และแกน B

(มิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ทำข้อ 1-2 จนครบทุกผล



ภาพที่ 3.4 การวัดขนาด และการชั่งน้ำหนักผลส้มโอ

#### 3.2.3 การตรวจวัดสีผิวของผลส้มโอ

การดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดสีผิวของส้มโอ โดยใช้เครื่องวัดสี แบบ Spectrophotometer ซึ่งมีลักษณะการวัดแบบ Interactance มีช่วงคลื่นระหว่าง 400-700 นาโนเมตร ที่มีความละเอียด 10 นาโนเมตร โดยใช้ผลส้มโอที่ผ่านการทดลองในวิธีการที่ 3.2.2 เรียบร้อยแล้ว

##### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี Spectrophotometer (Hunter Lab, Miniscan XE Plus 45/0 LAV, Reston, USA)

##### ขั้นตอนการทดลอง

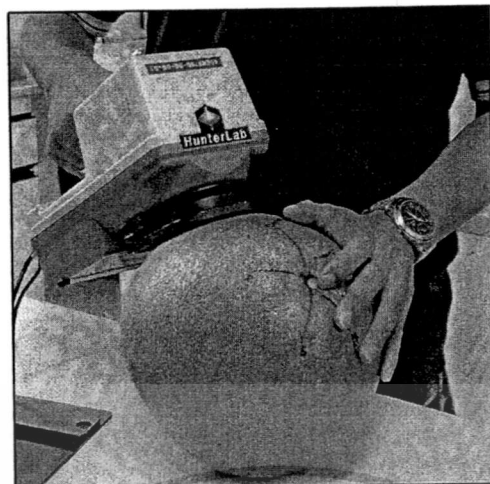
1. ปรับตั้งค่าเครื่องวัดสี เพื่อให้พร้อมใช้งาน โดยใช้มุมการวัด  $2^\circ$  และวัดตำแหน่งละ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

2. ตรวจวัดทีละตำแหน่ง ซึ่งตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดนั้นจะเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่ใช้ตรวจวัดสเปกตรัมของผลส้มโอ โดยค่าที่ได้นั้นจะแสดงออกมาเป็นค่า  $L^* a^* b^*$

3. ดำเนินการตรวจวัดทั้ง 5 ตำแหน่ง ของส้มโอแต่ละผล แล้วบันทึกผล

4. ดำเนินการตามขั้นตอนจนครบ 20 ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 การวัดสีผิวส้มโอด้วยเครื่องวัดสี แบบ Spectrophotometer

### 3.2.4 การตรวจวัดปริมาณ และความหนาแน่นเนื้อของผลส้มโอ

การดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดปริมาณ และความหนาแน่นเนื้อของผลส้มโอที่ผ่านการทดลองในวิธีการที่ 3.2.3 แล้วด้วยการชั่งน้ำหนักผลส้มโอในน้ำทั้งผล

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (UWE Model รุ่น AFM, Taiwan ขนาด 60 กิโลกรัม ความละเอียด 10 กรัม)

2. ถังน้ำขนาดบรรจุน้ำได้ 10 ลิตร

3. น้ำ RO (Reverse Osmosis)

4. ผ้าสะอาด

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำน้ำมาเติมใส่ถังประมาณ  $\frac{3}{4}$  ของถัง

2. นำถังน้ำมาวางบนเครื่องชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกน้ำหนัก

3. นำมือจุ่มลงในถังที่ใส่น้ำขณะวางอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนักคลิกประมาณข้อมือของผู้ทดลองและทำสัญลักษณ์ที่ข้อมือบริเวณจุดแบ่งแยกระหว่างที่เปียกน้ำกับที่ไม่เปียกน้ำ ปรับค่าน้ำหนักที่ตาชั่งให้เท่ากับ 0 (set zero)

4. ใช้น้ำมือให้แห้งแล้วจับผลส้มโอทีละ 1 ผล มานำใส่ในในถังที่ใส่น้ำให้ผลส้มโอจมทั้งผล โดยสังเกตจากสัญลักษณ์ที่ทำไว้อ่านค่าน้ำหนักที่ได้ แล้วบันทึกน้ำหนัก

5. คำนวณปริมาตรของผลส้มโอจากสมการ

$$V_m = \frac{m_L}{\rho_L}$$

โดยที่

$V_m$  คือปริมาตรของผลส้มโอ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$m_L$  คือมวลของน้ำที่ถูกแทนที่ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งในขั้นตอนที่ 4 (กรัม)

$\rho_L$  คือความหนาแน่นของน้ำ (เท่ากับ 1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

6.คำนวณความหนาแน่นของผลส้มโอจากสมการ

$$\rho_m = \frac{m_m}{V_m}$$

โดยที่

$\rho_m$  คือความหนาแน่นของผลส้มโอ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

$m_m$  คือมวลของผลส้มโอที่ชั่งในอากาศจากการทดลองในข้อ 3.2.2

$V_m$  ปริมาตรของผลส้มโอ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

7.ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2-6 จนครบทุกผล



ภาพที่ 3.6 การตรวจวัดปริมาตร และความหนาแน่นของผลส้มโอ

### 3.2.6 การตรวจวัดเนื้อสัมผัสของผลส้มโอ

การดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดเนื้อสัมผัสของผลส้มโอการทดลองเพื่อตรวจวัดเนื้อสัมผัสของผลส้มโอด้วยเครื่อง Texture Analyzer นั้นจะทำการทดสอบแบบ Puncture Test ซึ่งเป็นวิธีในการทดสอบเนื้อสัมผัสที่จุดใดๆ โดยการทดลองนี้จะทดสอบตำแหน่งที่ 1 และทดสอบแบบ Plate Compression Test ซึ่งเป็นวิธีในการทดสอบเนื้อสัมผัสของส้มโอทั้งผล ในตำแหน่ง ซึ่งเป็นส้มโอที่ผ่านการทดลองในวิธีการที่ 3.2.5

#### อุปกรณ์

1. เครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro Systems, TA. HD. Plus, UK)
2. หัวกดชนิดแท่งทรงกระบอกทำด้วยสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม.

สำหรับการทดสอบ Puncture Test

3. หัวกดแบบแผ่นกลมทำด้วยอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. สำหรับ

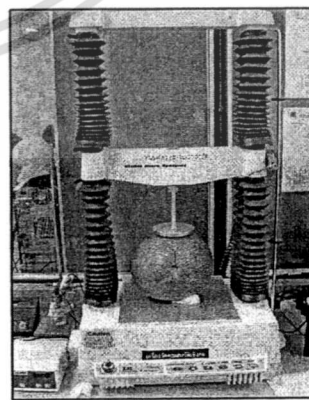
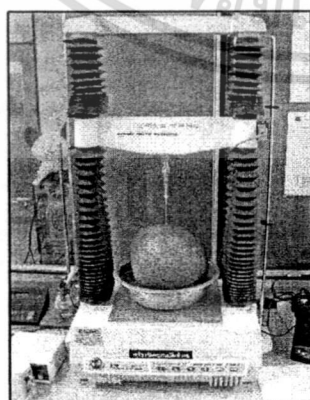
การทดสอบแบบ Plate Compression Test

4. กะบะทรายละเอียดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการทดลอง

1. ใ้หัวกดแท่งทรงกระบอกสำหรับการทดสอบ Puncture Test และปรับตั้งเครื่อง Texture Analyzer รุ่นให้พร้อมใช้งาน โดยกำหนดความเร็วในการกดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร/วินาที และความลึกในการแทงทะลุเท่ากับ 50 มิลลิเมตร
2. นำกระษะทรายขึ้นวางไว้ตรงแท่นวางผลไม้ ซึ่งจะอยู่ใต้หัวกด
3. เริ่มนำผลส้มโอที่ละผลวางไว้บนกระษะทรายให้ตำแหน่งวัดที่ 1 ตรงกับหัวกดพอดี และสั่งให้เครื่องทำงาน
4. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3 จนครบผลส้มโอทุกผล
5. เปลี่ยนหัวกดเป็นชนิดแผ่นวงกลม และปรับตั้งเครื่อง Texture Analyzer ให้พร้อมใช้งาน โดยกำหนดความเร็วในการกดเท่ากับ 2 มม./วินาที และกดให้จนกว่าจะได้แรงเท่ากับ 40 นิวตัน แล้วค้างไว้เป็นเวลา 30 วินาที แล้วถอนหัวกดขึ้นด้วยความเร็วเท่ากับ 2 มม./วินาที
6. เริ่มนำผลส้มโอที่ผ่านขั้นตอนที่ 4 แล้วทีละผลมาวางไว้บนกระษะทรายให้ตำแหน่งวัดที่ 3 ตรงกับหัวกดพอดี และสั่งให้เครื่องทำงาน
7. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 5 และ 6 จนครบผลส้มโอทุกผล
8. จากนั้นวิเคราะห์ค่าต่างๆ ในการทดสอบ Puncture Test ได้แก่ค่า Initial firmness, Average firmness, Bioyield distance, Rupture distance, Bioyield force, Penetrating force in Albedo, Rupture force, Penetrating force in flesh, Strength of membrane, Penetrating energy in flesh และ Toughness และการทดสอบแบบ Plate Compression Test ได้แก่ค่า Initial firmness, Average firmness, Energy absorption, Degree of elasticity, Relaxation ratio และ Deformation ratio ด้วยโปรแกรม Texture Analyzer



ภาพที่ 3.7 การตรวจแบบ Puncture Test และแบบ Plate Compression Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การศึกษาตรวจสอบสมบัติภายในของผลส้มโอ

#### 3.3.1 การตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอ

การดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอที่ผ่านการทดลอง ด้วยเครื่อง Refractometer

##### อุปกรณ์

1. เครื่อง Digital Refractometer (ATAGO, Pocket PAL-1, Japan)
2. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. น้ำกลั่น
4. กระดาษทำความสะอาด
5. มีด
6. ที่คั้นน้ำผลไม้



ภาพที่ 3.8 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอ  
ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเนื้อส้มโอเฉพาะชิ้นผ่านการทดลองในวิธีการที่ 3.3.3 มาคั้นน้ำใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. แล้วหยคน้ำส้มโอในช่องที่ใส่ตัวอย่างของเครื่อง Refractometer แล้วอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Brix) ทำ 2-3 ซ้ำ แล้วบันทึกผล (ภาพที่ 3.13)
3. จากนั้นเทตัวอย่างออกจากเครื่อง Refractometer ฉีดล้างด้วยน้ำกลั่นและใช้กระดาษเช็ดให้แห้ง
4. ดำเนินการตรวจวัดตามขั้นตอนที่ 1-3 จนครบทุกตัวอย่าง

#### 3.3.2 การตรวจวัดปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ของน้ำส้มโอ

การดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดความเป็นกรดของน้ำส้มโอที่เหลือจากการทดลองในวิธีการที่ 3.3.4 ด้วยวิธีการไตเตรท ตามวิธี AOAC (1990)

##### อุปกรณ์

1. เครื่อง pH meter แบบหัวจุ่ม (HANNA, HI 8521, Italy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารละลาย Buffer solution ที่มีค่า pH เท่ากับ 4 และ 7 สำหรับปรับตั้งเครื่อง pH meter

3. บิวเรต

4. สารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M

5. น้ำกลั่น

6. ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

7. ขวดลูกผสมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

8. บีเปตต์ขนาด 0.2 มิลลิลิตร

ขั้นตอนการทดลอง

1. คั่นน้ำส้มโอที่เตรียมไว้ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

2. ปรับตั้งเครื่อง pH meter ด้วยสารละลาย Buffer solution ที่มีค่า pH เท่ากับ 4 และ 7

3. คั่นน้ำส้มโอและนำหัวจุ่มวัดค่า pH ของน้ำส้มโอที่เตรียมไว้และบันทึกผลน้ำส้มโอที่ตรวจวัดค่า pH เรียบร้อยแล้วนั้นจะนำมาทดลองหาปริมาณความเป็นกรด

4. เตรียมสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M และบรรจุใส่ในบิวเรตจนเต็ม

5. คั่นน้ำส้มโอที่ตรวจวัดค่า pH เรียบร้อย จากนั้นไตเตรทด้วยสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M จนกระทั่งค่า pH ที่อ่านได้จากเครื่อง pH meter มีค่าเท่ากับ 6 อ่านและบันทึกค่าปริมาณของสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M ที่ใช้ไปจากบิวเรต

6. หลังจากนั้นไตเตรทต่อด้วยสารละลาย 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 อ่านและบันทึกค่าปริมาณของสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M ที่ใช้ไปจากบิวเรต (โดยค่า pH ที่ยอมรับได้นั้นจะต้องอยู่ในช่วง  $8.1 \pm 0.02$ )

8. คำนวณหาค่าความเป็นกรดของน้ำส้มโอจากสมการข้างล่าง ซึ่งค่าที่ได้จะแสดงออกมาเป็นของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของน้ำส้มโอ และบันทึกผลที่ได้จากการคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้} = \left[ \frac{A \times B \times K}{O} \right] \times 100$$

โดยที่ A คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (0.1 N)

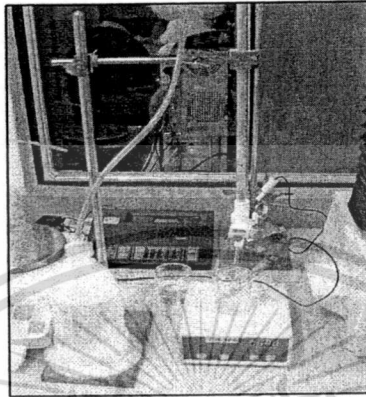
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B คือ ปริมาณสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไตเตรทให้ได้ค่า pH 8 (มิลลิลิตร)

K คือ milliequivalent of citric acid (anhydrous) = 0.064 (Pearson, 1971)

O คือ ปริมาณของน้ำส้มโอเริ่มต้นที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

9. ทำซ้ำข้อ 2-8 จนครบทุกตัวอย่าง



ภาพที่ 3.9 การวัดหาความเป็นกรดของน้ำส้มโอ

### 3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง จำเป็นต้องตัดค่าบางส่วนที่มีค่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไป (Out linier) ออกจากผลการทดลอง ที่อาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของตัวอย่าง หรือเกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการทดลอง เพื่อให้ค่าต่างๆ อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน สามารถหาได้จากสมการ

$$(X_i - \bar{X}) / SD$$

โดยที่  $X_i$  คือ ค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละตัวอย่าง

$\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของตัวอย่าง

$SD$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง

#### 3.4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ผลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ โดยวิธี Duncan Multiple Range Test แล้วแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับอายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของผลส้มโอ การวัดเนื้อส้มผัสแบบ Puncture test การวัดเนื้อสัมผัสแบบ Plate Compression test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และชีวเคมีของเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ผลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ และชีวเคมีของเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ความเบี่ยงมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ โดยวิธี Duncan Multiple Range Test แล้วแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับอายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง สมบัติทางกายภาพของเนื้อส้มโอ ได้แก่ สีเนื้อส้มโอ การวัดเนื้อส้มผัสของเนื้อส้มโอ และสมบัติทางชีวเคมีของเนื้อส้มโอ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้

### 3.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม

ผลจากวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 600–1100 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ในการตรวจวัดคุณภาพจากผิวผล และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยว 180 190 200 210 และ 220 วันหลังจากดอกบาน เป็นสเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) แล้วปรับปรุงสเปกตรัม โดยจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น 2 วิธี ได้แก่ 1) Multiplicative Scatter Correction (MSC) 2) Savitzky-Golay second differentiation วิเคราะห์ผลโดยการอธิบายความยาวคลื่นที่มีการดูดซับแสงสูงว่าเป็นการดูดซับแสงของพันธะหรือสารใด ซึ่งเปรียบเทียบกับผลของบทความวิจัยอื่นๆ

### 3.4.4 การตัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การตัดแยกผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งตามอายุการเก็บเกี่ยว โดยใช้ความแตกต่างของสเปกตรัมที่ผ่านการตัดค่าในช่วงที่มีการรบกวนออกจึงได้ในช่วง 633-961 โดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN วัดผิวเปลือกผล ทั้งหมด 5 อายุการเก็บเกี่ยว ได้แก่ 180 190 200 210 และ 220 วันหลังจากดอกบาน ใช้โมเดลการตัดแยก 2 แบบ คือ Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) และ Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) และ spectrum ที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น 2 วิธี ได้แก่ 1) Multiplicative Scatter Correction (MSC) 2) Savitzky-Golay second differentiation

### 3.4.5 การทำนายการเปลี่ยนแปลงตามอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การสร้างสมการทำนายสมบัติที่มีภายนอกและภายในด้วยวิธี Partial least square (PLS) ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 633–961 นาโนเมตร (สเปกตรัมที่ผ่านการตัดค่าในช่วงที่มีการรบกวนออก) ด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ในการตรวจวัดสเปกตรัมจากผิวผล และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง กับสมบัติที่วัดได้จากส่วนต่างๆของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งในห้องปฏิบัติการคือ ส่วนผลส้มโอ และส่วนเนื้อส้มโอ ทั้ง 5 อายุการเก็บเกี่ยว ได้แก่ 180 190 200 210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็น ใบเขียวประจำต้น การค้าไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 220 วันหลังจากดอกบาน โดยใช้สเปกตรัม ดั้งเดิม (Raw spectrum) และ สเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น 2 วิธี ได้แก่ 1) Multiplicative Scatter Correction (MSC) 2) Savitzky-Golay second differentiation ที่มี 2 derivative segment คือ 10 และ 20 nm ค่าที่ทำนาย ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ Max force Average force และ Toughness



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

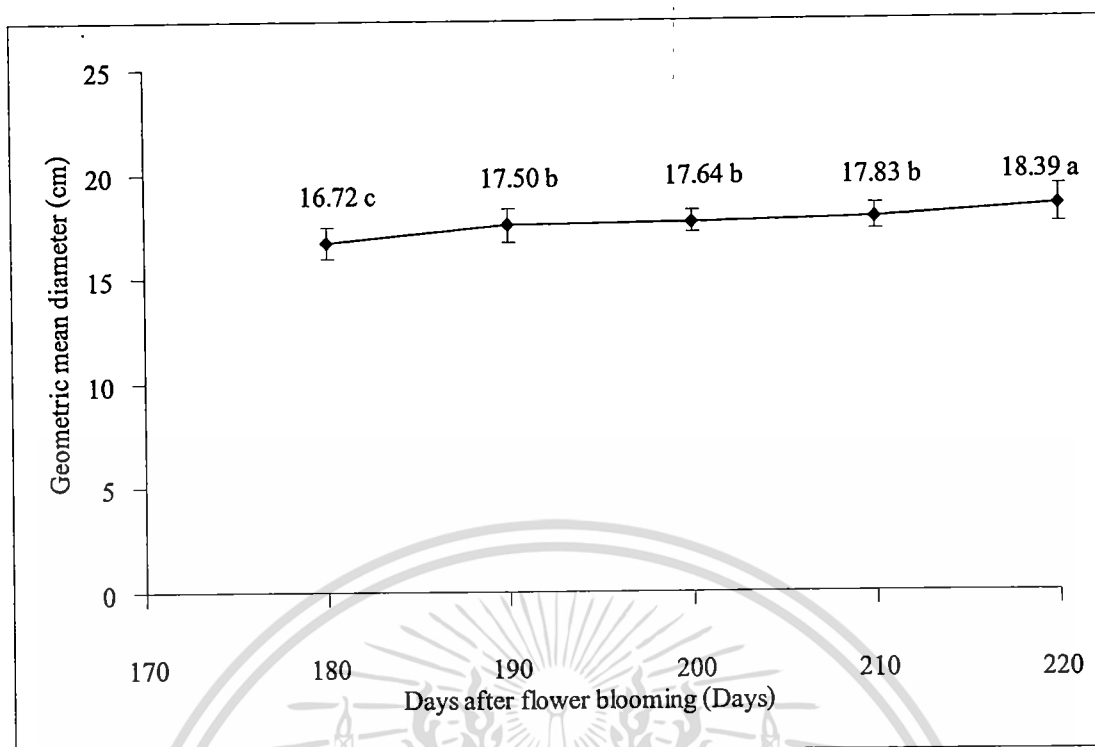
### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการตรวจวัดสมบัติของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

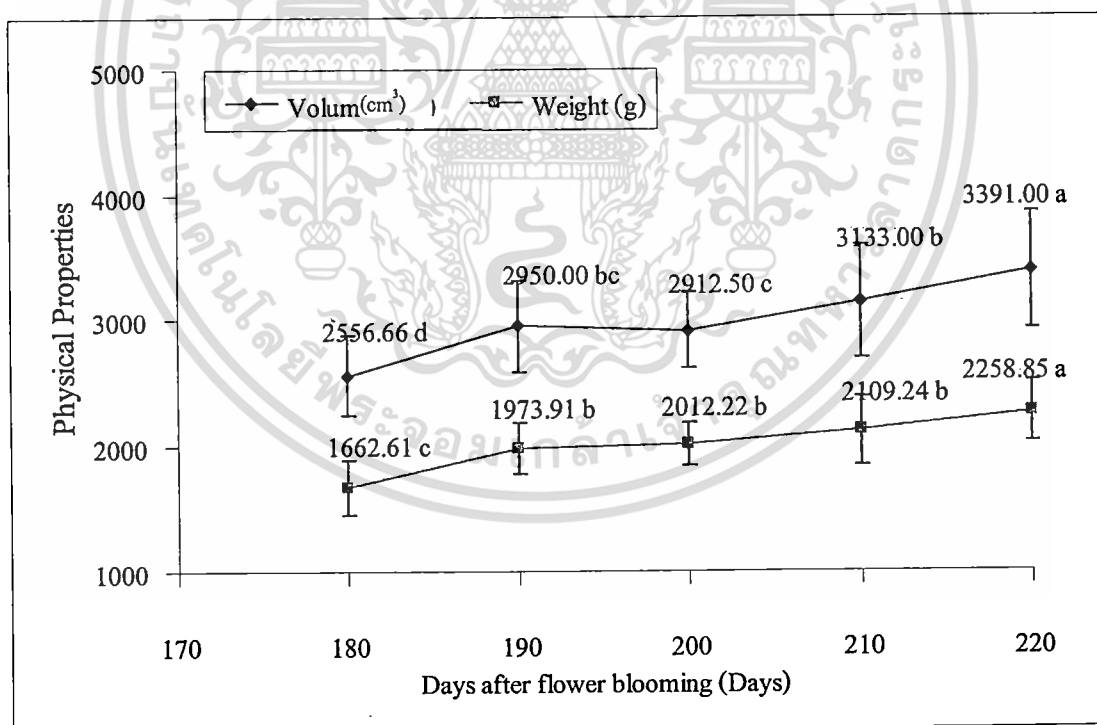
ผลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ความเบี่ยงมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ โดยวิธี Duncan Multiple Range Test แล้วแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับอายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ดังนี้

##### 4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน 5 ระยะเวลา พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric mean diameter : GMD) แสดงดังภาพที่ 4.1 GMD ผลส้มโอในการเก็บเกี่ยว 180 วันหลังดอกบาน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  แต่กลับมีขนาดแตกต่างไม่มากในอายุการเก็บเกี่ยว 190, 200 และ 210 วันหลังดอกบาน ทั้งที่มีขนาดเพิ่มขึ้นอีกในอายุการเก็บเกี่ยว 220 วันหลังดอกบาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับน้ำหนัก และปริมาตรของผลส้มโอแสดงดังภาพที่ 4.2 ในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 180 กับ 190 วันหลังดอกบาน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  และมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากในช่วงช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 190-210 วันหลังดอกบาน แล้วมีการเพิ่มขึ้นในอายุการเก็บเกี่ยว 220 วันหลังดอกบาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  แต่เมื่อสังเกตค่าความหนาแน่นของผลส้มโอทั้ง 5 ช่วงอายุ แสดงดังภาพที่ 4.3 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจึงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ  $P>0.05$  เนื่องจากความหนาแน่นเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตร เมื่อผลส้มโอมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นผลส้มโอมีน้ำหนักและปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนเท่ากัน ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผลส้มโอแสดงดังภาพที่ 4.4 โดยแสดงค่าสีตามระบบ C.I.E. LAB ( $L^*a^*b^*$ ) โดยค่า  $L^*$  แสดงค่าความสว่าง (สีดำ-ขาว) ส่วนค่า  $a^*$  แสดงสีเขียว-แดง และค่า  $b^*$  แสดงสีน้ำเงิน-เหลือง ซึ่งผลการทดลองจากค่า  $L^*$  ผลส้มโอมีความสว่างเพิ่มขึ้น จากค่า  $a^*$  เป็นค่าติดลบผลส้มโอมีสีเขียวและเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นจะมีค่าลบน้อยลงแสดงว่ามีสีเขียวจางลง และ  $b^*$  มีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยว แสดงว่ามีสีเหลืองเพิ่มขึ้น

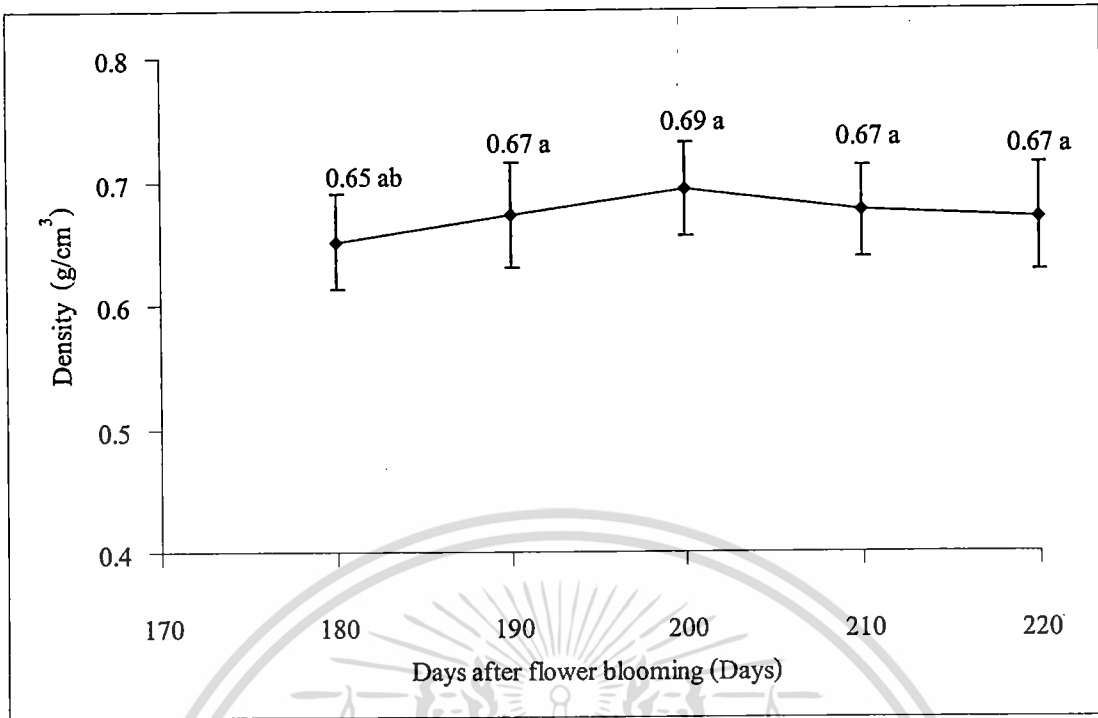


ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต

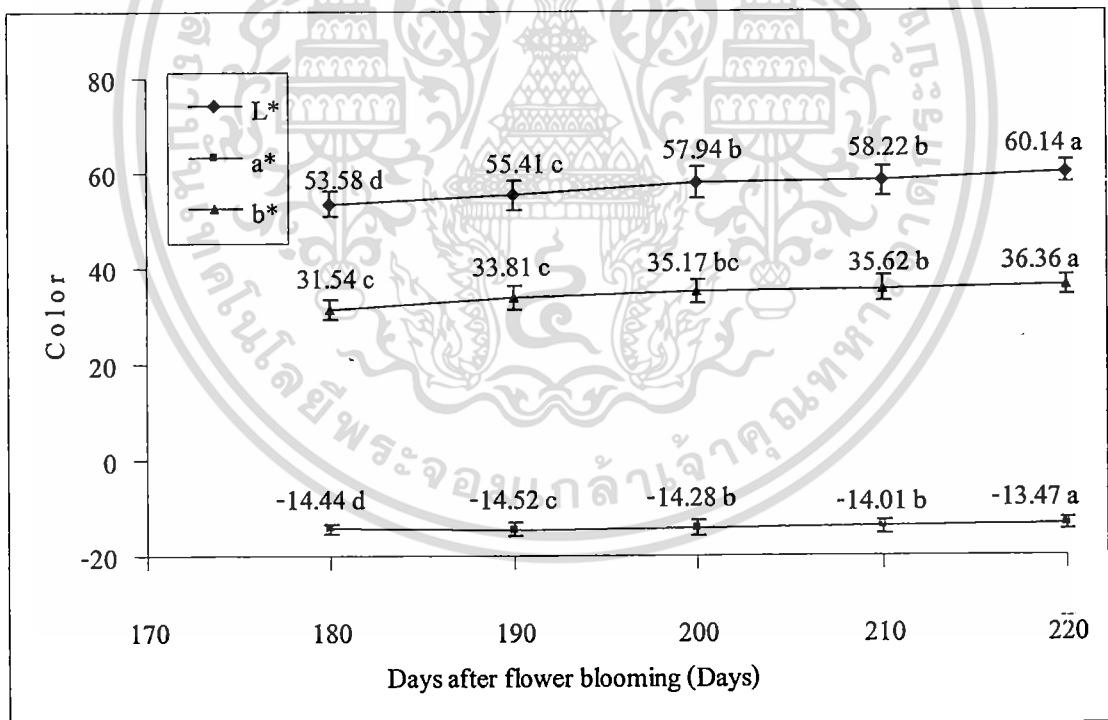


ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และปริมาตรของผลส้มโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของผลส้มโอ



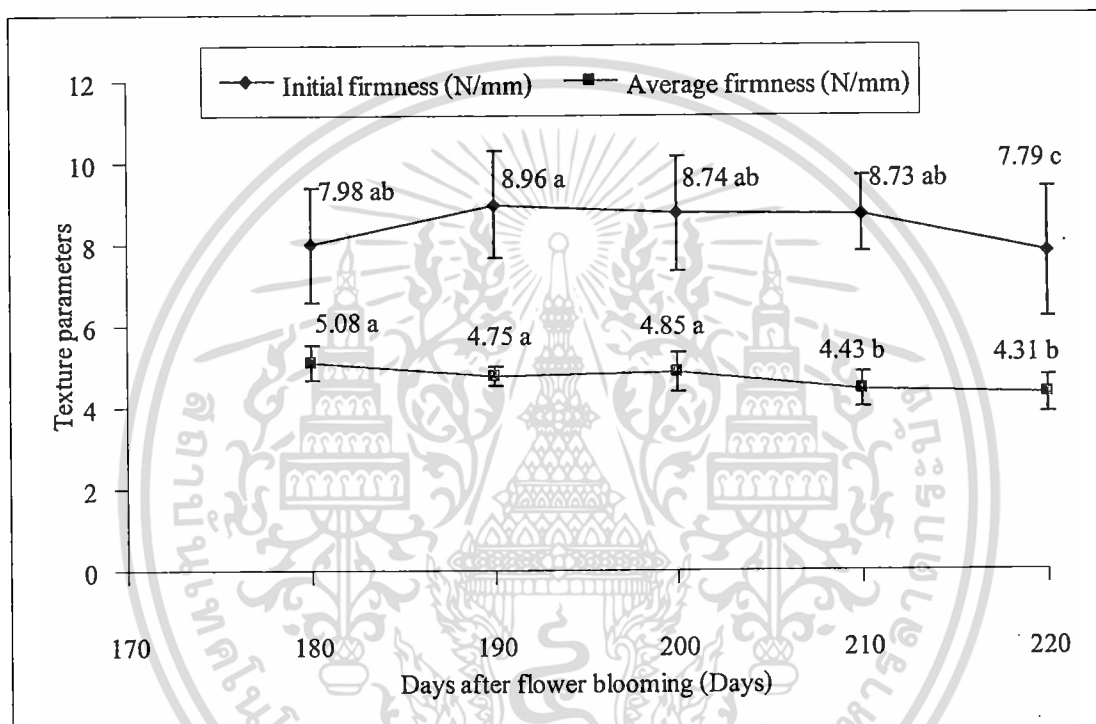
ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงสีผิวผลส้มโอ

#### 4.1.2 ผลการตรวจวัดเนื้อส้มฝัสดแบบ Puncture test

ในการตรวจวัดเป็นลักษณะการรับแรงของส้มโอเฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัดตั้งแต่เปลือกจนถึงเนื้อ โดยค่าต่างๆที่ตรวจวัดได้แสดงรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

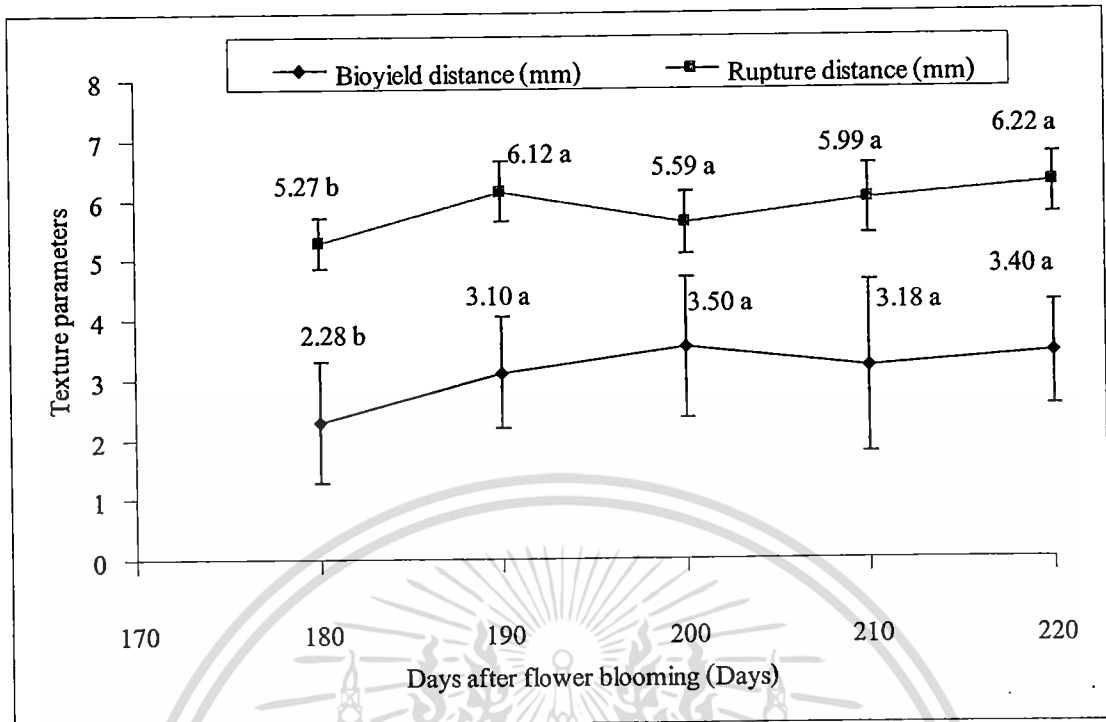
1) ค่าความแน่นเนื้อเฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัดแสดงดังภาพที่ 4.5 พบว่าค่า Initial firmness คือความแน่นเนื้อเริ่มต้นเมื่อเริ่มรับแรงในอายุการเก็บเกี่ยวที่ 180, 190, 200 และ 210 วันหลังดอกบาน มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  ที่อายุการเก็บเกี่ยว 220 วันหลังดอกบาน แสดงว่าอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นอาจมีเปลือกน้มน้ำขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Average firmness คือความแน่นเนื้อเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มรับแรงจนถึงก่อนเปลือกทะลุ มีความเปลี่ยนแปลงไม่มากในอายุการเก็บเกี่ยว 180, 190 และ 200 วันหลังดอกบาน และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  ในอายุการเก็บเกี่ยว 210 และ 220 วันหลังดอกบาน



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อเฉพาะตรงจุดที่ทดลอง

2) ระยะทางการยุบของเปลือกเฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัดแสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่าค่า Bioyield distance คือระยะทางชีวคลากจากการเริ่มต้นกดจนถึงจุดที่เซลล์ใต้เปลือกแตกแต่เปลือกยังไม่ทะลุ ในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 180 กับ 190 วันหลังดอกบาน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  ต่างกับในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 190-220 วันหลังดอกบาน มีค่าเพิ่มไม่มากนักจึงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ  $P>0.05$  แสดงว่าอายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้ระยะทางชีวคลากของเปลือกเฉพาะจุดเพิ่มขึ้นมากนัก ส่วนค่า Rupture distance คือระยะทางที่กดลึกเมื่อเปลือกแตก ค่าในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 180 และ 190 วันหลังดอกบาน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  แต่ในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 190 ถึง 220 วันหลังดอกบาน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ  $P>0.05$  แสดงว่าถ้าผลส้มโอมีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 190 วันหลังดอกบาน ความลึกในการกดเมื่อเปลือกทะลุไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

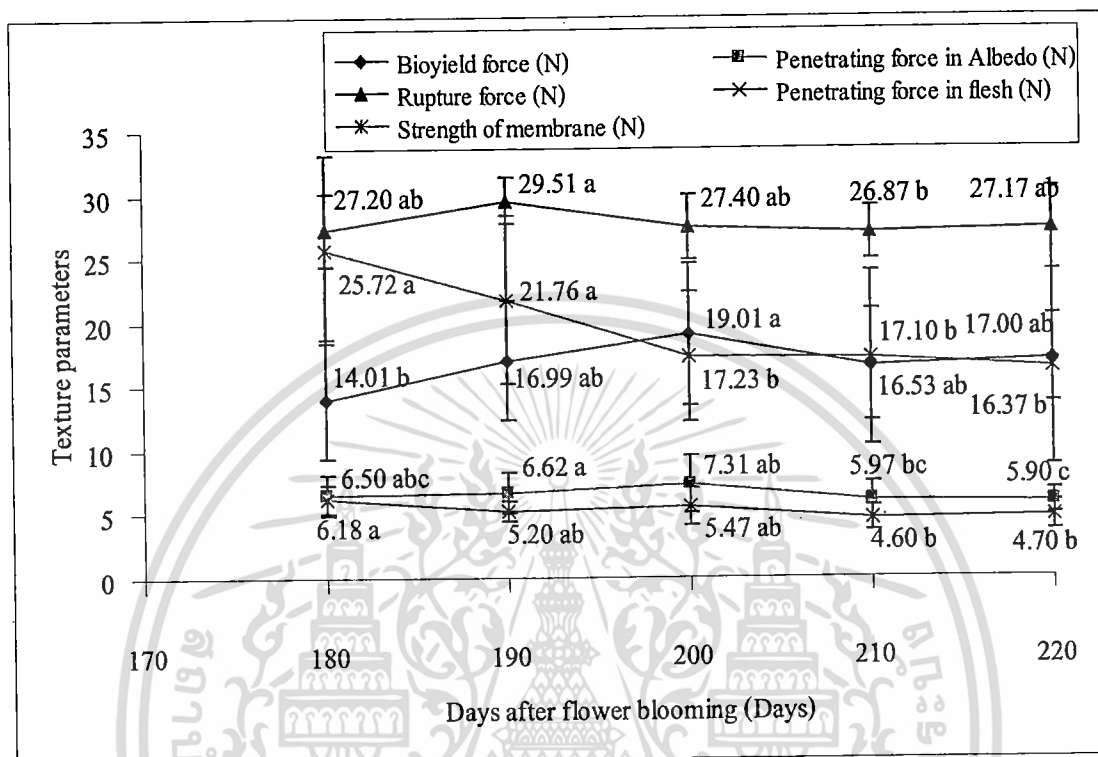


ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงระยะทางการยุบของเปลือกเฉพาะตรงจุด

3) แรงที่ใช้ในการกดผลส้มโอเฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัดแสดงดังภาพที่ 4.7 พบว่าค่า Bioyield force คือแรงที่ทำให้เกิดจุดช้ำคลากหรือจุดที่เซลล์ได้ผิวแตกแต่เปลือกยังไม่แตก โดยช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 180 190 และ 200 วันหลังดอกบาน Bioyield force เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  ซึ่งแสดงถึงเซลล์ได้ผิวมีความแข็งแรงขึ้น ต่างกับช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 210-220 วันหลังดอกบาน Bioyield force มีค่าลดลงและไม่แตกต่างกัน แสดงถึงเซลล์ได้ผิวมีความแข็งแรงลดลงและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่า Rupture force คือแรงต้านทานการแทงทะลุเปลือกซึ่งในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 180 กับ 190 วันหลังดอกบาน เปลือกมีความต้านทานการแทงทะลุเพิ่มขึ้น แต่หลังจากอายุการเก็บเกี่ยว 190 วันหลังดอกบาน มีความต้านทานการแทงทะลุลดลง และมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 200-220 วันหลังดอกบาน ส่วนค่า Penetrating force in Albedo คือแรงเฉลี่ยที่ใช้ในการแทงส่วนของเปลือกชั้นในสีขาวที่อยู่ระหว่างเปลือกชั้นนอกกับเยื่อหุ้มเนื้อ โดยช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 180-200 วันหลังดอกบาน ต้องใช้แรงในการแทงทะลุเพิ่มขึ้น ตามลำดับ แต่เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวมากกว่า 200 วันหลังดอกบานความสามารถในการต้านทานการแทงทะลุของเปลือกชั้นในมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คาดว่าเปลือกชั้นในของผลส้มโอจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจนถึงอายุเก็บเกี่ยว 200 วันหลังดอกบาน ซึ่งมีความต้านทานการแทงผ่านสูงสุด แล้วค่อยๆ นิ่มลง ส่วนค่า Strength of membrane คือความเหนียวของเยื่อหุ้มเนื้อส้มโอ มีค่าค่อยๆ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นถึงอายุการเก็บเกี่ยว 200 วันหลังดอกบาน หลังจากนั้นไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

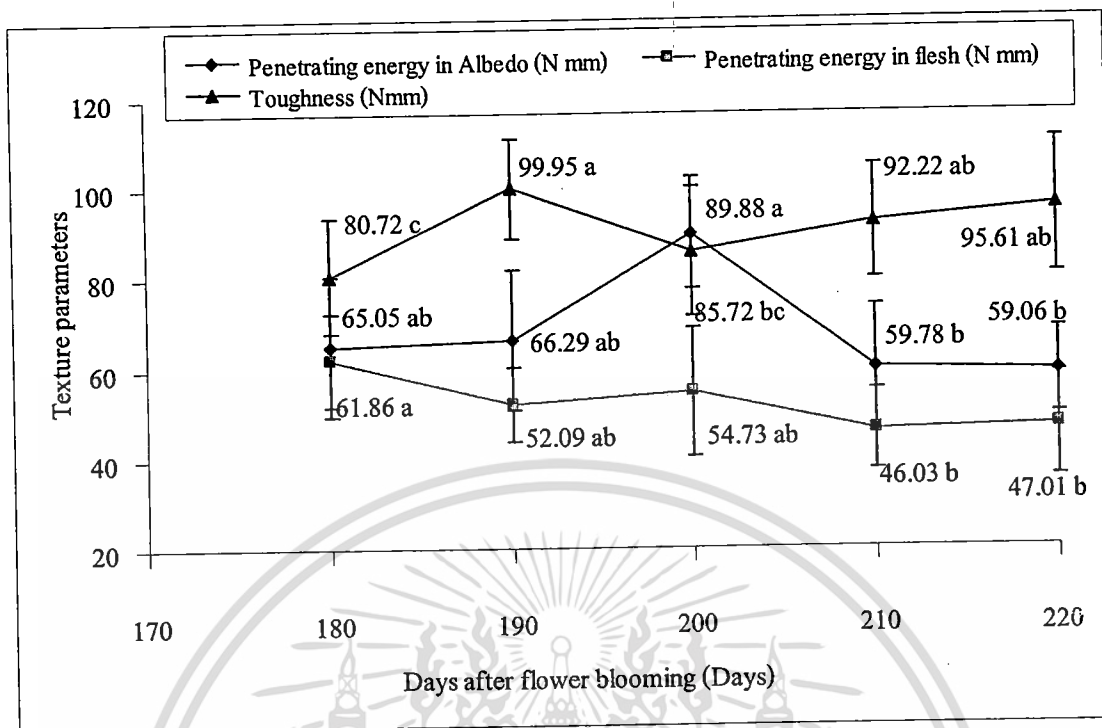
$P>0.05$  ค่า Penetrating force in flesh คือแรงที่ใช้ในการแทงทะลุเนื้อส้มโอ ซึ่งเนื้อส้มโอมีความต้านทานการแทงทะลุค่อยๆ ลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าในช่วงอายุการเก็บเกี่ยวเนื้อส้มโอนิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงแรงที่ใช้ในการกดแทงทะลุผลส้มโอเฉพาะตรงจุด

4) ความเหนียวของเปลือกชั้นนอก เฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัดแสดงดังภาพที่ 4.8 พบว่าค่า Toughness คือความเหนียวของเปลือกชั้นนอก ในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 180 กับ 190 วัน หลังดอกบาน มีความเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  แต่ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่อมาไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  ส่วนค่า Penetrating energy in Albedo คือพลังงานที่ใช้ในการแทงผ่านเปลือกชั้นใน เฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัดแสดงดังภาพที่ 4.8 พบว่าช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 180-200 วันหลังดอกบาน พลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุเปลือกชั้นในไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  แต่หลังจากอายุการเก็บเกี่ยว 200 วันหลังดอกบาน พลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุเปลือกกลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  แสดงว่าความแข็งของเปลือกส้มโอชั้นในค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงอายุการเก็บเกี่ยว 200 วันหลังดอกบาน แล้วเปลือกชั้นในจะค่อยๆ นิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ต่างกับค่า Penetrating energy in flesh คือพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุเนื้อส้มโอ ซึ่งมีการใช้พลังงานในการแทงทะลุค่อยๆ ลดลง ตามอายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  แสดงว่าอายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นจะทำให้เนื้อส้มโอค่อยๆ นิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

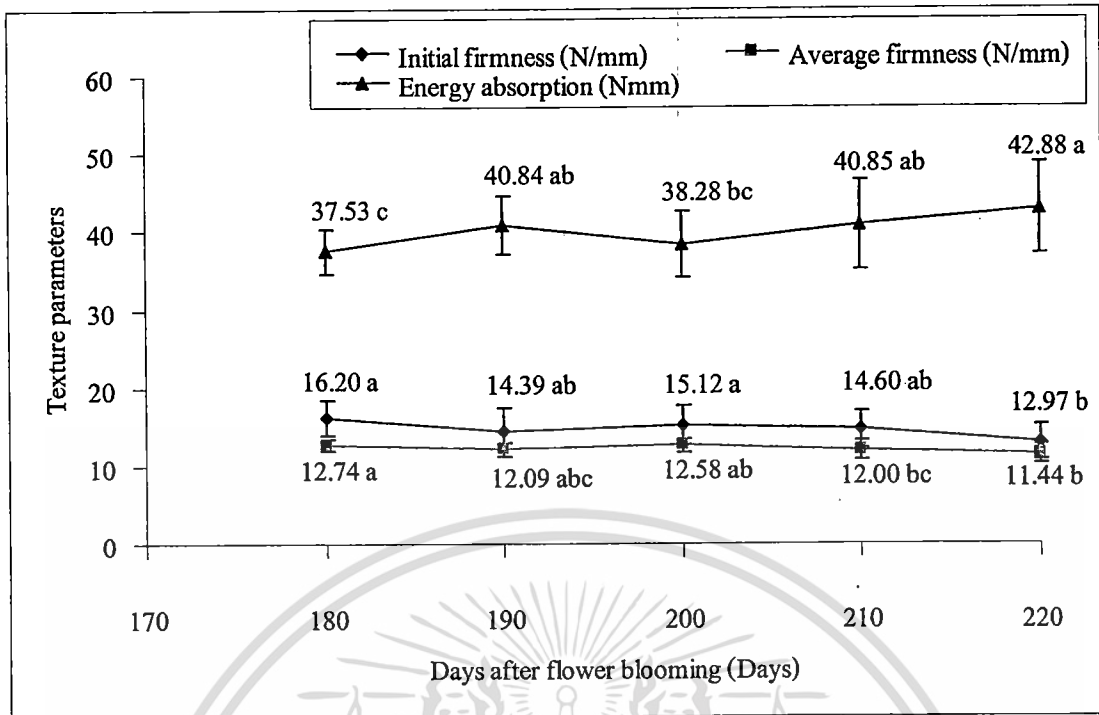


ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ในการแทงทะลุผลส้มโอเฉพาะตรงจุด

#### 4.1.3 ผลการตรวจวัดเนื้อส้มฝัดแบบ Plate Compression test

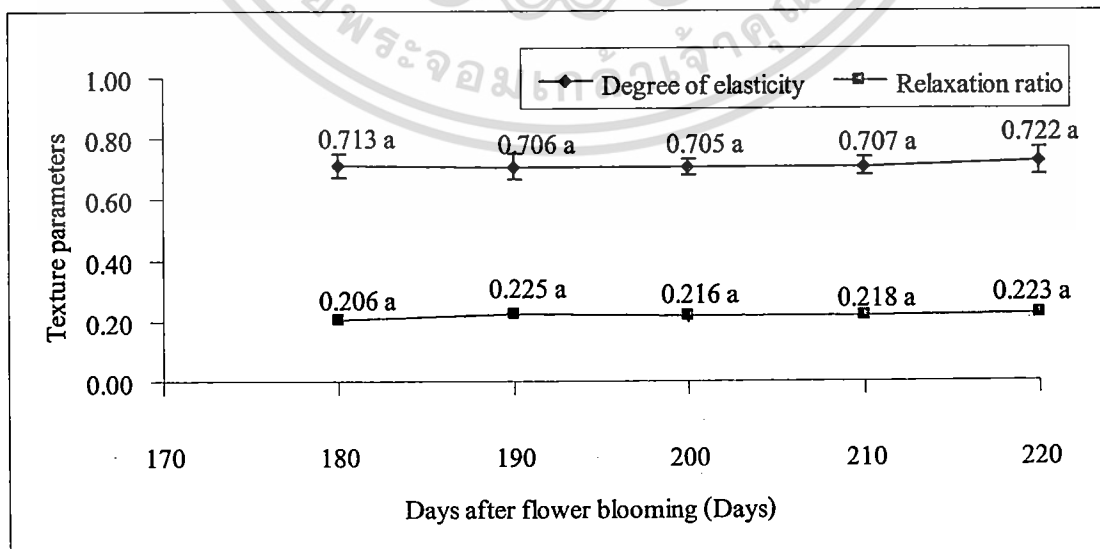
ในการตรวจวัดเป็นลักษณะการรับแรงของผลส้มโอทั้งผล โดยค่าต่างๆที่ตรวจวัดได้มีรายละเอียดดังนี้

1) ความแน่นเนื้อ และการดูดซับพลังงานของผลส้มโอทั้งผลแสดงดังภาพที่ 4.9 พบว่า ค่า Initial firmness คือความแน่นเนื้อของผลส้มโอเริ่มต้น โดยทั้ง 4 อายุการเก็บเกี่ยวแรกไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  ในอายุการเก็บเกี่ยวที่ 5 มีความหนาแน่นเริ่มต้นลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  ส่วนค่า Average firmness คือค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย ที่ 3 อายุการเก็บเกี่ยวแรกไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  หลังจากนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  Energy absorption คือพลังงานที่ผลส้มโอดูดซับเพื่อทำให้เกิดการเสีกรูป เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  ตามอายุการเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ และการดูดซับพลังงานของผลส้มโอ

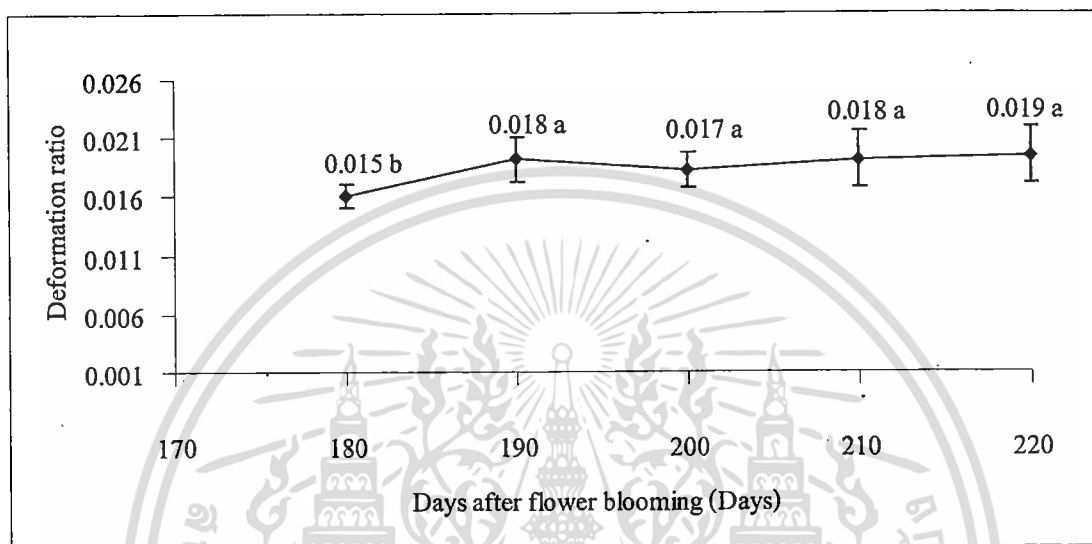
2) ค่าระดับความยืดหยุ่นและอัตราส่วนการคลายเครียดของผลส้มโอทั้งผลแสดงดังภาพที่ 4.10 พบว่า ค่า Degree of elasticity คือระดับความยืดหยุ่นของผลส้มโอ มีค่าสอดคล้องกับค่า Relaxation ratio คืออัตราส่วนการคลายเครียดของผลส้มโอ แสดงถึงความเป็นวัสดุแบบ ยืดหยุ่นหนืด (Viscoelastic) โดยการเพิ่มขึ้นของอายุการเก็บเกี่ยวไม่ได้ทำให้ 2 ค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P > 0.05$  ค่า Relaxation ratio ที่ใกล้ 1 แสดงถึงวัสดุมีแนวโน้มเป็นวัสดุหนืด (viscose) ค่า Relaxation ratio ที่ใกล้ 0 แสดงถึงวัสดุมีแนวโน้มเป็นวัสดุยืดหยุ่น (elastic)



ภาพที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าระดับความยืดหยุ่นและอัตราส่วนการคลายเครียดของผลส้มโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลส้มโอที่แสดงผลแสดงดังภาพที่ 4.11 พบว่า ค่า Deformation ratio คืออัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งเป็นความเครียด (Strain) ของผล ในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 180 กับ 190 วันหลังดอกบาน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  แต่หลังจากอายุการเก็บเกี่ยว 190-220 วันหลังดอกบาน มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพียงเล็กน้อยจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$



ภาพที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลส้มโอ

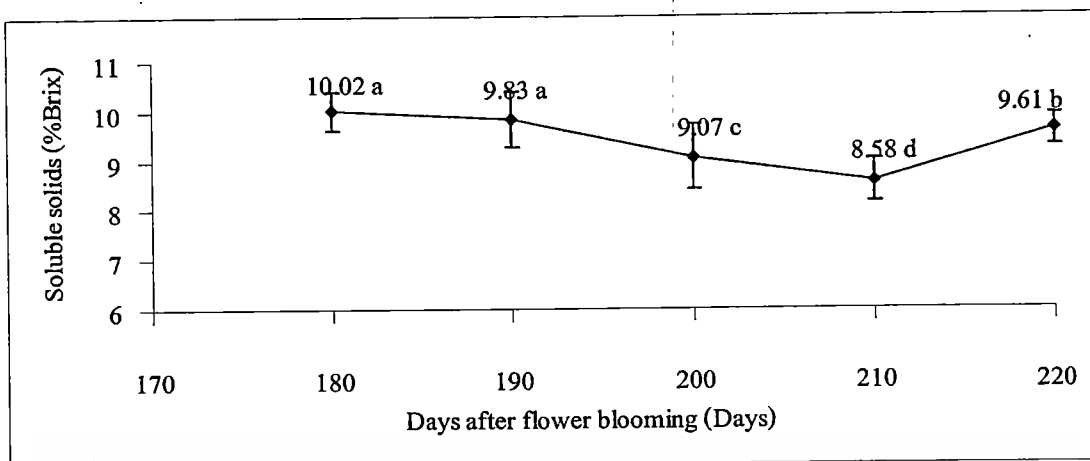
#### 4.2 ผลการตรวจวัดสมบัติทางชีวเคมีของน้ำส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ผลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอ และปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ของน้ำส้มโอของเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ความเบี่ยงมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ โดยวิธี Duncan Multiple Range Test แล้วแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับอายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ดังนี้

##### 4.2.1 ผลการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอแต่ละช่วงอายุการเก็บเกี่ยว

จากภาพที่ 4.12 พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่ 180 และ 190 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  ซึ่งในช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่ 200 และ 210 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  คาดว่าเกิดจากสภาวะอากาศในพื้นที่สวนส้มโอที่มีฝนตกชุก ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอลดลง ต่างกับอายุการเก็บเกี่ยวที่ 220 วัน ซึ่งไม่มีฝนตก ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P>0.05$  โดยผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ นพดล อรุณยะเดช, 2545

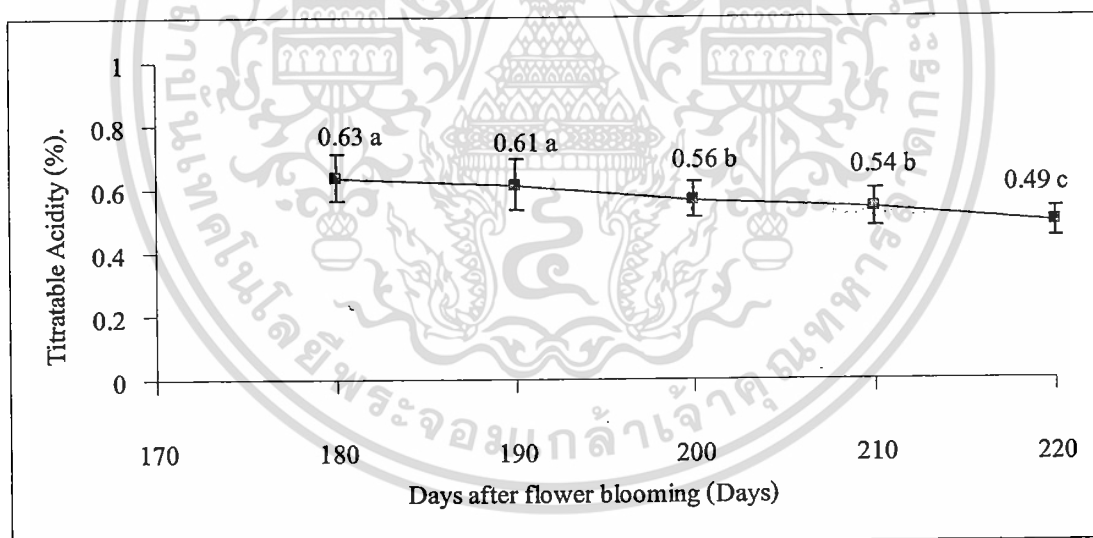
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอตามอายุการเก็บเกี่ยว

#### 4.2.2 ผลการวัดความเป็นกรด

จากปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของน้ำส้มโอแต่ละช่วงอายุการเก็บเกี่ยว แสดงดังภาพที่ 4.13 พบว่าปริมาณกรดลดลงตามอายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P > 0.05$  โดยค่าการลดลงของปริมาณกรดสังเกตเห็นได้ชัดช่วงอายุการเก็บเกี่ยวทุกๆ 20 วัน ได้แก่อายุการเก็บเกี่ยวที่ 180 กับ 200 วัน และ 200 กับ 220 วัน



ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของน้ำส้มโอตามอายุการเก็บเกี่ยว

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม

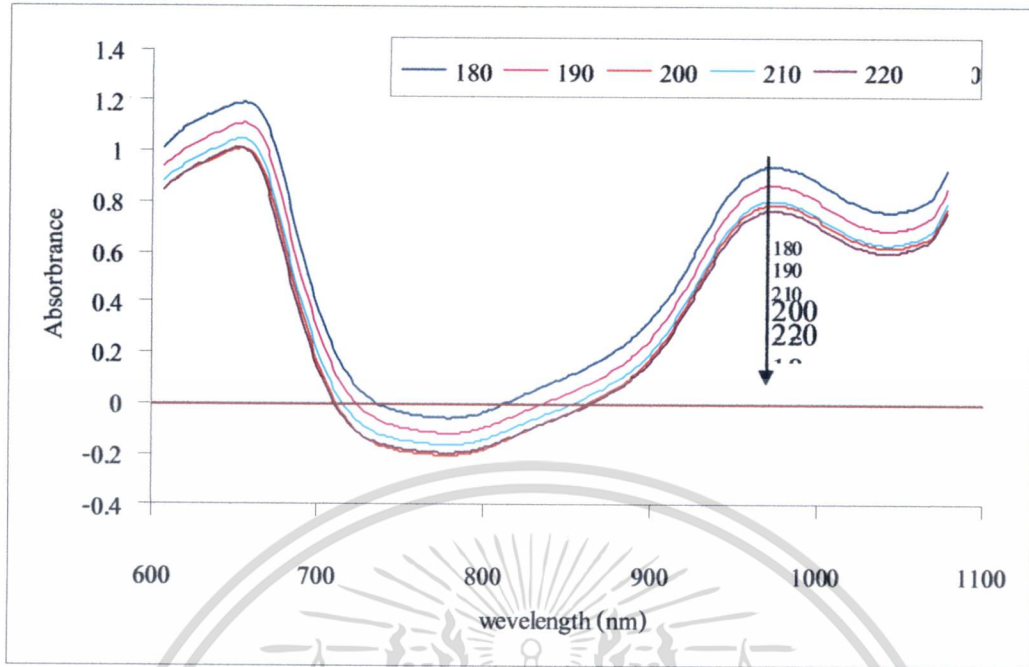
ในการทดลองได้ทำการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงย่าน NIR ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 600 – 1100 nm ด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ในการตรวจวัดคุณภาพจากผิวผล และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยว 180 190 200 210 และ 220 วันหลังจากดอกบาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

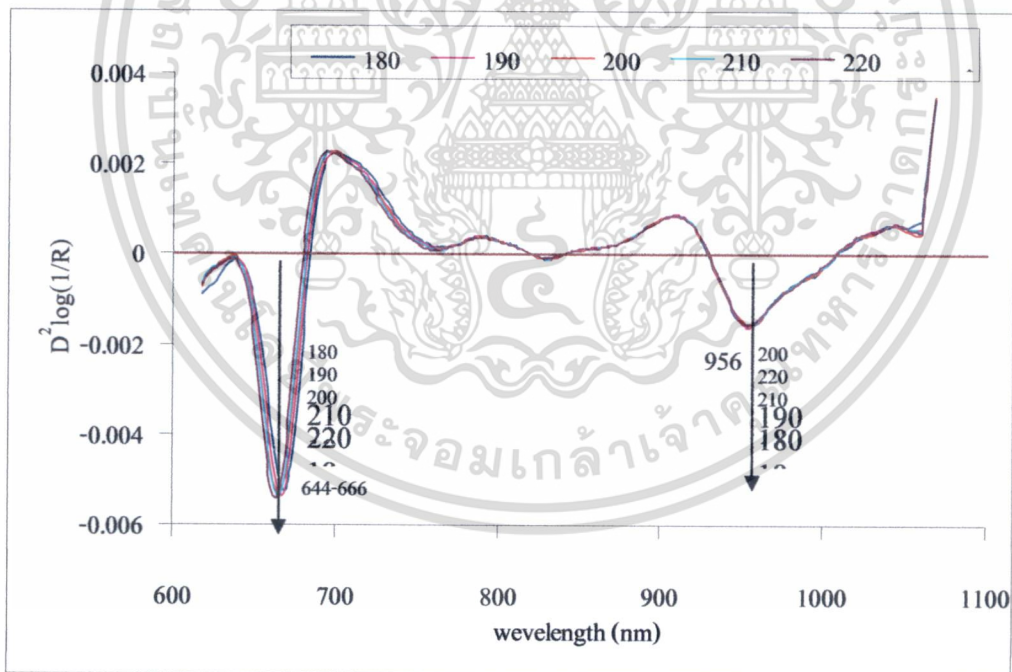
#### 4.3.1. ลักษณะสเปกตรัมของผิวผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

จากการสังเกตสเปกตรัมดั้งเดิมที่เกิดจากการดูดกลืนแสงของผิวผลส้มโอ (ภาพที่ 4.14) พบว่าลักษณะของสเปกตรัมทั้ง 5 อายุการเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มที่เหมือนกัน และค่าการดูดกลืนแสงลดลงเมื่อผลส้มโอมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น ต่างกับอายุการเก็บเกี่ยวที่ 210 วันหลังจากดอกบานที่มีค่าการดูดกลืนแสงมากกว่าอายุการเก็บเกี่ยวที่ 200 วันหลังจากดอกบาน แต่มีค่าการดูดกลืนแสงน้อยกว่าอายุการเก็บเกี่ยวที่ 220 วันหลังดอกบาน ซึ่งสเปกตรัมไม่ปรากฏพีกชัดเจนมากนัก ที่สังเกตได้ช่วงความยาวคลื่น 970 nm คาดว่าเป็นการสั่นเสมือนของพันธะของหมู่ O-H str. ในช่วง second overtone ในโครงสร้างของ ROH, H<sub>2</sub>O (Osborne and Fearn, 1986) เมื่อพิจารณาโครงสร้างทางเคมี อาจจะเป็นพีกของน้ำที่ค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกับการศึกษาในมะเขือเทศ (Khuriyati et al., 2004) ซึ่งเป็นลักษณะพีกที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำจะพบในการศึกษาผลไม้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้ไม่สามารถมองเห็นพีกอื่นได้ชัดเจน (วลัยพร, 2548) นอกจากนั้นช่วงพีกที่ฐานกว้าง (Broad band) ทำให้ไม่สามารถระบุตำแหน่งพีกได้ (อาทิตย์, 2549) โดยก่อนการสร้างสมการ Calibration จำเป็นต้องใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อช่วยในการปรับแต่งสเปกตรัมให้สังเกตพบพีกอื่นๆ ได้ง่ายขึ้น จึงเลือกใช้วิธีการหาอนุพันธ์อันดับที่สอง (second derivative) ซึ่งจะช่วยให้พีกพีกต่างๆ ชัดเจนขึ้น ในขณะที่พีกนั้นยังคงอยู่ที่ความยาวคลื่นเดิมเพียงแต่ค่าการดูดกลืนแสงมีการกลับค่าสลับกันจากค่าลบเป็นค่าบวก และจากค่าบวกเป็นค่าลบ แต่สเปกตรัมที่ได้จะเห็นผลสัญญาณรบกวน (Noise) เป็นพีกเล็กๆ มากขึ้น (อนุพันธ์, 2545)

โดยสเปกตรัมที่ได้จาก Savitzky-Golay second differentiation มี derivative segment 10 และ 20 nm แสดงดังภาพที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ พบว่าปรากฏพีกต่างๆ มากขึ้น โดยสังเกตพบพีกในช่วง 644-66 นาโนเมตร และที่ 956-960 นาโนเมตร ซึ่งอาจเป็นช่วงคลื่นการดูดซับของคลอโรฟิลล์ (Abbott et al., 1997; Chauçhard et al., 2004) และน้ำ (ElMasry et al., 2007)

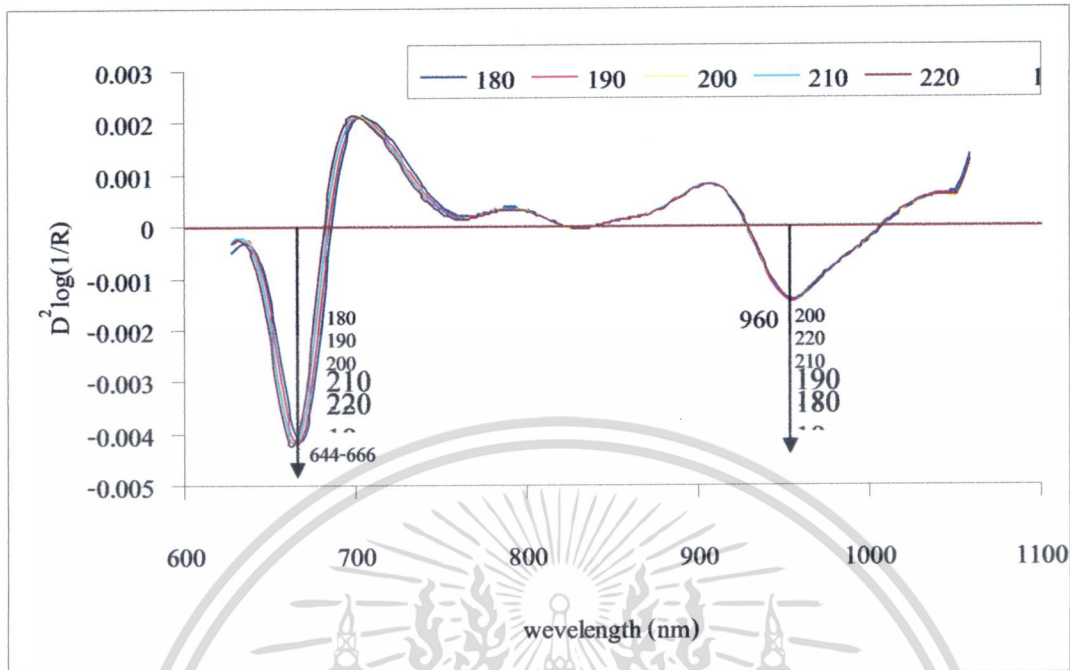


ภาพที่ 4.14 สเปกตรัมดั้งเดิมของผิวผลส้มโอ



ภาพที่ 4.15 สเปกตรัมที่ได้จาก Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm ของผิวผลส้มโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 29  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 สเปกตรัมที่ได้จาก Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm ของผิวผลส้มโอ

#### 4.4 ผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การคัดแยกผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งตามอายุการเก็บเกี่ยว โดยใช้สเปกตรัมในช่วง 633-961 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN วัดผิวเปลือกผล และเนื้อส้มโอ ทั้งหมด 5 อายุการเก็บเกี่ยว ได้แก่ 180 190 200 210 และ 220 วันหลังจากดอกบาน ใช้โมเดลการคัดแยก 2 แบบ คือ Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) และ Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) และสเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น 2 วิธี ได้แก่ 1) Multiplicative Scatter Correction (MSC) 2) Savitzky-Golay second differentiation มีรายละเอียดดังนี้

ผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวส้มโอด้วยความแตกต่างของสเปกตรัม ช่วง 633-961 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง FQA NIR GUN โดยใช้วิธี SIMCA และ PLS-DA มีรายละเอียดดังนี้

##### 4.4.1 ผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมช่วง 633-961 นาโนเมตร ด้วยวิธี SIMCA

ผลการคัดแยกผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน ด้วยวิธี model Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) โดยใช้สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) และ

สเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น 2 วิธี ได้แก่ 1) Multiplicative Scatter Correction (MSC) 2) Savitzky-Golay second differentiation ที่มี 2 derivative segment คือ 10 และ 20 nm โดยเมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องในการคัดแยกด้วยการสร้างวิธีจากสเปกตรัมของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าแบบจำลอง ที่สร้างจากสเปกตรัมของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยว 180 วันหลังดอกบาน สามารถคัดแยกกลุ่มเดียวกัน ได้ถูกต้องสูงสุด รองลงมาเป็น 190, 220, 200 และ 210 วันหลังดอกบาน ตามลำดับ ส่วนแบบจำลอง ที่สร้างจากสเปกตรัมของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยว 220 วันหลังดอกบาน สามารถคัดแยกต่างกลุ่มกัน ได้ถูกต้องสูงสุด รองลงมาเป็น 180, 210, 190 และ 200 วันหลังดอกบาน ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องในการคัดแยกด้วยการสร้างแบบจำลองจากสเปกตรัมของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวตามการจัดการสเปกตรัมด้วยวิธีต่างๆ พบว่า การจัดการสเปกตรัมด้วยวิธีสเปกตรัมดั้งเดิมสามารถคัดแยก ได้ถูกต้องสูงสุด รองลงมา เป็นวิธี MSC, Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm และ Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาความถูกต้องในการคัดแยกกลุ่มเดียวกันนั้น การจัดการสเปกตรัมด้วยวิธี Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm สามารถคัดได้ถูกต้องสูงสุด รองลงมาเป็นวิธี Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm, สเปกตรัมดั้งเดิมและ MSC ตามลำดับ ต่างกับเมื่อพิจารณาความถูกต้องในการคัดแยกต่างกลุ่มกัน การจัดการสเปกตรัมด้วยวิธี สเปกตรัมดั้งเดิมสามารถคัดแยกได้ถูกต้องสูงสุด รองลงมาเป็นวิธี MSC, Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm และ Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm ตามลำดับ

จากผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมช่วง 633-961 นาโนเมตร ด้วยวิธี SIMCA สามารถคัดแยกกลุ่มที่เหมือนกับแบบจำลอง ได้ดีจึงควรใช้แบบจำลองทุกอายุการเก็บเกี่ยวในการคัดแยกกลุ่มเดียวกับแบบจำลองจะให้ผลดีที่สุด

ตารางที่ 4.1 ผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมช่วง 633-961 นาโนเมตร ด้วยวิธี SIMCA

pretreated spectra	maturity group	No. of fruits for prediction	Percentage of correct classification	Model					Self-prediction	Other group prediction
				180	190	200	210	220		
raw spectra	180	180		93.89	66.11	41.11	65.56	67.78	93.89	60.14
	190	165		22.42	90.91	20.61	18.79	26.06	90.91	21.97
	200	150		85.33	56.00	92.00	72.00	76.00	92.00	72.33
	210	150		63.33	12.00	17.33	94.00	16.67	94.00	27.33
	220	150		56.00	26.00	19.33	15.33	94.00	94.00	29.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pretreated spectra	maturity group	No. of fruits for prediction		Model					Self-prediction	Other group prediction
				180	190	200	210	220		
	Total	795	%Correct	64.53	51.57	37.86	52.96	55.97	92.96	42.19
Multiplicative Scatter Correction (MSC)	180	180	Percentage of correct classification	96.11	55.56	41.67	64.44	86.11	96.11	61.94
	190	165		50.30	90.30	11.52	15.15	29.09	90.30	26.52
	200	150		41.33	54.67	91.33	52.00	70.00	91.33	54.50
	210	150		54.00	10.67	20.00	92.67	24.00	92.67	27.17
	220	150		54.00	22.00	23.33	8.67	92.67	92.67	27.00
	Total	795	%Correct	60.38	47.80	37.23	46.67	60.75	92.62	39.43
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm	180	180	Percentage of correct classification	98.33	23.89	37.78	66.67	83.33	98.33	52.92
	190	165		16.36	96.97	9.70	15.76	35.76	96.97	19.39
	200	150		33.33	11.33	94.00	16.67	20.67	94.00	20.50
	210	150		36.67	8.00	8.00	89.33	18.00	89.33	17.67
	220	150		46.00	20.67	7.33	6.00	94.67	94.67	20.00
	Total	795	%Correct	47.55	33.08	31.19	39.50	51.45	94.66	26.10
Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm	180	180	Percentage of correct classification	97.78	37.78	28.89	59.44	89.44	97.78	53.89
	190	165		20.00	97.58	20.61	24.85	41.82	97.58	26.82
	200	150		30.00	14.00	92.67	30.67	28.00	92.67	25.67
	210	150		37.33	5.33	19.33	90.67	24.67	90.67	21.67
	220	150		43.33	16.67	16.00	10.67	94.00	94.00	21.67
	Total	795	%Correct	47.17	35.60	34.97	43.52	56.60	94.54	29.94

#### 4.4.2 ผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมช่วง 633-961 นาโนเมตร ด้วยวิธี PLS-DA

ผลการคัดแยกผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน ด้วยวิธี Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) และสเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น 2 วิธี ได้แก่ 1) Multiplicative Scatter Correction (MSC) 2) Savitzky-Golay second differentiation ที่มี 2 derivative segment คือ 10 และ 20 nm โดยเมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องในการคัดแยกด้วยการสร้างแบบจำลองจากสเปกตรัมของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยว 200 วันหลังดอกบาน สามารถคัดแยกกลุ่มเดียวกันได้ถูกต้องสูงสุด รองลงมาเป็น 180, 220, 190 และ 210 วันหลังดอกบาน ตามลำดับ ส่วนแบบจำลอง ที่สร้างจากสเปกตรัมของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยว 210 วันหลังดอกบาน สามารถคัดแยกต่างกลุ่มกัน ได้ถูกต้องสูงสุด รองลงมาเป็น 190, 180, 200 และ 220 วันหลังดอกบาน ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องในการคัดแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยการสร้างแบบจำลอง จากสเปกตรัมของผลส้มโอที่อายุการเก็บเกี่ยวตามการจัดการสเปกตรัม ด้วยวิธีต่างๆ พบว่า การจัดการสเปกตรัมด้วยวิธี Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm สามารถคัดแยกได้ถูกต้องสูงสุด รองลงมาเป็นวิธี Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm, สเปกตรัมดั้งเดิมและ MSC ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาความถูกต้องในการคัดแยกกลุ่มเดียวกันนั้น การจัดการสเปกตรัมด้วยวิธี วิธี Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm สามารถคัดแยกได้ถูกต้องสูงสุด รองลงมาเป็นวิธี Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm , สเปกตรัมดั้งเดิมและ MSC ตามลำดับ ต่างกับเมื่อพิจารณาความถูกต้องในการคัดแยกต่างกลุ่มกัน การจัดการสเปกตรัมด้วยวิธี Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm สามารถคัดได้ถูกต้องสูงสุด รองลงมาเป็นวิธี Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm, สเปกตรัมดั้งเดิมและ MSC ตามลำดับ

จากผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมช่วง 633-961 นาโนเมตร ด้วยวิธี PLS-DA สามารถคัดแยกต่างกลุ่มว่าไม่ใช่กลุ่มเดียวกับแบบจำลองได้ดีกว่าการคัดแยกกลุ่มเดียวกับแบบจำลอง

ตารางที่ 4.2 ผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมช่วง 633-961 นาโนเมตร ด้วยวิธี PLS-DA

pretreated spectra	maturity group	No. of fruits for prediction		Model					Self-prediction	Other group prediction
				180	190	200	210	220		
raw spectra	180	180	Percentage of correct classification	72.22	99.44	98.33	100.00	100.00	72.22	99.44
	190	165		96.97	18.18	94.55	92.73	94.55	18.18	94.70
	200	150		96.00	100.00	72.00	96.00	80.67	72.00	93.17
	210	150		96.67	89.33	98.67	4.00	90.00	4.00	93.67
	220	150		93.33	97.33	98.00	93.33	23.33	23.33	95.50
	Total	795	%Correct	90.44	80.38	92.58	78.36	78.87	37.95	95.29
Multiplicative Scatter Correction (MSC)	180	180	Percentage of correct classification	47.78	99.44	82.78	100.00	100.00	47.78	95.56
	190	165		95.76	40.61	95.15	96.97	95.15	40.61	95.76
	200	150		93.33	94.67	53.33	97.33	92.00	53.33	94.33
	210	150		98.00	96.00	92.67	0.00	73.33	0.00	90.00
	220	150		100.00	96.67	96.00	100.00	40.00	40.00	98.17
	Total	795	%Correct	85.66	85.16	84.15	80.00	81.13	36.34	94.76
Savitzky-Golay second	180	180	age of correct classification	48.33	96.11	82.78	100.00	100.00	48.33	94.72
	190	165		94.55	24.24	100.00	100.00	96.36	24.24	97.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นับว่าเผยแพร่หาประโยชน์ทางพาณิชย์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pretreated spectra	maturity group	No. of fruits for prediction		Model					Self-prediction	Other group prediction
				180	190	200	210	220		
	200	150		100.00	100.00	86.00	100.00	91.33	86.00	97.83
	210	150		97.33	96.00	100.00	0.00	74.67	0.00	92.00
	220	150		100.00	96.67	99.33	99.33	39.33	39.33	98.83
	Total	795	%Correct	86.67	82.01	93.33	81.01	81.38	39.58	96.22
Savitzky-Golay second differentiation 20 nm segment	180	180	Percentage of correct classification	48.89	98.89	77.78	100.00	100.00	48.89	94.17
	190	165		95.15	26.67	100.00	100.00	96.36	26.67	97.88
	200	150		92.67	99.33	94.67	100.00	88.67	94.67	95.17
	210	150		97.33	99.33	100.00	0.67	74.67	0.67	92.83
	220	150		98.00	95.33	100.00	99.33	34.00	34.00	98.17
	Total	795	%Correct	85.16	83.40	93.96	81.13	79.87	40.98	95.64

จากผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวผลส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมช่วง 633-961 นาโนเมตร การคัดแยกด้วยวิธี SIMCA สามารถคัดแยกกลุ่มเดียวกันได้ดีกว่าการคัดแยกด้วยวิธี PLS-DA แต่การคัดแยกต่างกลุ่มกันการคัดแยกด้วยวิธี PLS-DA สามารถคัดแยกได้ดีกว่าการคัดแยกด้วยวิธี SIMCA

สรุปจากผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอขาวน้ำผึ้ง พบว่าในการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวด้วยสเปกตรัมผิวเปลือกส้มโอที่ความยาวคลื่น 633-961 นาโนเมตร และควรใช้แบบจำลองทุกอายุการเก็บเกี่ยวในการคัดแยกกลุ่มเดียวกับแบบจำลอง โดยการใช้การคัดแยกด้วยวิธี SIMCA ในการคัดแยกกลุ่มเดียวกัน ร่วมกับวิธี PLS-DA ในการคัดแยกต่างกลุ่มกัน ซึ่งสอดคล้องกับการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวเนื้อส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมเนื้อส้มโอที่ช่วง 633-961 นาโนเมตร

#### 4.5 ผลการทำนายสมบัติภายนอกและภายในที่มีการเปลี่ยนแปลงตามอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การสร้างสมการทำนายสมบัติภายนอกและภายในด้วยวิธี Partial least square (PLS) Regression ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 633-961 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง FQA NIR GUN ในการตรวจวัดสเปกตรัมจากผิวผล และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง กับสมบัติที่วัดได้จากส่วนต่างๆของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งในห้องปฏิบัติการคือ ส่วนผลส้มโอ และส่วนเนื้อส้มโอ ทั้ง 5 อายุการเก็บเกี่ยว ได้แก่ 180 190 200 210 และ 220 วันหลังจากดอกบาน โดยใช้สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) และสเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น 2 วิธี ได้แก่ 1) Multiplicative Scatter Correction (MSC) 2) Savitzky-Golay second differentiation ที่มี 2 derivative segment คือ 10 และ 20 nm โดยค่าทางสถิติของชุด Calibration และชุด Prediction จาก

เอกสารนี้เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่อใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองในห้องปฏิบัติการ แสดงดังตารางที่ 4.3 ซึ่งผลการสร้างสมการทำนายค่าความสัมพัทธ์ มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.3 ค่าทางสถิติของสมบัติต่างๆ ผลสัมไอพ่นข้าวน้ำฝิ่งที่ใช้สร้างสมการทำนายค่า

Parameter measured	Calibration set					Prediction set				
	n	max	min	average	SD	n	max	min	average	SD
Soluble solids (%Brix)	146	10.90	7.56	9.47	0.72	56	10.70	7.90	9.39	0.72
Titrateable acidity (%)	146	0.82	0.40	0.57	0.08	56	0.73	0.41	0.57	0.08
Max force (N)	119	3.51	1.04	1.99	0.50	46	2.99	1.13	1.99	0.47
Average firmness (N/mm)	119	2.46	0.62	1.31	0.42	46	1.77	0.57	1.26	0.31
Toughness (N mm)	119	24.56	6.23	13.14	4.21	46	17.73	5.67	12.70	3.14

#### 4.5.2 ผลการสร้างสมการทำนายค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำสัมไอพ่นข้าวน้ำฝิ่ง

ผลการสร้างสมการทำนายค่าความสัมพัทธ์ ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Soluble solid (%brix)) และ ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ (Titrateable acidity (%)) ด้วยวิธี PLS ของเนื้อสัม ไอพ่นข้าวน้ำฝิ่งที่อยู่การเก็บเกี่ยวต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า แบบจำลองที่ทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ถูกพัฒนาแบบจำลองมาจากสเปกตรัม Multiplicative Scatter Correction (MSC) มีค่า correlation coefficient ( $r=0.87$ ) สูงสุดในการทดลอง ซึ่ง  $r$  มีค่าอยู่ช่วง  $\pm 0.81-0.90$  แปลว่าใช้ในการตรวจวัดได้ (Williams, 2007) ส่วนอัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) จากข้อมูลอ้างอิงของชุด prediction ต่อความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error) ของ prediction (ratio of the SEP to the SD=RPD) และ อัตราส่วนของช่วง (Range) ในข้อมูลอ้างอิงจากชุด prediction ต่อความผิดพลาดมาตรฐานของ prediction (ratio of the SEP to the range=RER) ได้ 2.08 และ 8.10 ตามลำดับ ซึ่ง RPD มีค่าอยู่ช่วง 0.0-2.3 แปลว่าแบบจำลองไม่สามารถคัดแยกและไม่สามารถนำไปใช้ได้ ส่วนค่า RER มีค่าอยู่ช่วง 7-12.0 แปลว่าแบบจำลองไม่สามารถคัดแยกได้ดีและการนำไปใช้คร่าวๆ (Williams, 2007) ในเรื่องของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ กระบวนการจัดการสเปกตรัมสามารถทำให้แบบจำลอง มีความแม่นยำมากขึ้น

ส่วนการทำนายค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ โดยแบบจำลอง ถูกพัฒนาจากสเปกตรัมดั้งเดิม ได้ค่า  $r=0.57$  สูงสุดในการทดลอง ซึ่ง  $r$  มีค่าอยู่ช่วง  $\pm 0.51-0.70$  แปลว่ามีความแม่นยำไม่ดี (Williams, 2007) ส่วนค่า RPD=1.14 และ RER=4.75 มีค่าอยู่ช่วง 0.0-2.3 และ น้อยกว่า 6 ตามลำดับ แปลว่าแบบจำลองไม่สามารถคัดแยกและนำไปใช้ไม่ได้ตามลำดับ (Williams, 2007) ในเรื่องของค่าปริมาณกรดที่ไทเตรท กระบวนการจัดการสเปกตรัมไม่สามารถทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่วัดจริง ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ซึ่งถูกพัฒนาแบบจำลองมาจาก MSC และสเปกตรัมแบบดั้งเดิมตามลำดับด้วย PLS regression แสดงดังภาพที่ 4.17 พบว่า ค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างกระจัดกระจายตัวตลอดช่วงของค่าที่ทำนายได้ โดยภาพที่ 4.17 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่วัดจริงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าความแม่นยำในการทำนาย  $r=0.87$  และมีค่าความผิดพลาด (bias) เพียง-0.051 เช่นเดียวกับการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่วัดจริงของปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ ค่าความแม่นยำในการทำนายเพียง  $r=0.57$  แต่มีค่าความผิดพลาด (bias) เพียง 0.003 ดังภาพที่ 4.17 (b) ซึ่งอาจประมาณได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงที่วัดจากเนื้อส้มโอมีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ส่วนกับค่าปริมาณกรดที่ไตรเตรทมีความสัมพันธ์ไม่ค่อยดี

เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดบนพื้นฐานของโมเลกุลจากค่า regression coefficient แสดงดังภาพที่ 4.18 ที่สร้างขึ้นระหว่างค่า regression coefficient กับความยาวคลื่น โดยภาพที่ 4.18 (a) เป็นค่า regression coefficient ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยแบบจำลองถูกพัฒนามาจากสเปกตรัม MSC มีพีคที่สัมพันธ์กับค่าอ้างอิงจำนวนมากปรากฏพีคประมาณตำแหน่งที่ 713 nm (benzene) 740 nm ( $\text{CH}_3$ ) 746 nm ( $\text{CH}_2$ ) 760 nm ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 913 nm ( $\text{CH}_2$ ) 928 nm (oil) และ 970 nm (ROH,  $\text{H}_2\text{O}$ ) nm (Osborne and Fearn, 1986) ส่วนภาพที่ 4.32 (b) เป็นค่า regression coefficient ของปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ปรากฏพีคประมาณตำแหน่งที่ 713 nm (benzene) 760 nm ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 779 nm ( $\text{RNH}_2$ ) 832 nm ( $\text{RNHR}'$ ) 840 nm (benzene) 928 nm (oil) และ 938 nm ( $\text{CH}_2$ ) (Osborne and Fearn, 1986)

ค่า X-loading weight ของ PC (principle component) ต่างๆ ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ แสดงดังภาพที่ 4.19 (a) และ (b) ตามลำดับ โดยยาวคลื่นที่มีค่า X-loading weight ที่สูงแสดงว่าตัวแปรต้นที่ความยาวคลื่นนั้นมีผลต่อแบบจำลองมาก จากภาพที่ 4.19 (a) PC1-PC5 สามารถครอบคลุมความแปรปรวน 79 10 9 1 และ 0 ตามลำดับ เช่นเดียวกับภาพที่ 4.19 (b) PC1-PC3 สามารถครอบคลุมความแปรปรวน 97 3 และ 0 โดยภาพที่ 4.19 (a) ค่า X-loading weight ที่กราฟ PC1 ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้แสดงช่วงคลื่นที่มีผลต่อแบบจำลอง พบว่าช่วงคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลกับแบบจำลองได้แก่ 797 และ 943 nm ส่วน PC2 พบช่วงคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลกับแบบจำลองได้แก่ 763 823-838 906 และ 963 nm ส่วน PC3 พบช่วงคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลกับแบบจำลอง ได้แก่ 759 866 925 939 971 และ 979 nm ส่วน PC4 พบช่วงคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลกับแบบจำลอง ได้แก่ 724 809 870 902 และ 962 nm และ PC5 พบช่วงคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลกับแบบจำลอง ได้แก่ 710 728 756 767 829 884 912 943 และ 973 nm ซึ่งช่วงคลื่นที่มีอิทธิพลกับแบบจำลอง ประมาณตำแหน่งที่ 713 nm (benzene) 738 nm (ROH) 762 nm ( $\text{CH}_2$ ) 760 nm ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 806 nm ( $\text{RNH}_2$ ) 840 nm (benzene) 874 nm (benzene) 900 nm ( $\text{CH}_3$ ) 928 nm (oil) 938 nm ( $\text{CH}_2$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

970 nm (ROH, H<sub>2</sub>O) (Osborn and Fearn, 1986) และ 962 nm (น้ำ) (Saranwong et al., 2003) โดยภาพที่ 4.19 (b) ค่า X-loading weigh ที่กราฟ PC1 ของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ แสดงช่วงคลื่นที่มีอิทธิพลต่อแบบจำลอง พบว่าตลอดทั้งช่วงคลื่นที่มีอิทธิพลกับแบบจำลอง ส่วน PC2 พบช่วงคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลกับแบบจำลอง ได้แก่ 878 nm ส่วน PC3 พบช่วงคลื่นที่ไม่มีอิทธิพลกับแบบจำลอง ได้แก่ 722-742 833 921 และ 961-965 nm ซึ่งช่วงคลื่นที่มีอิทธิพลกับแบบจำลองประมาณตำแหน่งที่ 713 nm (benzene) 738 nm (ROH) 762 nm (CH<sub>2</sub>) 760 nm (H<sub>2</sub>O) 806 nm (RNH<sub>2</sub>) 840 nm (benzene) 874 nm (benzene) 900 nm (CH<sub>3</sub>) 928 nm (oil) 938 nm (CH<sub>2</sub>) 970 nm (ROH, H<sub>2</sub>O) (Osborn and Fearn, 1986) และ 962 nm (น้ำ) (Saranwong et al., 2003)



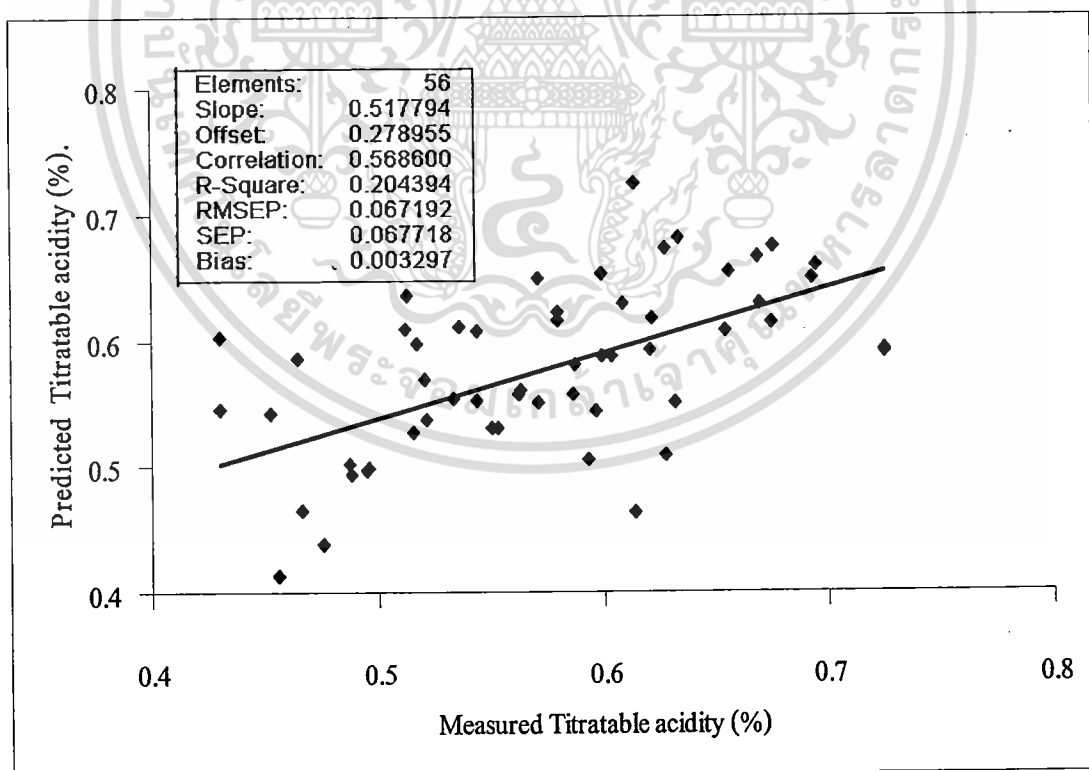
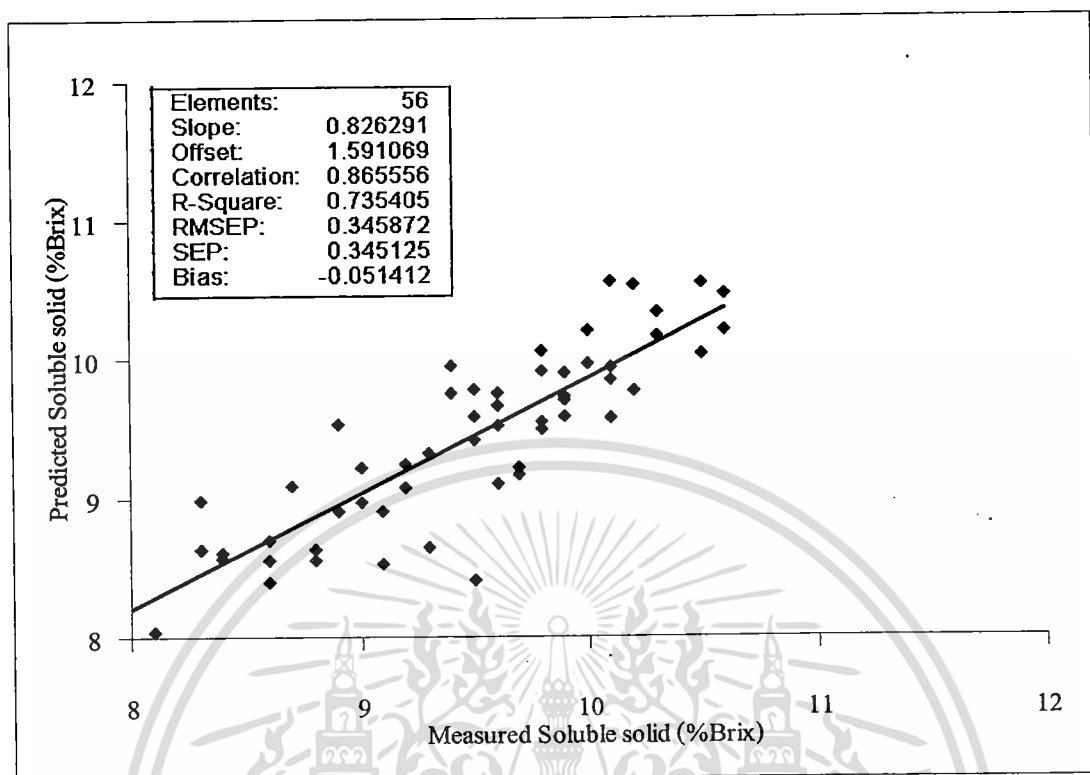
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการสร้างสมการและการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และของปริมาณกรดที่ได้ด้วยวิธี PLS

Parameter measured	Pretreatment	PCs	Calibration			Prediction			RPD	RER (max-min)/SEP
			r	SEC	Bias	r	SEP	Bias		
Soluble solid (%Brix)	Raw spectra	11	0.89	0.33	0.00001302	0.82	0.41	-0.012	1.77	6.89
	Multiplicative Scatter Correction (MSC)	9	0.87	0.37	0.00000222	0.87	0.35	-0.051	2.08	8.09
	Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm	11	0.90	0.32	0.00000032	0.77	0.46	-0.088	1.58	6.14
	Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm	8	0.85	0.38	0.00000076	0.83	0.38	0.005	1.91	7.43
Titratable acidity (%)	Raw spectra	10	0.75	0.06	-0.00000132	0.57	0.07	0.003	1.14	4.75
	Multiplicative Scatter Correction (MSC)	9	0.75	0.06	0.00000082	0.56	0.07	0.003	1.17	4.86
	Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm	10	0.82	0.05	-0.00000001	0.45	0.08	-0.004	0.98	4.05
	Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm	8	0.73	0.06	-0.00000017	0.50	0.07	0.006	1.12	4.63

หมายเหตุ : PC = principle component, r=correlation, SEC= Standard error of Calibration, Bias= error, SEP= Standard error of Prediction,

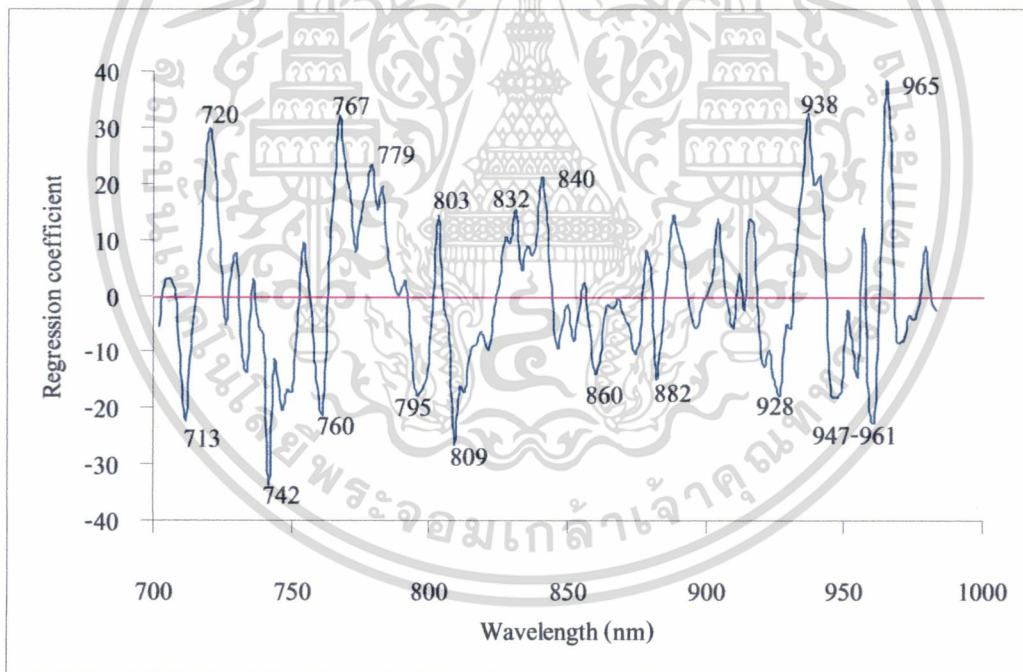
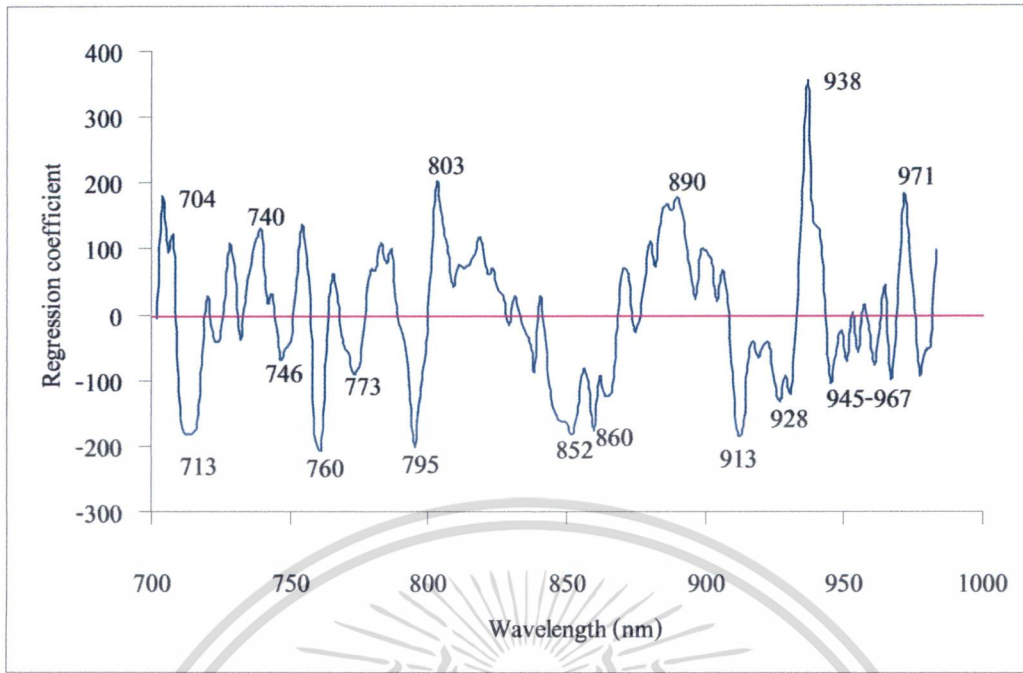
RPD= ratio of the SEP to the SD, RER= ratio of the SEP to the range, SD= Standard deviation



b

ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับค่าที่ทำนาย (a) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

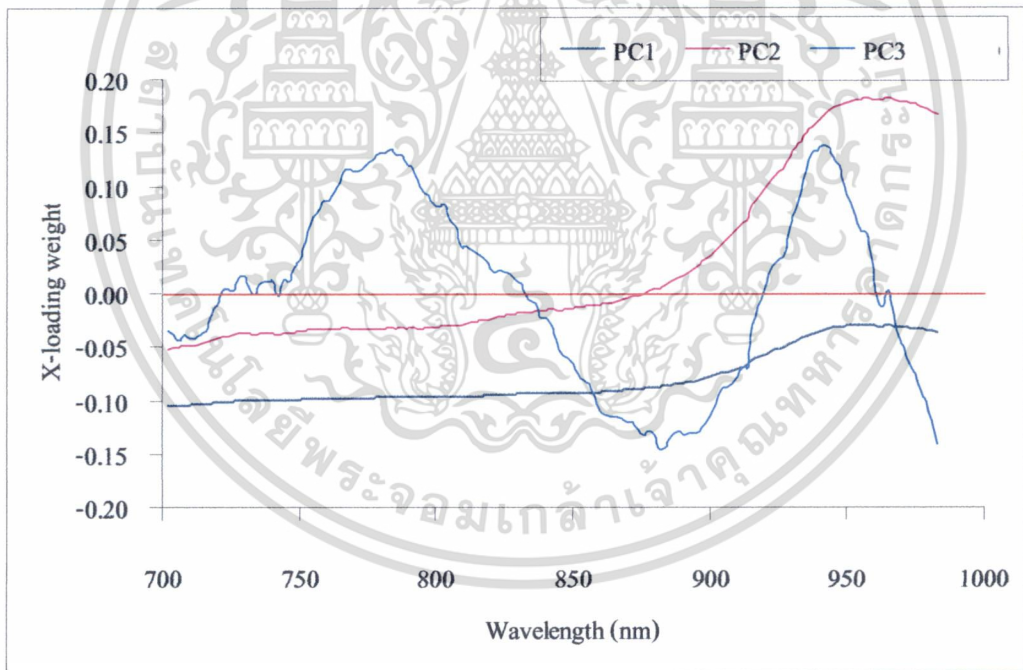
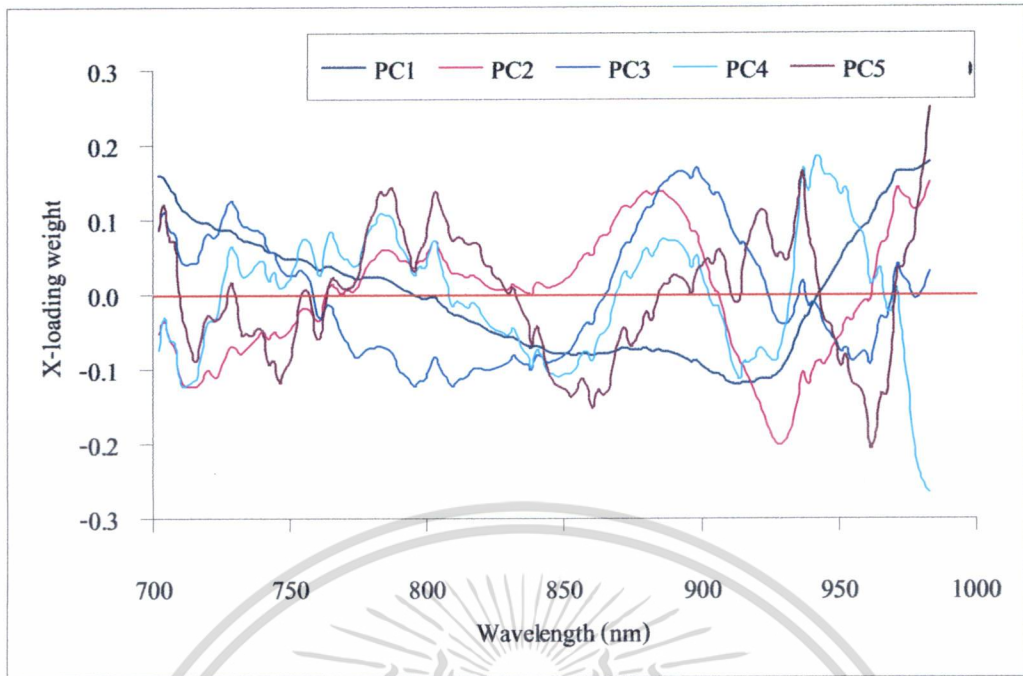
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก และ (b) ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



b

ภาพที่ 4.18 ค่า regression coefficient (a) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ (b) ของปริมาณกรดที่ละลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



b

ภาพที่ 4.19 ค่า X-loading (a) ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ (b) ปริมาณกรดที่ไตรเครทได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.5.3 ผลการสร้างสมการทำนายค่าการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ผลการสร้างสมการทำนายค่าความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับ แรงที่แทงทะลุเปลือก (Max force (N)) ความแน่นเนื้อเฉลี่ย (Average firmness (N/mm)) และความเหนียวของเปลือก (Toughness (N mm)) ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ ด้วยวิธี PLS แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า แบบจำลองที่ทำนายค่าแรงที่แทงทะลุเปลือก ถูกพัฒนาแบบจำลองมาจากสเปกตรัมดั้งเดิมมีค่า correlation coefficient ( $r=0.30$ ) สูงสุดในการทดลอง ซึ่ง  $r$  มีค่าอยู่ช่วงไม่เกิน  $\pm 0.50$  แปลว่าใช้ในการสร้าง calibration ไม่ได้ (Williams, 2007) ส่วนอัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) จากข้อมูลอ้างอิงของชุด prediction ต่อความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error) ของ prediction (ratio of the SEP to the SD=RPD) และ อัตราส่วนของช่วง (Range) ในข้อมูลอ้างอิงจากชุด prediction ต่อความผิดพลาดมาตรฐานของ prediction (ratio of the range to the SEP =RER) ได้ 0.95 และ 3.78 ตามลำดับ ซึ่ง RPD มีค่าอยู่ช่วง 0.0-2.3 แปลว่าแบบจำลอง คัดแยกได้ไม่ดี ส่วนค่า RER มีค่าอยู่ช่วงไม่เกิน 6 แปลว่าแบบจำลองการนำไปใช้ได้ไม่ดี (Williams, 2007) ในเรื่องของค่าแรงที่แทงทะลุเปลือก กระบวนการจัดการสเปกตรัมไม่สามารถทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น

ส่วนการทำนายค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย โดยแบบจำลองถูกพัฒนาจาก Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm ได้ค่า  $r=0.30$  สูงสุดในการทดลอง ซึ่ง  $r$  มีค่าอยู่ช่วงไม่เกิน  $\pm 0.50$  แปลว่าใช้ในการสร้าง calibration ไม่ได้ (Williams, 2007) ส่วนค่า RPD=0.80 และ RER=3.22 มีค่าอยู่ช่วง 0.0-2.3 และ น้อยกว่า 6 ตามลำดับ แปลว่า model คัดแยกได้ไม่ดี และการนำไปใช้ได้ไม่ดี ตามลำดับ (Williams, 2007) ในเรื่องของค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย กระบวนการจัดการสเปกตรัมสามารถทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น

ส่วนการทำนายที่วัดค่าความเหนียวเปลือก โดยแบบจำลองถูกพัฒนาจาก Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm ได้ค่า  $r=-0.05$  สูงสุดในการทดลอง ซึ่ง  $r$  มีค่าอยู่ช่วงไม่เกิน  $\pm 0.50$  แปลว่าใช้ในการสร้าง calibration ไม่ได้ (Williams, 2007) ส่วนค่า RPD=0.81 และ RER=3.13 มีค่าอยู่ช่วง 0.0-2.3 และ น้อยกว่า 6 ตามลำดับ แปลว่า model คัดแยกได้ไม่ดี และการนำไปใช้ได้ไม่ดี ตามลำดับ (Williams, 2007) ในเรื่องของค่าความเหนียวเปลือก กระบวนการจัดการสเปกตรัมสามารถทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น

จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ใช้ยังไม่สามารถทำนายแรงที่แทงทะลุเปลือก ความแน่นเนื้อเฉลี่ย และค่าความเหนียวเปลือกได้

ความสัมพันธ์ ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่วัดจริงของแรงที่แทงทะลุเปลือก ความแน่นเนื้อเฉลี่ย และค่าความเหนียวเปลือกด้วยวิธี PLS regression โดยถูกพัฒนาแบบจำลองมาจากสเปกตรัมดั้งเดิม แสดงดังภาพที่ 4.20 พบว่า ค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างกระจัดกระจายตัวตลอดช่วงของค่าที่ทำนายได้ โดยภาพที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับเป็นเอกสารฉบับราชการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดจริงของแรงที่แทงทะลุเปลือก ค่าความแม่นยำในการทำนาย  $r=0.30$  และมีค่าความผิดพลาด (bias) เพียง 0.027 เช่นเดียวกับการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่วัดจริงของค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย ค่าความแม่นยำในการทำนายเพียง  $r=0.30$  แต่มีค่าความผิดพลาด (bias) 0.665 ดังภาพที่ 4.21 และการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่วัดจริงของค่าความเหนียวเปลือก ดังภาพที่ 4.22 ค่าความแม่นยำในการทำนายเพียง  $r=-0.05$  แต่มีค่าความผิดพลาด (bias) 0.073 ซึ่งอาจประมาณได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงที่วัดจากเนื้อสั่มโอมมีความสัมพันธ์ไม่ค่อยดีกับค่าแรงที่แทงทะลุเปลือก ค่าความแน่นเนื้อเฉลี่ย และค่าความเหนียวเปลือก



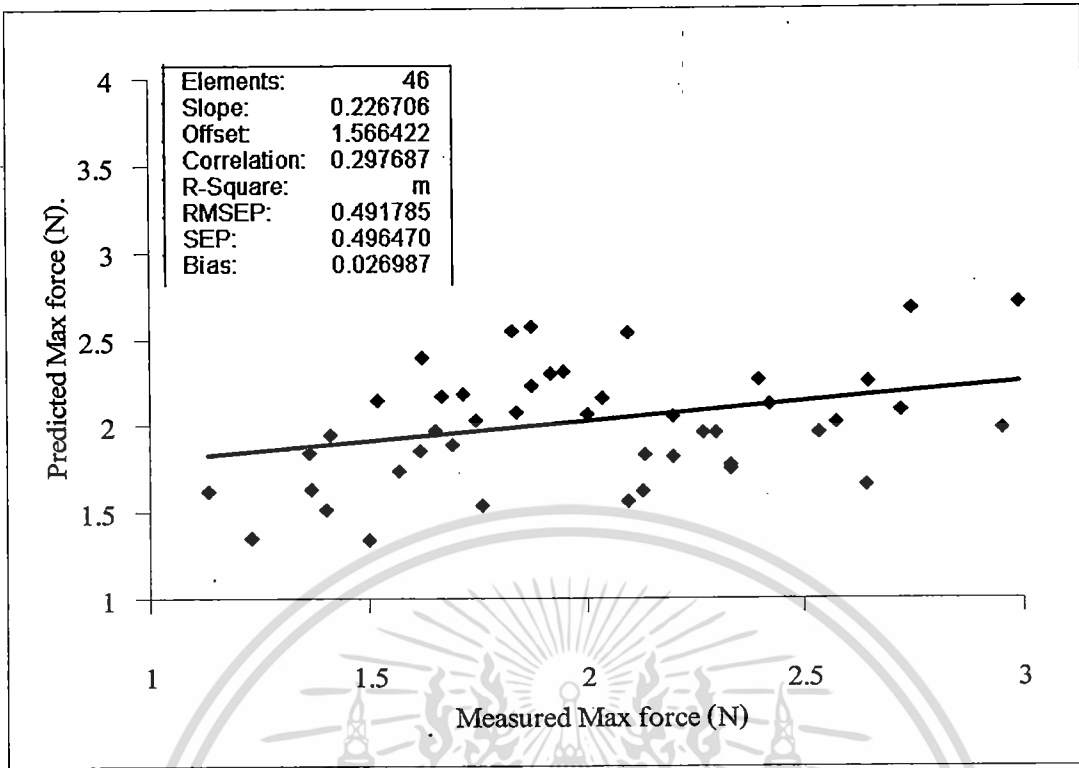
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการสร้งสมการและการทำนายค่าแรงที่ทางทะลุเปลือก ความแม่นยำเหนือเฉลี่ยและความแม่นยำของเปลือก โดยวิธี PLS

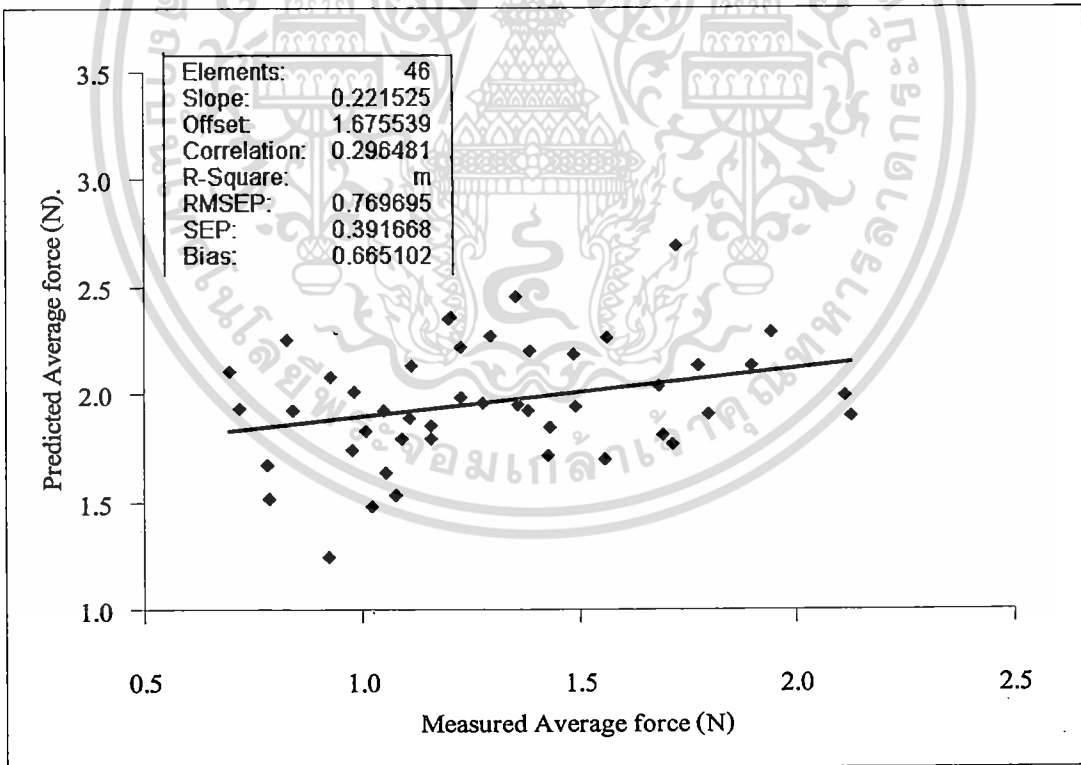
Parameter measured	Pretreatment	PCs	Calibration			Prediction			RPD	RER
			r	SEC	Bias	r	SEP	Bias		
Max force (N)	Raw spectra	7	0.59	0.40	0.00000647	0.30	0.49	0.027	SD/SEP	(mix-min)/SEP
	Multiplicative Scatter Correction (MSC)	9	0.69	0.36	0.00001894	0.18	0.55	-0.031	0.95	3.78
	Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm	6	0.67	0.37	0.00000026	0.22	0.52	-0.013	0.85	3.38
	Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm	8	0.63	0.38	-0.00000048	0.20	0.53	-0.011	0.90	3.59
Average firmness (N/mm)	Raw spectra	1	0.02	0.40	0.00000002	-0.29	0.37	0.002	0.88	3.52
	Multiplicative Scatter Correction (MSC)	1	0.12	0.40	-0.00000001	-0.04	0.37	0.006	0.85	3.26
	Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm	6	0.64	0.39	0.00000021	0.30	0.39	0.665	0.84	3.24
	Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm	1	0.15	0.40	0.00000006	-0.05	0.37	0.005	0.80	3.08
Toughness (Nmm)	Raw spectra	1	0.02	4.02	0.00000043	-0.24	3.69	-0.073	0.84	3.22
	Multiplicative Scatter Correction (MSC)	1	0.12	3.99	0.00000020	-0.06	3.73	-0.038	0.85	3.27
	Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm	1	0.25	3.90	0.00000062	-0.05	3.86	0.073	0.84	3.24
	Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 20 nm	1	0.15	3.98	0.00000081	-0.08	3.76	-0.043	0.81	3.13

หมายเหตุ : PC = principle component, r=correlation, SEC= Standard error of Calibration, Bias= error, SEP= Standard error of Prediction,

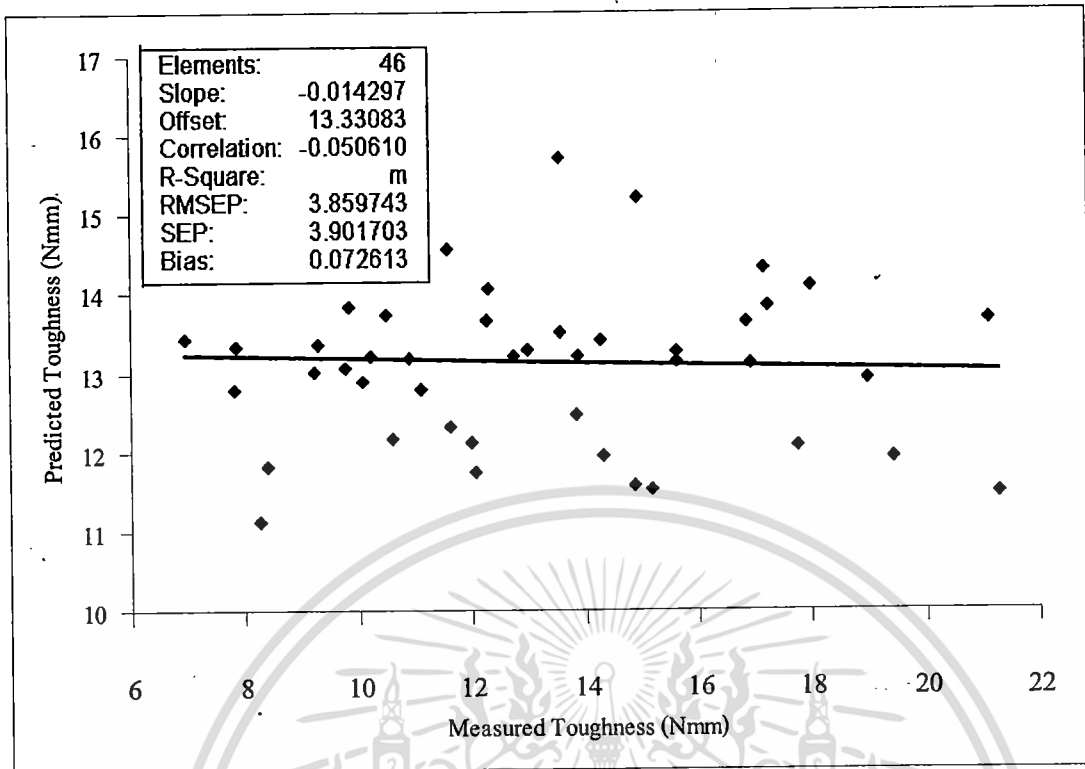
RPD= ratio of the SEP to the SD, RER= ratio of the SEP to the range, SD= Standard deviation



ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับค่าที่ทำนายแรงที่แทงทะลุเปลือก



ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับค่าที่ทำนายความแน่นเนื้อเฉลี่ย



ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับค่าที่ทำนายความเหนียวของเปลือก



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการตรวจวัดสมบัติของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

##### 5.1.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน 5 ระยะ พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric mean diameter : GMD) ผลส้มโอมีขนาดเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $P > 0.05$  ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับน้ำหนัก และปริมาตรของผลส้มโอ แต่ค่าความหนาแน่นของผลส้มโอมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผลส้มโอแสดงค่าสีตามระบบ C.I.E. LAB ผลการทดลองจากค่า  $L^*$  ผลส้มโอมีความสว่างเพิ่มขึ้น ค่า  $a^*$  เป็นค่าติดลบผลส้มโอมีสีเขียวและเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นจะมีค่าลบน้อยลงแสดงว่ามีสีเขียวจางลง และ  $b^*$  มีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยว แสดงว่ามีสีเหลืองเพิ่มขึ้น

##### 5.1.2 ผลการตรวจวัดเนื้อสัมผัสแบบ Puncture test

ผลการตรวจวัดเนื้อสัมผัสแบบ Puncture test โดยค่าความแน่นเนื้อเฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัด ค่า Initial firmness และ Average firmness มีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บเกี่ยว ต่างกับค่าระยะทางการยุบของเปลือกเฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัดค่า Bioyield distance และ Rupture distance มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บเกี่ยว ส่วนค่าแรงที่ใช้ในการกดผลส้มโอเฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัดค่า Bioyield force มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บเกี่ยว แต่ค่า Strength of membrane มีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ค่า Rupture force, Penetrating force in Albedo และ Penetrating force in flesh มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บเกี่ยว ส่วนค่าความเหนียวของเปลือกชั้นนอก เฉพาะตรงจุดที่ตรวจวัดค่า Toughness แนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บเกี่ยว ต่างกับค่า Penetrating energy in Albedo มีแนวโน้มค่อยๆลดลงตลอดอายุการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ค่า Penetrating energy in flesh มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกหลังจากนั้นก็กลับลดลง

##### 5.1.3 ผลการตรวจวัดเนื้อสัมผัสแบบ Plate Compression test

ผลการตรวจวัดเนื้อสัมผัสแบบ Plate Compression test ความแน่นเนื้อ และการดูดซับพลังงานของผลส้มโอทั้งผล ค่า Initial firmness และ Average firmness มีแนวโน้มค่อยๆลดลงตลอดอายุการเก็บเกี่ยว ต่างกับค่า Energy absorption แนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บเกี่ยว ส่วนค่าระดับความยืดหยุ่นและอัตราส่วนการคลายเครียดของผลส้มโอทั้งผล ค่า Degree of elasticity และ Relaxation ratio มีการ

เปลี่ยนแปลงน้อยมาก และค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนรูปร่างของผลส้มโอทั้งผล ค่า Deformation ratio แนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บเกี่ยว

## 5.2 สรุปผลการตรวจวัดสมบัติทางชีวเคมีของเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าลดลงในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 200 และ 210 วัน อาจเกิดจากเป็นช่วงที่มีฝนตกชุก โดยจากการลองชิมปรากฏเนื้อส้มโอมีรสชาติจืดกว่าช่วงแรก แต่ค่าเพิ่มขึ้นหลังฝนทิ้งช่วง ในอายุการเก็บเกี่ยวที่ 220 วัน ทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณกรดมีค่าลดลงตามอายุการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น

## 5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม

### 5.3.1. ลักษณะสเปกตรัม ของผิวผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

จากการสังเกตสเปกตรัมดั้งเดิมที่เกิดจากการดูดกลืนแสงของผิวผลส้มโอมีลักษณะของสเปกตรัมทั้ง 5 อายุการเก็บเกี่ยว มีความยาวคลื่นที่มีการดูดซับคลื่นมากที่สุดที่ 970 nm โดยการสร้างสมการ Calibration จำเป็นต้องใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้ Savitzky-Golay second differentiation ที่มี derivative segment 10 และ 20 nm ทำให้ปรากฏพีคต่างๆ มากขึ้น ซึ่งมีการขยับตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีการดูดซับคลื่นมากเป็น 965 และ 960 nm ตามลำดับ

### 5.4 สรุปผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัม

จากผลการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พบว่าในการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวด้วยสเปกตรัมผิวเปลือกส้มโอที่ความยาวคลื่น 633-961 นาโนเมตร และควรใช้แบบจำลองทุกอายุการเก็บเกี่ยวในการคัดแยกกลุ่มเดียวกับแบบจำลอง โดยการใช้การคัดแยกด้วยวิธี SIMCA ในการคัดแยกกลุ่มเดียวกันร่วมกับวิธี PLS-DA ในการคัดแยกต่างกลุ่มกัน ซึ่งสอดคล้องกับการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวเนื้อส้มโอขาวน้ำผึ้งด้วยสเปกตรัมเนื้อส้มโอในช่วง 633-961 นาโนเมตร

### 5.5 สรุปผลการสร้างสมการทำนายค่าการเปลี่ยนแปลงตามอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

การสร้างสมการทำนายค่าความสัมพันธ์ด้วย Partial least square (PLS) ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงย่าน NIR ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 633-961 นาโนเมตร ของผิวผล และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง กับค่าสมบัติทางกายภาพและชีวเคมีวัดผล และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งในห้องปฏิบัติการ ทั้ง 5 อายุการเก็บเกี่ยว โดยใช้สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) และสเปกตรัมที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น 2 วิธี ได้แก่ 1)

Multiplicative Scatter Correction (MSC) และ 2) Savitzky-Golay second differentiation ที่มี 2 derivative segment คือ 10 และ 20 nm

### 5.5.1 ผลการสร้างสมการทำนายค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ผลการสร้างสมการทำนายค่าความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยถูกพัฒนาแบบจำลองมาจาก Multiplicative Scatter Correction (MSC) มีค่า correlation coefficient ( $r=0.87$ ) สูงสุด ส่วนค่า RPD และ ค่า RER ได้ 2.08 และ 8.10 ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการจัดการสเปกตรัมสามารถทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น ส่วนกับค่าปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ โดยแบบจำลองถูกพัฒนาจากสเปกตรัมดั้งเดิมได้ค่า  $r=0.57$  สูงสุดในการทดลอง ส่วนค่า RPD และ ค่า RER ได้ 1.14 และ 4.75 ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการจัดการสเปกตรัมดั้งเดิมไม่สามารถทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น โดยสรุปว่าวิธีการทำนายที่ใช้ยังไม่สามารถทำนายได้แม่นยำ ซึ่งใช้ประมาณค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ได้ แต่ยังไม่สามารถใช้ทำนายปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้

### 5.5.2 ผลการสร้างสมการทำนายค่าการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ผลการสร้างสมการทำนายค่าความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับ ค่าแรงที่แทงทะลุเปลือก โดยถูกพัฒนาแบบจำลองมาจากสเปกตรัมดั้งเดิมมีค่า correlation coefficient ( $r=0.30$ ) สูงสุด และค่า RPD และ ค่า RER ได้ 0.95 และ 3.78 ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการจัดการสเปกตรัมไม่สามารถทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น ส่วนค่ากับความแน่นเนื้อเฉลี่ย โดยแบบจำลองถูกพัฒนาจาก Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm ได้ค่า  $r=0.30$  สูงสุด และค่า RPD และ ค่า RER ได้ 0.80 และ 3.22 ตามลำดับ และค่าความเหนียวของเปลือกชั้นนอก โดยแบบจำลองถูกพัฒนาจาก Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm ได้ค่า  $r=-0.05$  สูงสุด และค่า RPD และ ค่า RER ได้ 0.81 และ 3.13 ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการจัดการสเปกตรัมทำให้แบบจำลองแม่นยำมากขึ้น โดยสรุปว่าวิธีการทำนายที่ใช้ไม่สามารถทำนายได้ แสดงมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

### 5.6 ข้อเสนอแนะ

1. การผูกปายชื่อวันดอกบานเพื่อสำหรับนับอายุการเก็บเกี่ยวส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งควรผูกจำนวนมากๆ เพราะอัตราการร่วงหล่นของผลอ่อนมีสูงมาก
2. การนำโมเดลไปประยุกต์ใช้ในการคัดแยกควรทำการศึกษาซ้ำในฤดูกาลถัดไปเพื่อให้ผลการทดลองครอบคลุม และอาจทำให้ความแม่นยำในการทดสอบสูงขึ้น
3. การนำโมเดลเพื่อทำนายค่าควรวางวิธีการจัดการสเปกตรัมอื่นๆ ที่อาจทำให้ค่าความแม่นยำของโมเดลสูงขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549. ส้มโอ. <http://www.doae.go.th/plant/pumelo.htm>.

กรมส่งเสริมการส่งออก, 2554. EXPORT OF THAILAND CLASSIFIED BY COMMODITY, Jan. -

Dec. 2010, 08054000 (KG) GRAPEFRUIT, FRESH OR DRIED

[http://www.ops3.moc.go.th/infor/HS/export/export\\_commodity/report.asp](http://www.ops3.moc.go.th/infor/HS/export/export_commodity/report.asp)

นพดล อรุณยะเดชะ. 2545 “การวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มคอปันธุ์ชาวน้ำผึ้งโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ”. วิทยานิพนธ์  
วิศวกรรมศาสตร์ มหบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัลย์พร เตียประสิทธิ์. 2548. “การทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณกรดทั้งหมดของ  
ชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เพชรสามพราน และทุลเกล้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์  
มหบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิทยา บัวเจริญ. 2546. คุณภาพไม้ผลของประเทศไทย. ใน รวบรวมบทความคุณภาพและมาตรฐานทางการเกษตร.  
กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หน้า 31-  
35.

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

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2545. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้า  
ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร  
และอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 67-86.

อาทิตย์ พวงสมบัติ. 2549. “การตรวจสอบคุณภาพภายในผลแก้วมังกรด้วยเทคนิค Near Infrared spectroscopy.” วิทยานิพนธ์  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abbott, J. A., Lu, R., Upchurch, B. L., & Stroshine, R.L. 1997. Technologies for non-destructive quality  
evaluation of fruits and vegetables. In Horticultural reviews — Technologies for nondestructive quality  
evaluation of fruits and vegetables, 20, 1–120. John Wiley & Sons, Inc.

Abebe A.T., 2006. Short communication: Total sugar and maturity evaluation of intact watermelon using  
near infrared spectroscopy. J. Near Infrared Spectroscopy 14, 67-70.

Arana, I., JarAcn, C., Arazuri, S., 2005. Maturity, variety and origin determination in white grapes (*Vitis*  
*Vinifera* L.) using near infrared reflectance technology. J. Near Infrared Spectroscopy 13, 349-357

Cayuela, J.A., 2008. Vis/NIR soluble solids prediction in intact oranges (*Citrus sinensis* L.) cv. Valencia  
Late by reflectance. Postharvest Biology and Technology, 47,(1), 75-80.

- Chauchard, F., Cogdill, R., Roussel, S., Roger, J. M., & Bellon-Maurel, V. 2004. Application of LS-SVM to non-linear phenomena in NIR spectroscopy: development of a robust and portable sensor for acidity prediction in grapes. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 71, 141-150.
- ElMasry, G., Wang, N., ElSayed, A., & Ngadi, M. 2007. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. *Journal of Food Engineering*, 81, 98-107.
- Gómez, A.H., He, Y., Pereira, A. G., 2006. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *J. Food Engineering* 77, 313-319.
- Greensill, C.V., Newman D.S., 1999. An investigation into the determination of the maturity of pawpaws (*Carica papaya*) from NIR transmission spectra. *J. Near Infrared Spectroscopy* 7, 109-116.
- Kawano, S., Fujiwara, T., Iwamoto, M., 1993. Nondestructive determination of sugar content in satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance. *J. Japanese Society of Horticultural Science* 62 (2) 465-470.
- Khuriyati, N. Matsuoka T. and Kawano, S.. 2004. Precise near infrared spectral acquisition of intact tomatoes in interactance mode. *J. Near Infrared Spectrosc.* 12, pp. 391-395.
- Kim, G., Lee K., Choi, K., Son, J., Choi, D., Kang, S., 2004. Defect and ripeness inspection of citrus using NIR transmission spectrum. *Advances in Nondestructive Evaluation, PT 1-3 Key Engineering Materials* 270-273: 1008-1013.
- Lee K., Kim, G., Kang, S., Son, J., Choi, D., Choi, K., 2004. Measurement of sugar contents in citrus using near infrared transmittance. *Advances in Nondestructive Evaluation, PT 1-3 Key Engineering Materials* 270-273: 1014-1019.
- Lu H., Ying, Y., Jiang, H., Liu, Y., Fu, X., Jianping W., 2005. Application Fourier Transform near infrared spectrometer in rapid estimation of soluble solids content of intact citrus fruits. Paper number 053042, 2005 ASAE Annual meeting. American society of agricultural and biological engineers, St. Joseph, MI 49085, USA.
- McGlone, V.A., Fraser D.G., Jordan R.B., Kunemeyer R., 2003. Internal quality assessment of mandarin fruit by vis/NIR spectroscopy.
- Osborne, B. G, and T. Fearn. 1986. *Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis*. Longmont science & Technology. U.S.A. pp. 200.

Saranwong, S., Somsrivichai, J., Kawano, S., 2003. On-tree evaluation of harvesting quality of mango fruit using a hand-held NIR instrument. *J. Near Infrared Spectroscopy* 11, 283-293.

Williams, P. 2007. "Near-infrared Technology – Getting the best out of light". Edition 5.0. A short course in the practical implementation of near-infrared spectroscopy for the user. PDK Grain, Nanaimo, Canada.



## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

### ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล น.ส. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

เพศ  ชาย  หญิง      วันเดือนปีเกิด 3 กันยายน 2501 อายุ 54 ปี

สถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

### ประวัติการศึกษา

ชื่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	พ.ศ.2523
M.Eng.	Farm machinery and management	Asian Institute of Technology (Thailand)	พ.ศ. 2527
Ph.D.	Agric. Science	United Graduate School of Kagoshima University (Saga University), Japan.	พ.ศ.2544

### สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของวัสดุเกษตรและอาหาร  
 สมบัติทางเนื้อสัมผัสของวัสดุเกษตรและอาหาร  
 การตรวจสอบคุณภาพของวัสดุเกษตรและอาหาร โดยใช้ Near Infrared Spectroscopy  
 เทคโนโลยีการขนถ่ายวัสดุ

### รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2552	รางวัลงานวิจัยคุณภาพในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6 ประจำปี 2552 สาขาวิศวกรรมศาสตร์ ระดับดีเด่น	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

### ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษา	สถาบันที่ให้
1982-1984	USAID scholarship to do M.Eng. in Asian Institute of Technology, Thailand.	USAID, USA
1997-2001	Royal Thai Government scholarship to pursue Ph.D. degree in Japan.	Royal Thai Government

### ทุนวิจัยที่เคยได้รับ

1. โครงการ เครื่องเกี่ยวนวดข้าวเหลือง (ทุนวิจัยกระทรวงวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม)
2. โครงการ เครื่องคัดแยกข้าวเหลืองฝักสด (ทุนวิจัยเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.)
3. โครงการ การศึกษาสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีการส่งออก (ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินโดยพิจารณาโครงการ โดยสภาวิจัย 496,280 บาท)
4. โครงการ เครื่องทำน้ำกะทิเข้มข้นแบบที่ระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 147,000 บาท ปี 2549)
5. โครงการ การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็ก (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 152,500 บาท ปี 2550)
6. โครงการ การออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 67,060 บาท ปี 2551)
7. การประเมินดัชนีคุณภาพภายในและภายนอกของส้มโอเพื่อการส่งออกที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ กันด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 200,000 บาท ปี 2551)
8. โครงการ เครื่องทำแห้งเนื้อมะพร้าวชุดด้วยความดันสูญญากาศเพื่อการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 100,000 บาท ปี 2552)
9. โครงการ การวิเคราะห์ค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งและความหนืดของน้ำยางข้น สำหรับห้องปฏิบัติการในโรงงานด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม ในโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา ปี 2552 132,000 บาท)
10. โครงการ เครื่องทำแห้งเนื้อมะพร้าวชุดด้วยความดันสูญญากาศร่วมกับคลื่นอินฟราเรดเพื่อการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 59,000 บาท ปี 2553)

11. โครงการการวิเคราะห์ปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางสดและน้ำยางข้นโดยการวัดที่ต้นยางพารา โดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2553-2554 โดยพิจารณาโครงการโดยสภาวิจัย 551,200 บาทและ สกอ. 192,800บาท)
12. โครงการการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนในเนื้อแดงโมด้วยเทคนิคที่ไม่ทำลายด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2554 โดยพิจารณาโครงการโดยสภาวิจัย 242,500บาท)
13. โครงการการพัฒนาเทคนิคมาตรฐานการวัดเนื้อสัมผัสข้าวสอยเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมผลิตข้าวสารและข้าวแปรรูป (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 72,000 บาท ปี 2554)
14. โครงการการตรวจสอบคุณภาพของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง โดยวิธีแบบไม่ทำลาย ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 72,000 บาท ปี 2554)
15. โครงการเครื่องกะเทาะเปลือกผลและเปลือกเมล็ดสับดูดำ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 72,000 บาท ปี 2554)
16. โครงการการวิเคราะห์สารแกมมาอะมิโนบิวทีริกแอซิดหรือสารกาบาในข้าวกล้องงอกด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2555 โดยพิจารณาโครงการโดยสภาวิจัย 1,207,000บาท)

#### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

#### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ).....

1. **Panmanas Sirisomboon:** Estimation of higher heating value of biomass in tropical regions, *J. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America.* 22 (2): 81-84 (1991)
2. Pisanu Sirivanichwong, Rachan Pullkit, **Panmanas Sirisomboon** and Pichit Kittinont: A design of orange juice extractor, *Ladkrabang Engineering J.* 13 (1):143-147 (1996) (in Thai)
3. **Panmanas Sirisomboon,** Munehiro Tanaka, Takayoshi Akinaga and Takayuki Kojima: Evaluation of the texture properties of Japanese pear, *J. Texture Studies* 31: 665-677 (2000) (be cited by Thompson A.K.: Fruit ripening conditions. In *Fruit and vegetables- harvesting, handling and storage.* 2<sup>nd</sup> editions. Blackwell Publishing. UK p. 88 (2003))
4. **Panmanas Sirisomboon,** Munehiro Tanaka, Shuji Fujita and Takayuki Kojima: Relationship between the texture and pectin constituents of Japanese pear, *J. Texture Studies* 31: 679-690. (2000)
5. **Panmanas Sirisomboon,** Munehiro Tanaka, Shuji Fujita, Takayoshi Akinaga and

- Takayuki Kojima: A simplified method for the determination of total oxalate soluble pectin content in Japanese pear, *J. Food Composition and Analysis* 14: 83-91 (2001)
6. **Panmanas Sirisomboon**, Supasomboon Ungratanakorn, Danai Panchapitayakul: Agricultural Mechanization in Mango Orchard, *King Mongkut's Agricultural Journal* 23(3): 28-40 (2005) (in Thai)
  7. **Panmanas Sirisomboon**, Munehiro Tanaka, Shuji Fujita, Takayuki Kojima: Evaluation of pectin constituents of Japanese pear by near infrared spectroscopy, *J. Food Engineering* 78(2): 701-707 (2007)
  8. **Panmanas Sirisomboon**, Pimpun Pornchaloeampong and Teeranud Romphopk: Physical properties of green soybean: Criteria for sorting, *J. Food Engineering* 79: 18-22 (2007)
  9. **P. Sirisomboon**, P. Kitchaiya, T. Pholpho and W. Mahuttanyavanitch: Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels, *Biosystems Engineering*, 97: 201-207 (2007).
  10. **Sirisomboon, P.**, Boonmung, S., Pornchaloempong P., and Pithuncharunlap, M. A Preliminary Study on Classification of Mango Maturity by Compression Test. *International Journal of Food Properties*, 11: 206-212 (2008)
  11. **P. Sirisomboon**, P. Kitchaiya, Physical properties of *Jatropha curcas* L. kernels after heat treatments. *Biosystems Engineering*, 102 (2), 244-250 (2009)
  12. **Panmanas Sirisomboon**, Yuki Hashimoto, Munehiro Tanaka. Study on non-destructive evaluation methods for defect pods for green soybean processing by near-infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 93 (4), 502-512 (2009)
  13. **P. Sirisomboon**, P. Pornchaloempong. Instrumental textural properties of mango (cv Nam Doc mai) at commercial harvesting time. *International Journal of Food Properties*, 14, 441-449 (2011).
  14. T. Pholpho, S. Pathaveerat, **P. Sirisomboon**, Classification of longan fruit bruising using visible spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 104 (1), 169-172 (2011).
  15. Areerat Imsil, Ronnarit Rittiron, Panmanas Sirisomboon and Varipat Areekul, Classification of Hom Mali rice with different degrees of milling based on physicochemical measurements by principal component analysis. *Kasetsart Journal: Natural Science*, 45(5), 863-873 (2011).
  16. Panmanas Sirisomboon, Rawiphan Chawbankrang and Apidul Keawkuptong, Evaluation of viscosity and dry rubber content of field and concentrated latex for factory laboratory by near infrared spectroscopy. *Research on NR*, 6, 297-308 (2011).
  17. **P. Sirisomboon** and C. Theamprateep, Physicochemical and Textural Properties of Pomelo (*Citrus maxima* Merr. cv. Kao Num Peung) at Preharvest, Postharvest and During the Commercial Harvest Period. *The Philippine Agricultural Scientist*, 95 (1), 43-52 (2012).
  18. **P. Sirisomboon**, R. Lapchareonsuk, Evaluation of the physicochemical and texture properties of pomelo fruit following storage. *Fruits*, 67 (6) inpress.

19. Panmanas Sirisomboon, Rawiphan Chowbankrang, Phil Williams, Evaluation of apparent viscosity of Para rubber latex by diffuse reflection near infrared spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 66(5), 595-599 (2012).
20. Panmanas Sirisomboon, Munehiro Tanaka, Takayuki Kojima, Evaluation of tomato textural mechanical properties. *Journal of Food Engineering*, 111(4), 618-624, 2012.
21. Pornchaloempong, P., Sirisomboon, P., Nunak, N. Mass-volume-area properties of frozen Skipjack tuna. *International Journal of Food Properties*, 15(3), 605-612, 2012.
22. Panmanas Sirisomboon, Munehiro Tanaka, Takayuki Kojima, Phil Williams, Nondestructive Estimation of Maturity and Textural Properties on Tomato 'Momotaro' by Near Infrared Spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 112(3), 218-226, 2012.

#### การเสนอผลงานวิชาการ

1. **Panmanas Sirisomboon**: Status of Agricultural Machinery Factories in Thailand. Proceedings of the Third International Seminar on Evaluation of Farm Tools and Appropriate Technology in Southeast Asia, 1-2 August 1989. Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
2. **Panmanas Sirisomboon** and Toshio Iijima: Gaseous Fuel from Biomass Pyrolysis: Corn Cob and Water Hyacinth. Proceedings of the Forth Mechanical Engineering and New Industrial Countries, 17-18 May 1990. King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand. (in Thai).
3. Taksila Usuwon, Virat Lagdang, Saksit Prasartkaew and **Panmanas Sirisomboon**: Biomass Furnace with Heat Exchanger Chamber. Proceedings of the Fifth Royal Thai Engineering Society (Northeastern Branch) Seminar on Technology of Rural Development, 16-17 August 1990. Faculty of Engineering, Koen Kaen University, Koen Kaen, Thailand. (in Thai).
4. **Panmanas Sirisomboon**, Wanna Tungcharoenchai and Rungsan Nochai: Design of Soybean Harvester Header using Two Wheel Tractor as a Prime Mover. Proceedings of meeting on Agricultural Engineering Research, May 18-20, 1994. National Agricultural Machinery Center, Kasetsart University, Kampangsan Campus, Nakornpathom, Thailand (in Thai).
5. **Panmanas Sirisomboon**, Munehiro Tanaka, Shuji Fujita, Takayoshi Akinaga and Takayuki Kojima: The relationship between the texture and pectin constituents of Japanese pear, 54<sup>th</sup> Kyushu Branch of Japanese Society of Agricultural Machinery, September 17-18, 1998, Yoshizuka Goudo Chousha, Fukuoka, Japan.
6. **Panmanas Sirisomboon**, Teeranud Romphopaj and Pimpen Pornchaloempong: Green soybean grader, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Thai Society of Agricultural Engineering annual meeting -Agricultural Engineering and Local Intellectual Development- May 23-24 2002, Imperial Mae Ping Hotel, Chiang Mai, Thailand. (in Thai).
7. Chanchai Rojanasaroj, **Panmanas Sirisomboon**, Rungsan Nochai, Wanna Tangjaroenchai: Small Soybean Harvester Implementing a Two-wheel Tractor, Electronic-only Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting and Processing, 9-

- 11 February 2003, Louisville, Kentucky, USA.
8. **Panmanas Sirisomboon**, Teeranud Romphophaj and Pimpem Pornchaloempong: Physical Properties of Green soybean, Proceedings of the 5<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering annual meeting –Innovation in Agricultural Engineering for Increasing Productivity- April 26-27, 2004, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand. p. 360-367. (in Thai).
  9. **Panmanas Sirisomboon**, Pimpem Pornchaloempong and Teeranud Romphophak, 2005. Physical properties of green soybean: Criteria for sorting, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Innovations in food processing technology and engineering. 11-13 January 2005. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
  10. **Panmanas Sirisomboon** and Supasomboon Unratanakorn, 2005. Agricultural Mechanization in Mango Orchard, Proceedings of the 6<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering annual meeting -Toward Kitchen of the World by Agricultural Engineering- March 30-31, 2005, Miracle Grand Hotel, Bangkok, Thailand. (in Thai).
  11. Panitnat Yimyam, Thanarat Chalidabhongse, **Panmanas Sirisomboon** and Suwanee Boonmung, 2005. Physical Properties Analysis of Mango using Computer Vision, Proceedings of the International Conference on Control, Automation, and Systems (ICCAS 2005) June 2-5, 2005, KINTEX (Korea International Exhibition Center) The Province of Gyeonggi, Korea. (Best Presentation Award)
  12. **Panmanas Sirisomboon**, Supasomboon Ungratanakorn, Danai Panchapitayakul, 2006. Tiredness in Using of Agricultural Machinery and Equipment in Mango Orchard, Proceedings of the 7<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering annual meeting – Researches for increasing the potential of Thai agricultural goods in world market- January 23-24, 2006, Faculty of Engineering, Mahasarakam University, Mahasarakam, Thailand. P. 32-38 (in Thai).
  13. Thanarat H Chalidabhongse, Pannitnat Yimyam, **Panmanas Sirisomboon**, 2006. 2D/3D Vision-Based Mango's Feature Extraction and Sorting, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV 2006), December 5-8, 2006, Grand Hyatt, Singapore.
  14. **Panmanas Sirisomboon**, Vasu Udompetaikul and Yaowaluk Suraphantapisit, 2007. Design and Development of A Simple Meat Quality-Improving Machine. Proceedings of International Conference on Agricultural, Food, and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, January 21-24, 2007. Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand.
  15. Vipa Jayranaiwachira and **Panmanas Sirisomboon**, 2007. Effect of Agitation Parameters on Viscosity Properties of Concentrated Coconut Milk. Proceedings of International Conference on Agricultural, Food, and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, January 21-24, 2007. Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand.
  16. **Panmanas Sirisomboon**, Yothin Prempraneerach, Phornsuk Ratiroch-anant, and Yaowaluk Suraphantapisit 2008. Automatic Table Top Stuffer for Sausage. CR1-15, Proceedings of the 9<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering annual meeting – Technology for Sustainable Agriculture and Agro-Industry- January 31- February 1, 2008, Faculty of Engineering and Agricultural Industry, Maejo University, Thailand. (in Thai).

17. Nuthvipa Jayranaiwachira and **Panmanas Sirisomboon** 2008. Physical Properties of Concentrated Coconut Milk by Evaporating at Vacuum Pressure. CR1-21, Proceedings of the 9<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering annual meeting –Technology for Sustainable Agriculture and Agro-Industry- January 31- February 1, 2008, Faculty of Engineering and Agricultural Industry, Maejo University, Thailand. (in Thai).
18. Teerapong Pholpho, Bundit Jarimopas and **Panmanas Sirisomboon** 2008. Postharvest Damage and Some Physical Properties of Fresh Longan. CR 3-12, Proceedings of the 9<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering annual meeting –Technology for Sustainable Agriculture and Agro-Industry- January 31- February 1, 2008, Faculty of Engineering and Agricultural Industry, Maejo University, Thailand. (in Thai).
19. Yuki Hashimoto, Nobuyuki Hayashi, Munehiro Tanaka, Keiji Hoaki, and **Panmanas Sirisomboon**, 2008. Case Study on Rice Husk Power Generation in Thailand. Annual Meeting on the Japanese Society of Agricultural Machinery, 27 - 30 March 2008. Miyazaki Kanko Hotel 1-1-1 Matsuyama, Miyazaki-city, Miyazaki-prefecture, Japan.
20. **Panmanas Sirisomboon**, Munehiro Tanaka and Takayuki Kojima, 2008. Intensive Evaluation of Tomato ‘Momotaro’ Textural Properties. Annual Meeting on the Japanese Society of Agricultural Machinery, 27 - 30 March 2008. Miyazaki Kanko Hotel 1-1-1 Matsuyama, Miyazaki-city, Miyazaki-prefecture, Japan.
21. **Panmanas Sirisomboon**, Yuki Hashimoto and Munehiro Tanaka 2008. Study on Non-destructive Evaluation Methods for Defect Pods for Green Soybean Processing by Near-Infrared Spectroscopy. Annual Meeting on the Japanese Society of Agricultural Machinery, 27 - 30 March 2008. Miyazaki Kanko Hotel 1-1-1 Matsuyama, Miyazaki-city, Miyazaki-prefecture, Japan.
22. **Panmanas Sirisomboon**, Charoonpong Theamprateep, Rawipat Lapcharensuk, Jittra Duangchang 2008. Quality of Kao Nampueng Pomelo Pulp at Different Maturity Stages. The 18<sup>th</sup> Thaksin University Annual Conference : The Research and National Crisis Solutions, 25-26 September 2008. Green World Hotel, Songkla, Thailand. (in Thai)
23. **Panmanas Sirisomboon** 2009. Physical properties of some oil seeds for biodiesel. The 1<sup>st</sup> AUN/SEED-Net Regional Conference on Materials 2009. RCM 2009. 16-17 February, 2009. Equatorial Hotel, Penang, Malaysia.
24. **Panmanas Sirisomboon** and Ravipat Lapcharoensuk. 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 “Agricultural science leading Thailand : Food and alternative energy for sustainable balance” 17-20 march 2009, Kasetsart University, Bangkhen campus, Bangkok, Thailand (in Thai).
25. **Panmanas Sirisomboon**, Jittra Duangchang. 2009. Prediction and analysis of peel essential oil of pomelo by NIR spectroscopy. 10<sup>th</sup> International Conference of Thailand Society of Agricultural Engineering on “Innovations of Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind” 1-3 April 2009, Suranaree Univeristy of Technology, THAILAND.
26. **Panmanas Sirisomboon**, Warunee Thanapase, Ravipat Lapcharoensuk 2009. Identification of Different Storage Duration of Pomelo (Kao Num Peung Variety) by Near Infrared Spectroscopy using SIMCA. 10<sup>th</sup> International Conference of Thailand Society of

- Agricultural Engineering on “Innovations of Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind” 1-3 April 2009, Suranaree Univeristy of Technology, THAILAND.
27. **Panmanas Sirisomboon**, Charoonpong Theamprateep 2009. Maturity Classification of Kao Nampueng Pomelo Fruit using Visible Range Spectrum. 10<sup>th</sup> International Conference of Thailand Society of Agricultural Engineering on “Innovations of Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind” 1-3 April 2009 , Suranaree Univeristy of Technology, THAILAND.
  28. **Panmanas Sirisomboon**, Suppakit Howvimanporn 2009. Determination of soluble solids of honey by near infrared spectroscopy. 10<sup>th</sup> International Conference of Thailand Society of Agricultural Engineering on “Innovations of Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind” 1-3 April 2009, Suranaree Univeristy of Technology, THAILAND.
  29. Teerapong Pholpho, Bandit Jarimopas, **Panmanas Sirisomboon**, Siwalak Pathaveerat 2009. Mechanical bruising of fresh longan fruit. 10<sup>th</sup> International Conference of Thailand Society of Agricultural Engineering on “Innovations of Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind” 1-3 April 2009, Suranaree Univeristy of Technology, THAILAND.
  30. **P. Sirisomboon**, W. Thanapase, S. Kasemsumran and S. Howvimanporn 2009. Identification of honey authenticity by NIRS. The 14<sup>th</sup> International Conference on Near Infrared Spectroscopy. NIR 2009 Breaking the Dawn. 7-16 Novemebr 2009, Amari Watergate Hotel, Bangkok, Thailand.
  31. **Panmanas Sirisomboon** and Rawiphan Chowbankrang 2009. Viscosity properties of concentrated rubber latex at various storage duration. The 6<sup>th</sup> KU-KPS conference. 8-9 December 2009. Kasetsart University, Kampangsan campus, Nakorn Pathom, Thailand (in Thai).
  32. **Panmanas Sirisomboon** and Phatcharee Klaimanee 2009. Physical properties of sweet corn. The 6<sup>th</sup> KU-KPS conference. 8-9 December 2009. Kasetsart University, Kampangsan campus, Nakorn Pathom, Thailand (in Thai) **The best qualified research award in engineering.**
  33. Teerapong Pholpho, Siwalak Pathaveerat, **Panmanas Sirisomboon** 2010. Development and vibration machine for fruit and vegetable package testing. The 11<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering International Conference on Innovations in Agricultural Engineering for Sufficiency Economy and Empowered Communities. 6-7 May 2010, Kasetsart University, Kampangsan campus, Nakorn Pathom, Thailand (in Thai), p 116-119.
  34. **Panmanas Sirisomboon** and Mongkol Skunthongarlam 2010. Performance of machine for drying coconut flakes with vacuum and hot water. The 11<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering International Conference on Innovations in Agricultural Engineering for Sufficiency Economy and Empowered Communities. 6-7 May 2010, Kasetsart University, Kampangsan campus, Nakorn Pathom, Thailand (in Thai), p 242-246.
  35. **Panmanas Sirisomboon** and Sarid Churchart 2010. Change of soluble solids content

- (sweetness) of watermelon (Kinnaree Variety) at different harvesting dates. The 11<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering International Conference on Innovations in Agricultural Engineering for Sufficiency Economy and Empowered Communities. 6-7 May 2010, Kasetsart University, Kampangsan campus, Nakorn Pathom, Thailand (in Thai), p 247-250.
36. **Panmanas Sirisomboon** and Apidul Keawkuptong 2010. Effect of storage duration on dry rubber contents of concentrated rubber latex. The 11<sup>th</sup> Thai Society of Agricultural Engineering International Conference on Innovations in Agricultural Engineering for Sufficiency Economy and Empowered Communities. 6-7 May 2010, Kasetsart University, Kampangsan campus, Nakorn Pathom, Thailand (in Thai), p 382-385.
37. **Panmanas SIRISOMBOON**, Sarid CHURCHART. Prediction of soluble solids content in cut watermelons using near infrared Spectroscopy, The 12th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering "International Conference on Agricultural Engineering" (Novelty, Clean and Sustainable) Chon-Chan Pattaya Resort, Chonburi, Thailand; 31 March-1 April 2011, p 48-1 -48-5.
38. **Panmanas SIRISOMBOON** and Apidul KEAWKUPTONG. Evaluation of dry rubber content of concentrated latex by Near-infrared Spectroscopy, The 12th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering "International Conference on Agricultural Engineering" (Novelty, Clean and Sustainable) Chon-Chan Pattaya Resort, Chonburi, Thailand; 31 March-1 April 2011, p 49-1 -49-5.
39. Panitnat YIMYAM, Somkit JAITRONG, **Panmanas SIRISOMBOON**. Mango Maturity Classification by using Physical Properties, The 12th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering "International Conference on Agricultural Engineering" (Novelty, Clean and Sustainable) Chon-Chan Pattaya Resort, Chonburi, Thailand; 31 March-1 April 2011, p 50-1 -50-4.
40. **Panmanas SIRISOMBOON**, Mongkol SKUNTHONGARLAM. The optimal condition for coconut flakes dryer with vacuum and infrared heater, The 12th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering "International Conference on Agricultural Engineering" (Novelty, Clean and Sustainable) Chon-Chan Pattaya Resort, Chonburi, Thailand; 31 March-1 April 2011, p 55-1 -50-5.
41. Sirisomboon, P. and Jayranaiwachira, N. Characteristics of ice-cream under vacuum pressure pre-cooling condition, The 13th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering "The International conference of the Thai Society of Agricultural Engineering 2012" (Agro-Techno Fusion for Global Sustainability) Imperial Mae Ping Hotel, Chiang Mai, Thailand; 4-5 April 2012. FOE 08, 161.
42. **Panmanas Sirisomboon**, Warunee Thanapase, Raviat Lapcharoensuk. Identification of Different Storage Duration of Pomelo (Kao Num Peung Variety) by Near Infrared Spectroscopy using PLS-DA. The 3<sup>rd</sup> Asian Near Infrared Symposium (ANS2012) Amari Watergate Hotel, Bangkok, Thailand; 14-18 May 2012.

#### ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์

1. เครื่องทำน้ำกะทิเข้มข้นแบบที่ระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

2. เครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็ก
3. เครื่องทำไอศกรีมโดยใช้ระบบการทำความเย็นเบื้องต้นที่ความดันสูญญากาศ
4. เครื่องทำแห้งเนื้อมะพร้าวชุดด้วยความดันสูญญากาศเพื่อการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์
5. เครื่องทำแห้งเนื้อมะพร้าวชุดด้วยความดันสูญญากาศร่วมกับคลื่นอินฟราเรดเพื่อการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์
6. เครื่องกะเทาะเปลือกผลและเปลือกเมล็ดสับดำ

