



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ
การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
Varieties and qualities classification of lime using near Infrared
hyperspectral imaging

นายสนธิสุข ชีระชัยชยุติ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย
จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ
การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
Varieties and qualities classification of lime using near Infrared
hyperspectral imaging

RCH
81927
2558

นายสนธิสุข ชีระชัยขุติ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...143718
วัน,เดือน,ปี 29 ก.ย 2559

b. 12802323
i.

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย
จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ
การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
Varieties and qualities classification of lime using near Infrared hyperspectral imaging

นายสนธิสุข ธีระชัยชยติ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558
คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง

ชื่อโครงการ Varieties and qualities classification of lime using near Infrared hyperspectral imaging
แหล่งเงิน เงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 105,000 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี (1 ตุลาคม 2557 - 30 กันยายน 2558)

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

รศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรด โดยผลมะนาวที่ใช้ในการทดลองนี้ จะใช้มะนาว 2 พันธุ์ คือ มะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ และเครื่องเนียร์อินฟราเรดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีทั้งหมด 4 ชนิด คือ NIR spectrometer แบบพกพา โหมด interactance ที่ความยาวคลื่น 588-1089 นาโนเมตร, FT-NIR spectrometer โหมด reflectance ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 นาโนเมตร, Vis-NIRs โหมด reflectance ที่ความยาวคลื่น 900-1700 นาโนเมตร และ NIR hyperspectral imaging โหมด reflectance ความยาวคลื่น 910-1700 นาโนเมตร สำหรับงานวิจัยนี้จะตรวจคุณภาพมะนาวทั้งในด้านเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ การตรวจสอบในด้านเชิงปริมาณในงานวิจัยนี้ คือ ตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ, ตรวจสอบปริมาณกรดที่ใดเตรทได้หรือค่า pH, ตรวจสอบปริมาณน้ำคั้นของผลมะนาว ส่วนการตรวจสอบในด้านเชิงคุณภาพในงานวิจัยนี้ คือ การคัดแยกพันธุ์มะนาวระหว่างพันธุ์แป้นพันธุ์ไข่ เพื่อแก้ปัญหาการปลอมปนของพันธุ์มะนาว สำหรับผลการทดลองทั้งหมด สรุปได้ว่า เครื่อง FT-NIR spectrometer โหมด reflectance และ NIR spectrometer แบบพกพา โหมด interactance มีความสามารถในการคัดแยกพันธุ์มะนาวได้สูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และ Vis-NIRs โหมด reflectance มีความสามารถในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำและทำนายค่า pH ได้ดีที่สุด ($R = 0.81$, $RMSEP = 0.24$ °Bx และ $R = 0.95$, $RMSEP = 0.06\%$) ส่วนผลการใช้ NIR hyperspectral imaging ในการทำนายคุณภาพมะนาวนั้น จะแสดงผลออกมาเป็นภาพการทำนายเชิงปริมาณตามระดับสี ซึ่งผลการทดลองนี้ พบว่า การใช้ NIR hyperspectral imaging สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำนายและคัดแยกคุณภาพมะนาวได้ดีเช่นกัน

คำสำคัญ: มะนาว, แบบไม่ทำลาย, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, ปริมาณน้ำคั้น, ปริมาณกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

The main objective of this research is to predict the qualities of lime by using near infrared spectroscopy (NIRS) technique. Two varieties of lime (Pan and Kai) were used in this study. For this experiment, NIR measurement was done by 4 types of NIR spectrometer such as NIR-GUN spectrometer (interactance mode, 588-1089 nm), FT-NIR spectrometer (reflectance mode, 1000-2500 nm), Vis-NIR spectrometer (reflectance mode, 400-2500 nm) and NIR hyperspectral imaging (reflectance mode, 910-1700 nm). Quantitative and qualitative analysis for evaluation of lime's qualities were done. Calibration models for total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), pH and water content were established as well as classification accuracies for two varieties of lime (Pan and Kai) in a mixed group were evaluated. The results showed that FT-NIR spectrometer (reflectance mode) and NIR-GUN spectrometer (interactance mode) could be used for classification of 100%. Vis-NIR spectrometer could be used for the highest accuracy of TSS and pH prediction ($R=0.81$, $RMSEP=0.24^{\circ}Bx$ and $R=0.95$, $RMSEP=0.06\%$). NIR hyperspectral imaging could be used for qualities prediction and classification by consideration of color map in predictive images.

Keywords: lime, nondestructive, total soluble solids, water content, acidity

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง ที่อนุมัติเงินงบประมาณเพื่อมาสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นด้วยดี

รศ.ดร.สนธิสุข ชีระชัยชยุติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฉ
สัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 มะนาว.....	3
2.2 การทดสอบคุณภาพของมะนาวด้วยวิธีการไม่ทำลาย.....	6
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีและวิธีการทดลอง.....	10
3.1 วัสดุดิบและสารเคมี.....	10
3.2 อุปกรณ์.....	10
3.3 โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ.....	10
3.4 วิธีการทดลอง.....	10
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	15
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับคุณภาพของมะนาว.....	15
4.2 ผลของการใช้เทคนิค NIRs โหมด interactance ในการสร้างสมการและทดสอบสมการ เพื่อทำนายคุณภาพของมะนาว.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลของการใช้เทคนิค NIRs โหมด reflectance ในการสร้างและทดสอบสมการ เพื่อทำนายเพื่อทำนายคุณภาพของมะนาว.....	29
4.4 ผลของการใช้เทคนิค Vis-NIRs โหมด reflectance ในการสร้างและทดสอบสมการ เพื่อทำนายเพื่อทำนายคุณภาพของมะนาว.....	41
4.5 การสร้างสมการเพื่อทำนายคุณภาพมะนาว โดยใช้ NIR hyperspectral imaging.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	55
เอกสารอ้างอิง	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของกรดในน้ำมะนาว.....	5
2.2 องค์ประกอบของน้ำมะนาวสด.....	5
2.3 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด.....	7
4.1 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ของการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ในผลมะนาว.....	18
4.2 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ในผลมะนาวด้วยวิธี ปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	19
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้.....	20
4.4 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลมะนาว.....	21
4.5 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลมะนาว ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	22
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้.....	22
4.7 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณ water content ในผลมะนาว.....	24
4.8 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณ water content ในผลมะนาว ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	25
4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณปริมาณ water content	25
4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ด้วย วิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	27
4.11 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ของ กลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA	28
4.12 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ในผลมะนาว.....	31
4.13 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ในผลมะนาวด้วย วิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	31

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้.....	31
4.15 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลมะนาว.....	33
4.16 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลมะนาวด้วย วิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	33
4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้.....	34
4.18 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณปริมาณ water content ในผลมะนาว.....	36
4.19 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณ water content ในผลมะนาวด้วย วิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	36
4.20 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณ water content.....	37
4.21 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ด้วย วิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	39
4.22 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและ มะนาวพันธุ์ไข่ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA.....	40
4.23 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายระดับค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ.....	42
4.24 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	42
4.25 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่า pH และ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ.....	43
4.26 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ.....	46
4.27 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วย วิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.28 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณกรดที่ไทเตรทได้.....	49
4.29 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ด้วย วิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	49
4.30 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ การทำนายปริมาณ water content.....	51
4.31 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณ water content ได้ด้วย วิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	52



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRS	8
4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมะนาวที่มีปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้สูงและ กลุ่มมะนาวที่มีปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ต่ำ.....	15
4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมะนาวที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงและ กลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่ำ.....	16
4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณน้ำคั้นในผลสูงและ กลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณน้ำคั้นในผลต่ำ.....	17
4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของผลมะนาวจากการสแกนด้วยเครื่อง NIR Gun โหมด Interactance	18
4.5 แสดงผลการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ.....	20
4.6 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ.....	23
4.7 แสดงผลการทำนายปริมาณ water content ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ.....	26
4.8 แสดงความแม่นยำในการแยกพันธุ์ระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่.....	29
4.9 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของผลมะนาวจากการสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR โหมด Reflectance	30
4.10 แสดงผลการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ.....	32
4.11 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ.....	35
4.12 แสดงผลการทำนายปริมาณ water content ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ.....	38
4.13 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่และกลุ่มมะนาวพันธุ์แป้น.....	40
4.14 แสดงผลการทำนายค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ.....	44
4.15 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ.....	47
4.16 แสดงภาพการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในผลมะนาว.....	48
4.17 แสดงผลการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ.....	50
4.18 แสดงภาพตัวอย่างการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในผลมะนาว.....	51
4.19 แสดงผลการทำนายปริมาณ water content ในในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ	53
4.20 แสดงภาพตัวอย่างการทำนายปริมาณ water content ได้ในผลมะนาว.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
NIRS	near infrared spectroscopy
PLSR	partial least square regression
PLS-DA	partial least squares discriminant analysis
R	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)
N	number of sample
RMSEC	root mean square error of calibration
RMSECV	root mean square error of cross validation
Smoothing	savitzky-Golay smoothing
First derivative	savitzky-Golay first derivative
Second derivative	savitzky-Golay second derivative
MSC	multiplicative scatter correction pretreatment
SNV	standard normal variate transformation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

มะนาวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจกลุ่มหนึ่งของประเทศไทย เพราะมะนาวเป็นพืชที่มีความต้องการสูงตลอดทั้งปี และมีปริมาณความต้องการเพิ่มขึ้นตลอดทั้งปี โดยแหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดเพชรบูรณ์ นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี นครสวรรค์ กาญจนบุรี สมุทรสาคร นครปฐม และเชียงใหม่ (สมศักดิ์, 2541) สำหรับประเทศไทยพันธุ์มะนาวที่ปลูกในการค้า ได้แก่ มะนาวแป้น, มะนาวหนัง และมะนาวไข่ แต่ที่นิยมปลูกกันมาก คือ มะนาวพันธุ์แป้น เพราะเป็นพันธุ์ที่ให้ปริมาณน้ำสูงกว่าพันธุ์อื่น ถึงแม้ว่ามะนาวจะปลูกได้ทั่วไปในหลายจังหวัด แต่ผลผลิตมะนาวในช่วงฤดูแล้ง ประมาณเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงนอกฤดูการผลิต มักมีผลผลิตมะนาวเข้าสู่ตลาดปริมาณน้อย แต่ความต้องการของผู้บริโภคยังอยู่ในเกณฑ์สูงตลอดทั้งปี ส่งผลให้ประสบปัญหาผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ทำให้ราคามะนาวในช่วงนี้มีราคาสูง (จารุวรรณ, 2543) ซึ่งในช่วงนี้เกษตรกรส่วนใหญ่มักจำหน่ายได้ในราคาดี โดยในช่วงหน้าแล้งเกษตรกรมีความหวังที่จะขายมะนาวให้ได้กำไร เนื่องจากการปลูกมะนาวจะต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก และต้องรองรับการขาดทุนในช่วงที่มะนาวออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมาก แต่ปัญหามะนาวมีราคาแพงและมีปริมาณผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดในช่วงหน้าแล้ง ส่งผลให้เกิดปัญหาการปลอมปนระหว่างพันธุ์มะนาว โดยนำมะนาวพันธุ์ไข่ที่ลักลอบมาจากประเทศเวียดนาม โดยพ่อค้าคนกลางจะซื้อในราคาถูกมาขายปลอมปนกับมะนาวพันธุ์แป้น ทำให้เกิดปัญหาแก่ผู้บริโภคที่ซื้อมะนาวด้วยคุณภาพในราคาที่สูง ทั้งนี้คุณภาพภายในของมะนาวทั้ง 2 พันธุ์ดังกล่าว มีลักษณะแตกต่างกัน คือ มะนาวพันธุ์แป้นจะมีทั้งความหอมและความเปรี้ยว เปลือกบางและมีปริมาณน้ำคั้นมาก แต่มะนาวพันธุ์ไข่จะมีเฉพาะความเปรี้ยวอย่างเดียว และเมื่อคั้นออกมาเป็นน้ำ จะพบว่า มะนาวพันธุ์ไข่จะให้ใช้น้ำน้อยกว่ามะนาวพันธุ์แป้น โดยเวลาขาย พ่อค้าและแม่ค้ามักนำมะนาวทั้งสองพันธุ์มาขายปลอมปนกันไม่แบ่งกลุ่มและติดป้ายอย่างชัดเจนว่าแต่ละกลุ่มคือมะนาวพันธุ์อะไร ส่งผลเสียต่อภาพลักษณ์ด้านการค้าของประเทศไทย

ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหการปลอมปนของมะนาว และหาเทคนิคเพื่อให้สามารถทราบคุณภาพภายในของมะนาวแบบไม่ทำลาย เกิดความยุติธรรมและสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อ เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy, NIRS) เป็นเทคนิคหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพภายในของมะนาว ซึ่งช่วยสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อ ลดปัญหา

เอ็กสารอินเอ็กสารที่ส่งวนเรสที่รบกการเขง นเพื่อการหกอช เหาเนน เเชอญูย เดเหิน เเชอชองเอชงเหินหา นรูกา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปลอมปนของพันธุ์มะนาว โดยเทคนิค NIRS นี้ จะใช้หลักการให้แสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ แล้วสารเกิดการดูดกลืนแสงในช่วง near infrared ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูง ในการสั่นของพันธะต่างๆ จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันไปซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน ทำให้ตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมะนาวได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง อีกทั้งเทคนิคนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะไม่ต้องใช้สารเคมีในการตรวจสอบอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อให้ได้สมการเพื่อคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่

1.2.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดกับคุณภาพของมะนาว ได้แก่ ปริมาณกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ความหนาแน่น และปริมาณน้ำคั้นทั้งหมดในผลมะนาว พร้อมทั้งสร้างสมการในการทำนายคุณภาพภายในผลมะนาวด้วย

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำนายคุณภาพ และคัดแยกพันธุ์มะนาว โดยใช้เครื่อง near infrared spectroscopy 4 ชนิด คือ hyperspectral imaging, FQA-NIRGUN, FT-NIR และ visible-near infrared spectroscopy

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะทำการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ และสร้างสมการเพื่อทำนายคุณภาพของมะนาว ได้แก่ ปริมาณกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำคั้น (water content) ในผลมะนาว โดยใช้เครื่อง near infrared spectroscopy 4 ชนิด คือ hyperspectral imaging, FQA-NIRGUN, FT-NIR และ visible-near infrared spectroscopy

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะนาว

2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของมะนาว

มะนาวเป็นพืชไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก จัดอยู่ในพืชตระกูลส้ม (citrus fruits) จัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae มะนาวมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดแรก มีชื่อสามัญว่า lemon มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Citrus limon L. Burm. f. ซึ่งผลจะมีลักษณะมีสีเหลืองอ่อนและมีกรดเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ส่วนมะนาวชนิดที่สอง มีชื่อสามัญว่า lime มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Citrus aurantifolia (Christm) Swing มีผลขนาดเล็ก สีเขียว ใ้ห้กลิ่นและรสที่มีลักษณะเฉพาะตัวมากกว่า lemon แต่ทั้งสองชนิดมีรูปร่างและองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน (Kimball, 1991) ซึ่งมะนาวที่ใช้บริโภคในประเทศไทย คือ lime มะนาวทั้ง 2 ประเภท จัดเป็นผลไม้ชนิด non-climacteric fruit ซึ่งมีอัตราการการหายใจ และสังเคราะห์เอทิลีนค่อนข้างต่ำและคงที่ในระหว่างแก่จนกระทั่งผลเสื่อมคุณภาพ (Kader et al.,1985)

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะนาวเป็นไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก สามารถแผ่กิ่งก้านสาขาได้กว้าง ซึ่งมะนาวมีลักษณะทางพันธุศาสตร์ (สมศักดิ์, 2541) ดังนี้

2.1.2.1 ลำต้น มีลักษณะงอ เปลือกสีเทาปนน้ำตาล กิ่งอ่อนมีสีเขียวอ่อน เมื่อแก่สีจะค่อยๆ เข้มขึ้น บนลำต้นมีหนาม ส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณซอกใบเป็นสีเขียวเข้มจนถึงสีเขียวอมเหลือง หนามมีลักษณะแข็งอ้วนแหลมและสั้น

2.1.2.2 ใบ มีแผ่นใบอันเดี่ยวสีเขียวอ่อน รูปร่างค่อนข้างยาวหรือรูปไข่ ปลายมีลักษณะแหลม ขอบใบหยัก แผ่นใบกว้างประมาณ 3-6 เซนติเมตร ยาว 6-12 เซนติเมตร ก้านใบมีขนาดสั้น มีปีกแคบหรืออาจไม่มีปีก ซึ่งขึ้นกับชนิดของพันธุ์ ใบอ่อนมีสีเขียวอมแดง

2.1.2.3 ดอก เกิดที่บริเวณซอกใบ อาจจะเป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อ ดอกตูมจะมีขนาดยาว 1-2 เซนติเมตร มีสีแดงเจืออยู่ด้วย กลีบเลี้ยงสีเขียวอ่อน กลีบดอกสีขาว และด้านท้องมีส่วนม่วงปนเกสรตัวผู้ มีจำนวนมากมาย 20-40 อัน เชื่อมติดกันเป็นกลุ่มๆ ละ 4-8 อัน เกสรตัวเมียมีรังไข่รูปทรงเกือบจะ

ทรงกระบอก ก้านเกสรตัวเมียจะหลุดร่วงเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4 ผล รูปร่างยาวหรือรูปไข่ ที่ปลายมีลักษณะเป็นปุ่มเล็กๆ ผลมีขนาดความยาวประมาณ 7-12 เซนติเมตร ผิวเมื่อสุกจะออกสีเหลืองหรือสีทอง มีต่อมน้ำมันที่ผิวเปลือกเห็นได้ชัดเจน ผิวเปลือกมีลักษณะขรุขระ ใน 1 ผล จะมี 8-10 กลีบ เนื้อสีเหลืองอ่อน รสเปรี้ยวกลิ่นหอม

2.1.2.5 เมล็ด ขนาดเล็ก รูปร่างคล้ายไข่ ด้านปลายส่วนหัวและท้ายมีลักษณะแหลม มีเนื้อเยื่อสะสมอาหารภายในเป็นสีขาว

2.1.3. พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย (ทอง ธรรมดา, เป็ที่แต่งไม่ระบุ)

2.1.3.1 มะนาวไข่ ผลกลม หัวท้ายยาว มีสีอ่อนคล้ายไข่เป็ด ขนาด 2-3 เซนติเมตร เปลือกบาง

2.1.3.2 มะนาวแป้น ผลใหญ่ ค่อนข้างกลมแป้น เปลือกบาง มีน้ำมาก นิยมใช้บริโภคมากกว่าพันธุ์อื่นๆ ในเชิงพาณิชย์จะปลูก มะนาวพันธุ์แป้นรำไพและพันธุ์แป้นคกพิเศษ สามารถบังคับให้ออกฤดูแล้งได้ง่าย

2.1.3.3 มะนาวหนัง ผลอ่อนกลมยาวหัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มทีผลจะมีลักษณะกลมค่อนข้างยาว มีเปลือกหนา ทำให้เก็บรักษาผลได้นาน

2.1.3.4 มะนาวทราย ทรงพุ่มสวยใช้เป็นไม้ประดับ ให้ผลตลอดปีแต่ไม่ค่อยนิยมบริโภค เพราะน้ำมีรสขมเจือปน

2.1.3.5 มะนาวตาฮิติ เป็นมะนาวพันธุ์ต่างประเทศ ซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้นำมาจากหมู่เกาะตาฮิติ ผลมีขนาดใหญ่ รูปไข่ เปลือกและเนื้อมีสีเขียว เก็บเกี่ยวขณะที่เปลือกสีเขียวเข้ม มีกลิ่นและรสดี เป็นมะนาวไม่มีเมล็ด

2.1.3.6 มะนาวหวาน มีผลขนาดใหญ่ ผลรูปร่างกลม เปลือกสีเขียวเข้ม รสไม่เปรี้ยว หรือเปรี้ยว น้อยกว่าพันธุ์อื่น จึงไม่ค่อยนิยมปลูกกัน

2.1.3.7 มะนาวปีนัง ลักษณะผลกลมยาว ผลโตกว่ามะนาวหนัง ก้นแหลมคล้ายไข่เต่า เปลือกหนามีกลิ่นหอม ปลูกเป็นไม้ประดับได้ดี

2.1.3.8 มะนาวโมพี ลักษณะลูกกลมโต แต่ส่วนก้นจะกลมแป้น มีเปลือกหนา พันธุ์นี้มีรสเปรี้ยวมาก ลำต้นจะใหญ่แข็งแรง เหมาะสำหรับการใช้ทำเป็นต้นตอ

2.1.3.9 มะนาวพม่า มีผลโตเกือบเท่าส้มเขียวหวาน เปลือกหนา ใบค่อนข้างจะรี ๆ ขอบใบมีจักเล็กน้อย มีรสเปรี้ยว แต่ไม่ค่อยมีกลิ่นจึงไม่ค่อยนิยมปลูกกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว

องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของน้ำมะนาว คือ กรด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยกรดชนิดต่างๆ คือ กรดซิตริก กรดมาริก กรดควินิก และกรดฟอสฟอริก ปริมาณองค์ประกอบของกรดต่างๆ ที่มีในน้ำมะนาว แสดงได้ดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2./ แสดงองค์ประกอบของน้ำมะนาวสด

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดในน้ำมะนาว

ชนิดของกรด	ปริมาณร้อยละ
กรดซิตริก	91.7
กรดมาริก	4.9
กรดควินิก	0.5
กรดฟอสฟอริก	0.5
กรดที่ไม่ได้จำแนกชนิด	2.5

ที่มา : วิลาวัลย์ (2547)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของน้ำมะนาวสด

องค์ประกอบ	ค่าที่วัดได้
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Brix)	8
ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	2.4
ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก (กรัม)	6.93
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	32.62
ค่าสี L	49.21
ค่าสี a	-5.33
ค่าสี b	8.83
ค่าการดูดแสง	0.542

ที่มา : วิลาวัลย์ (2547)

2.1.5 ปัญหามะนาว

ปัญหาที่สำคัญที่ทำให้ผลมะนาวมี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.1 ปัญหาราคา โดยราคาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งมีสาเหตุจากความไม่สัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตและความต้องการในการบริโภค โดยปกติมะนาวออกดอกได้ตลอดทั้งปี แต่จะออกดอกมากในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม (สมศักดิ์, 2541)

2.1.5.2 ปัญหาช่วงหลังการเก็บเกี่ยว มะนาวเป็นผลไม้ชนิด non-climacteric ซึ่งจัดได้ว่าเป็นพืชที่มีอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอธิลีนต่ำ แต่ปัญหาที่ทำให้ผลมะนาวมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น มีดังนี้

2.1.5.3 การเน่าเสียของผลเนื่องจากเชื้อโรค (ดารา, 2520) ได้กล่าวไว้ว่า โรคที่พบระหว่างการเก็บรักษาผลมะนาว ได้แก่โรค stem-end rot ซึ่งเกิดจากเชื้อ *Diplodia natalensis* Pole-Evans โดยเชื้อโรคอาจติดมาตั้งแต่ในแปลงปลูก ระหว่างการขนส่ง หรือสภาพแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษาหรือการบรรจุหีบห่อเพื่อการขนส่ง โดยเชื้อจะเข้าทำลายทางขั้วผลหรือรอยแผล เริ่มแรกขั้วผลจะกลายเป็นสีน้ำตาลดำแล้วลามเข้าไปยังแกนข้างในผลและผิวเปลือกด้านใน ส่วนไส้กลางโดยเฉพาะบริเวณใกล้ขั้วผลจะมีสีน้ำตาล ชุ่มน้ำ และนิ่ม สีที่เน่าภายในจะเป็นผลสีน้ำตาลถึงดำ ต่อมาสีที่เปลือกนอกของผลจะกลายเป็นสีน้ำตาลทึบ และโรค Alternain rot อาการของโรค จะเริ่มจากผิวเปลือกเป็นสีเหลืองเข้มจนกระทั่งเป็นสีน้ำตาล แผลจะลามไปได้ทั้งผล กดดูภายในผลจะรู้สึกยุ่ยๆ เนื้อเยื่อภายในจะชุ่มน้ำและนิ่ม

2.1.5.4 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการคายน้ำ ทำให้ผิวผลเหี่ยวและแห้งอย่างรวดเร็ว ซึ่งการสูญเสียน้ำหนัก นอกจากจะทำให้น้ำหนักที่ขายได้ลดลงแล้ว ยังทำให้รสชาติของผลิตผลลดลงด้วย โดยเฉพาะในแง่ของเนื้อสัมผัส ผิวจะเหี่ยวยุ่ยไม่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค (จริงแท้, 2541)

2.1.5.5 การเปลี่ยนแปลงสีผิวจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองและสีน้ำตาล ซึ่งภายหลังการเก็บผลิตผลต่างๆ มักมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้น โดยพบว่า มีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ทำให้สีเขียวหายไป การที่สีเขียวจะหายไปเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้รงควัตถุอื่นๆ เช่น สีเหลืองของคาโรทีนอยด์ (carotenoids) ซึ่งตามปกติมีอยู่แล้วแต่ถูกสีเขียวข่มอยู่ ให้ปรากฏชัดออกมาพร้อมกับมีการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นด้วย

2.1.5.6 การลดลงของวิตามินซีและคุณภาพของน้ำมะนาวในระหว่างการเก็บรักษา

2.2 การทดสอบคุณภาพของมะนาวด้วยวิธีการไม่ทำลาย

2.2.1 Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

Near Infrared เกิดจากที่สารดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง near Infrared คือ 785-2650 นาโนเมตร ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นที่ความถี่สูง โมเลกุลจะถูกกระตุ้นจาก ground vibration level ไปยัง excited vibration level ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (absorbance) เป็นไปตามกฎของ เบียร์-แลมเบิร์ต พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่างพลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne et al., 1993) สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะมี H-atom เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล

หลักการโดยพื้นฐานของเครื่องสเปกโตรสโคปี คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุจะมีแสงบางส่วนถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนทะลุผ่านออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการรวมแสงหรือเกิดการเรืองแสง และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสงในการดูดกลืนแสงย่านอินฟราเรดของโมเลกุลสารอินทรีย์ (นิพนธ์, 2547) ช่วงคลื่นอินฟราเรดสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วง ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	Characteristic transition	ความยาวคลื่น (mm)	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ประโยชน์
อินฟราเรดย่านใกล้ (near IR, NIR)	Overtone combination	780-2500	12800-4000	วิเคราะห์ปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันน้ำตาล คีตา โครงสร้างของโมเลกุล
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR, MIR or Fundamental IR)	Fundamental vibration	2500-5x10 ⁴	4000-200	วิเคราะห์หาปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันน้ำตาล
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	Rotation	5x10 ⁴ -10 ⁶	200-100	ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทรานสิชันที่เกี่ยวกับการหมุนของโมเลกุล

ที่มา : นิพนธ์ (2547)

2.2.1 หลักการวัดของเครื่อง NIRS มีด้วยกันหลายเทคนิคคือ

2.2.1.1 Transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ

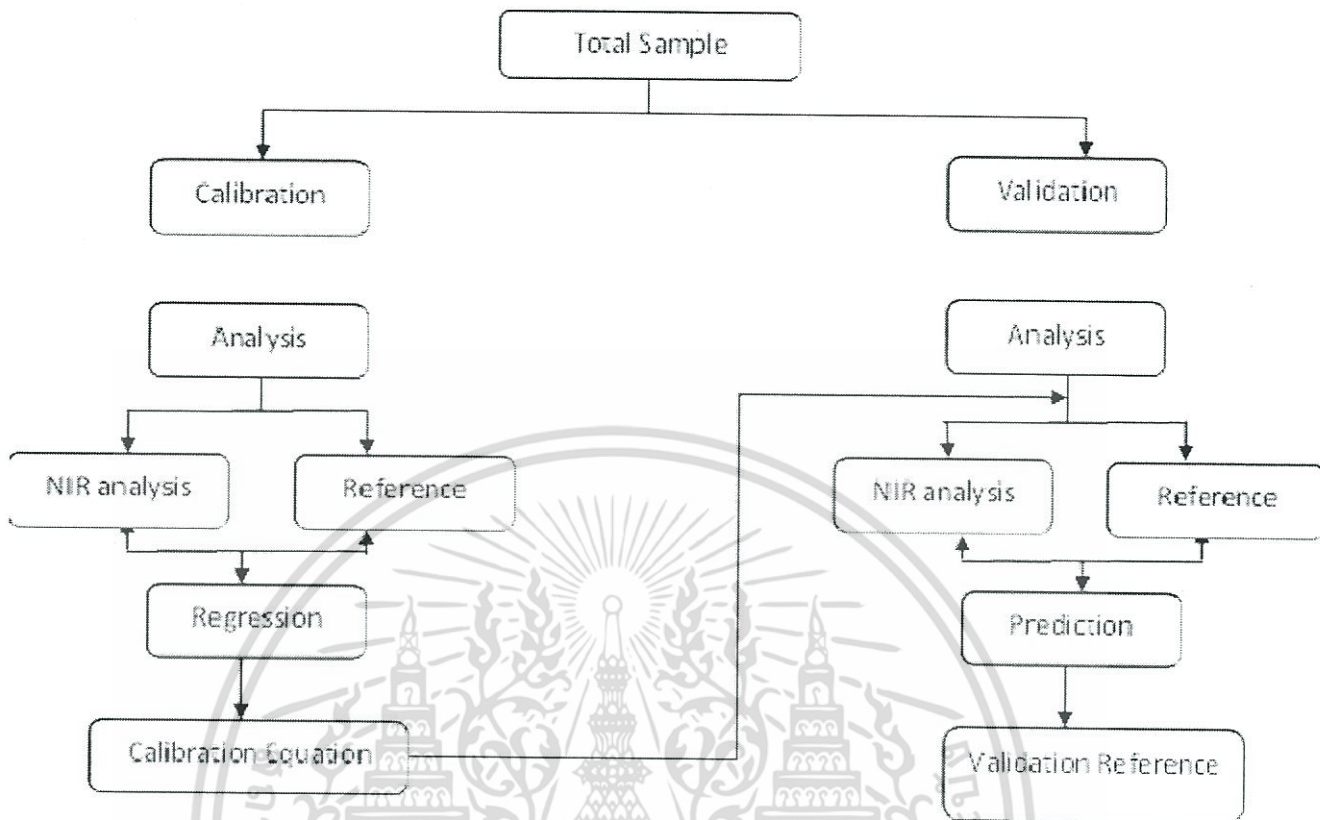
2.2.1.2 Reflection แสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง วัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย

2.2.1.3 Transflection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทอง หรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุดแล้วสะท้อนกลับมายัง detector

2.2.1.4 Interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่งผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRS



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRS

ที่มา : Kawano et al. (1995)

สเปกตรัม NIR ที่ได้ซึ่งก็คือ ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นในย่าน near infrared จะมีจุดยอดไม่ชัดเจนเนื่องจากการซ้อนทับกันของจุดยอดหลายๆ ค่า วิธีการ calibrating statistics หลายวิธีสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เช่น multiple linear regression (MLS), partial least squares regression (PLS) หรือ principal components regression (PCR) เป็นต้น โดยวิธีดังกล่าวจะวิเคราะห์หาความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่มีปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงสัมพันธ์กับปริมาณองค์ประกอบทางเคมี จำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการวัด NIRS จะต้องมีความหลากหลายที่จะเป็นตัวแทนตัวอย่างทั้งหมดได้ และมีการกระจายค่าขององค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการวัดสม่ำเสมอและคลุมค่าที่จะวัดในอนาคตโดยตัวอย่างจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ calibration set กับ validation set หรือ test set จำนวนตัวอย่างของ calibration set มีมากกว่าตัวอย่างของ validation set เสมอ การทำ calibration ในปัจจุบันนี้สามารถใช้เทคนิคทางสถิติช่วย เช่น MLR หรือ PLS ช่วยในการเลือกสมการที่เหมาะสมมากที่สุดโดยสมการที่ได้ต้องพิจารณาค่า standard error of calibration (SEC) และค่า R² ประกอบด้วยจากนั้นมาทำ validation โดยใช้สถิติเช่นเดียวกันโดยพิจารณาค่า standard Error of Validation เป็นอีกค่าหนึ่งซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้มา โดยพิจารณาว่าค่า Error of Validation ไม่เกินค่า Error of Calibration หรือไม่ หากเกินค่า Error of Calibration แสดงว่าสมการนั้นไม่ดีพอที่จะนำมาใช้ทำนายค่าได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

prediction (SEP) และค่า Bias ประกอบ นอกจากนั้นค่า skewness ด้วยการเลือกสมการที่เหมาะสมเป็นหัวใจ สำคัญของการใช้เทคนิค NIRS ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญในการเลือก สมการที่ได้จะ นำมาใช้ประโยชน์ โดยทดสอบการทำนายค่าจากตัวอย่างที่เป็นอิสระว่าสามารถทำนายค่าได้ถูกต้องหรือไม่ (Kawano et al., 1995)

2.2.3 NIR hyperspectral imaging

เป็นการพัฒนาเทคนิคด้าน NIRs แบบใหม่ โดยการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) มาร่วมใช้วิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดของตัวอย่าง เป็นการ วิเคราะห์สเปกตรากันจำนวนมากไปพร้อมๆกับตัวแปรอิสระจำนวนมากแทนการใช้สเปกตรัมเฉลี่ยในแต่ละ ตัวอย่าง โดยพิจารณาจากแต่ละจุดพิกเซลของภาพของตัวอย่างที่ทำการตรวจวัด

เป็นการเชื่อมโยงข้อมูลภาพของตัวอย่าง ค่าทางฟิสิกส์ ค่าทางเคมี มาพิจารณากับสเปกตรากการ ดูดกลืนพลังงานแสงในย่านใกล้อินฟราเรด (Fernández Pierna et al., 2012)



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 มะนาวพันธุ์แป้น

3.1.1.2 มะนาวพันธุ์ไข่

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 mol/ผู้ผลิต MERCK

3.1.2.2 ฟีนอล์ฟทาลีน 5%

3.2 อุปกรณ์

3.2.1.1 เครื่อง near infrared spectroscopy 4 ชนิด คือ hyperspectral imaging (SisuCHEMA, Finland), FQA-เครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา (FQA-NIRGUN), เครื่อง FT-NIR spectrometer (NIRFlex N-500) และ visible-near infrared spectroscopy

3.2.2 เครื่อง refractometer (Atago รุ่น 3442 PR-1-10 Palette Serie Portable)

3.3 โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

3.3.1 โปรแกรม Unscrambler® version 9.7 (Camo, Oslo, Norway)

3.3.2 โปรแกรม Umbio Evince

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับคุณภาพของมะนาว

3.4.1.1 นำมะนาวอย่างน้อย 100 ผล มาทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขนาด sphericity ค่าสี ความแน่นเนื้อ

3.4.1.2 ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมะนาว ได้แก่ ปริมาณน้ำคั้น (water content) ในผลมะนาว, ปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

3.4.1.3 สร้างสมการหลายตัวแปร และทดสอบความถูกต้องของสมการ

3.4.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของมะนาวกับการดูดกลืนพลังงานแสงย่าน near infrared

3.4.2.1 การทดลองเพื่อสร้างสมการเพื่อทำนายคุณภาพของมะนาว ได้แก่ ปริมาณกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ความหนาแน่น และปริมาณน้ำคั้นทั้งหมดในผลมะนาว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวัดด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer

3.4.2.1.1.1 เตรียมตัวอย่างพันธุ์มะนาวทั้ง 2 พันธุ์ โดยให้เป็นพันธุ์เป้นจำนวนไม่ต่ำกว่า 150 ผล และพันธุ์ไข่ ไม่ต่ำกว่า 150 ผล (ดำเนินการเป็น 3 ชุดการทดลองสำหรับเครื่อง NIR spectrometer 4 แบบ) เลือกผลมะนาวให้มีความสม่ำเสมอทั้งด้านสีและขนาด ผลมะนาวมีความแก่พอเหมาะ คือ ผิวต้องเขียวสด ไม่มีสีเหลืองปน ไม่มีรอยช้ำหรือเน่า ผิวผลไม่ขรุขระ และทำการขนส่งโดยทางรถยนต์มายังห้องปฏิบัติการ นำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการปรับอุณหภูมิก่อนการวัดด้วยการเก็บไว้ในห้องปรับอากาศที่รักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน ก่อนทำการวัดด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer

3.4.2.1.1.2 ทำการวัดวัดการดูดกลืนพลังงานด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer ทั้งหมด 4 เครื่อง คือ hyperspectral imaging, FQA-NIR GUN, FT-NIR และ visible-near infrared spectroscopy โดย NIR hyperspectral imaging จะเป็นโหมด Reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 900 - 1700 nm, FQA-NIR GUN จะเป็นโหมด Interactance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 588-1091 nm FT-NIR จะเป็นโหมด Reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 1100-2500 nm และ visible-near infrared spectroscopy จะเป็นโหมด Reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 400-2500 nm สำหรับการวัดจะบุตำแหน่งของการวัดเป็น 4 ด้านของแต่ละผล โดยทำมุมให้ห่างกัน 90 องศาเซลเซียสโดยรอบของผลมะนาว

3.4.2.1.1.3 หลังจากทำการวัดสเปกตรัมแล้ว ทำการตรวจสอบคุณภาพผลมะนาว โดยการหาคุณภาพของมะนาว ได้แก่ ปริมาณกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ความหนาแน่น และปริมาณน้ำคั้นทั้งหมดในผลมะนาว

การวัดปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity, TA) (AOAC, 2000)

- โดยนำน้ำคั้นของผลส้มปริมาตร 5 มิลลิลิตร มาไตเตรทด้วยสารละลายด่างมาตรฐาน โซเดียม ไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้เครื่อง pH meter วัดจุดยุติ (end point) จะอ่านค่า pH ได้ 8.2 นานประมาณ 30 วินาที บันทึกปริมาตรของสารละลายด่างมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้มา คำนวณหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ตามสูตร

$$\%TA = \frac{\text{ความเข้มข้นของ NaOH} \times \text{ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาตรน้ำคั้นของผลมะนาว}} \times 0.064 \times 100$$

ปริมาตรน้ำคั้นของผลมะนาว

*** milliequivalent of citric (anhydrous) = 0.064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid, TSS) (AOAC, 2000)

- ใช้เครื่อง digital hand refractometer โดยหยดน้ำคั้นของผลมะยงชิดลงไป อ่านค่าที่ออกมาได้เป็นเปอร์เซ็นต์

ปริมาณน้ำคั้นทั้งหมดในผลมะนาว

- วัดปริมาณน้ำที่คั้นได้ รวมกับความชื้นที่เหลือในเปลือก ทั้งนี้หาปริมาณความชื้นในเปลือก (AOAC, 1995) โดยทำการอบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 2 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้แห้ง จนกระทั่งภาชนะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าที่ได้ ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นใส่ลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วจดบันทึกค่า นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 24 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้แห้ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง บันทึกค่าที่ได้

3.4.2.1.1.4 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- กำหนดตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยให้ตัวแปรตามคือ คุณภาพของมะนาว ได้แก่ ปริมาณกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ความหนาแน่น และปริมาณน้ำคั้นทั้งหมดในผลมะนาว ส่วนตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR spectrophotometer

- นำข้อมูลค่าตัวแปรตามมาเรียงกัน โดยเรียงค่าตัวแปรตามทั้งหมดของผลมะนาวเรียงจากน้อยไปมากแล้วทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (prediction set) กลุ่ม calibration จะต้องมีจำนวนข้อมูลไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่ม prediction จะต้องมีจำนวนข้อมูลไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละกลุ่ม มีการกระจายตัวของข้อมูลเท่าๆกัน ค่าเคมีในกลุ่ม calibration จะต้องมีค่าเคมีที่ต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

- นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยในกลุ่ม calibration มาสร้างสมการในการทำนาย โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จากการพิจารณาที่ค่า R (correlation coefficient) ให้มีค่าสูงสุด, RMSECV ต้องมีค่าต่ำที่สุด และ factor ต้องค่าต่ำสุดด้วย เมื่อได้สมการ calibration แล้วให้นำไปทำนาย ตัวอย่างในกลุ่ม prediction set เพื่อดูความแม่นยำของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 การทดลองเพื่อสร้างสมการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่

3.4.2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวัดด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer

3.4.2.2.1.1 เตรียมตัวอย่างพันธุ์มะนาวทั้ง 2 พันธุ์ โดยให้เป็นพันธุ์

เป็น จำนวนไม่ต่ำกว่า 150 ผล และพันธุ์ไข่ ไม่ต่ำกว่า 150 ผล เลือกผลมะนาวให้มีความสม่ำเสมอทั้งด้านสีและขนาด ผลมะนาวมีความแก่พอเหมาะ คือ ผิวต้องเขียวสด ไม่มีสีเหลืองปน ไม่มีรอยช้ำหรือเน่า ผิวผลไม่ขรุขระ และทำการขนส่งโดยทางรถยนต์มายังห้องปฏิบัติการ นำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการปรับอุณหภูมิ ก่อนการวัดด้วยการเก็บไว้ในห้องปรับอากาศที่รักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน ก่อนทำการวัดด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer

3.4.2.2.1.2 ทำการวัดวัดการดูดกลืนพลังงานด้วยเครื่อง NIR

spectrophotometer ทั้งหมด 4 เครื่อง คือ hyperspectral imaging, FQA-NIR GUN และ FT-NIR โดย NIR hyperspectral imaging โหมด Reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 900 - 1700 nm, FQA-NIR GUN โหมด Interactance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 588-1091 nm, FT-NIR โหมด Reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 1100-2500 nm และ visible-near infrared spectroscopy โหมด Reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 400-2500 nm โดยระบุตำแหน่งของการวัดเป็น 4 ด้านของแต่ละผล โดยทำมุมให้ห่างกัน 90 องศาเซลเซียสโดยรอบของผลมะนาว

3.4.2.2.1.3 หลังจากวัดสเปกตรัมแล้ว ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- กำหนดให้กลุ่มมะนาวพันธุ์แป้น คือ 0 และกลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่ คือ 1 ซึ่ง โดยจำนวนของกลุ่มมะนาวพันธุ์แป้นและกลุ่มของมะนาวพันธุ์ไข่ จะต้องมีจำนวนตัวอย่างเท่ากัน คือ มีกลุ่มมะนาวพันธุ์แป้น จำนวน 150 ตัวอย่าง และกลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่ จำนวน 150 ตัวอย่าง

- แบ่งกลุ่มมะนาวเป็นกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) โดยแบ่งเป็นกลุ่ม calibration จำนวน 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่ม prediction จำนวน 30 เปอร์เซ็นต์

- นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการ ทำ pretreatment ข้อมูลสเปกตรัม ด้วยวิธีการต่างๆ และสร้างสมการในการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการวิเคราะห์แยกกลุ่มโดยใช้วิธีเทคนิค PLS-DA

(partial least squares-discriminant analysis) เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จากการพิจารณาที่ ค่า R (correlation coefficient) ให้มีค่าสูงสุด, RMSECV ต้องมีค่าต่ำที่สุด และพิจารณาจาก factor ที่มีค่าต่ำสุดด้วย

- ตรวจสอบความแม่นยำในการทำนาย โดยนำตัวอย่างจากกลุ่ม prediction set ไปทดสอบความถูกต้องในการทำนายของสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

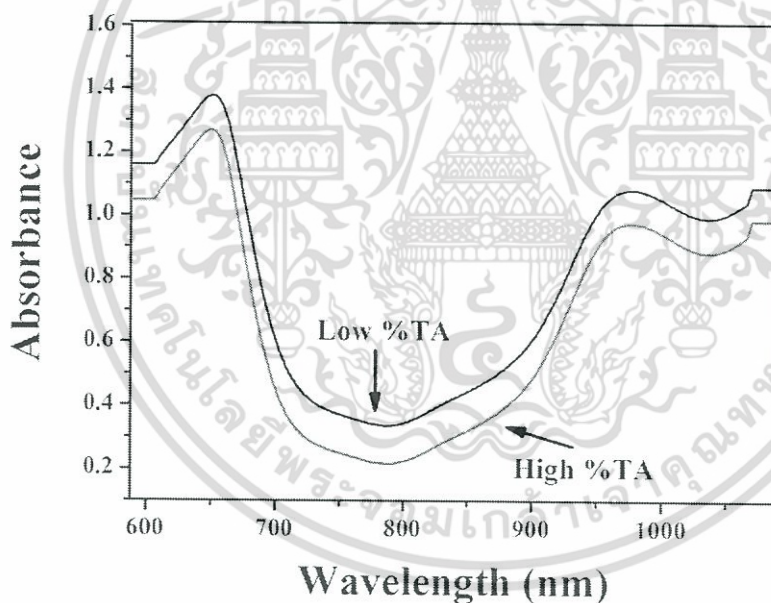
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับคุณภาพของมะนาว

จากการทดลองพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพกับคุณภาพของมะนาวมีความสัมพันธ์กัน โดยสมบัติทางกายภาพจะถูกนำมาใช้เพื่อบ่งบอกถึงคุณภาพของมะนาวว่ามะนาวผลไหนมีคุณภาพดีและมะนาวผลไหนไม่มีคุณภาพ โดยคุณสมบัติที่ใช้เพื่อบ่งบอกถึงคุณภาพของมะนาว ได้แก่ ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Bx) และปริมาณน้ำคั้น (water content) ในผลมะนาว โดยปกติเมื่อมองจากลักษณะภายนอกของผลมะนาว จะไม่สามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติที่กล่าวมาได้ ดังนั้นจึงนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่อง NIR มาใช้หาความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลมะนาว ซึ่งแสดงได้ความสัมพันธ์ได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ของผลมะนาว

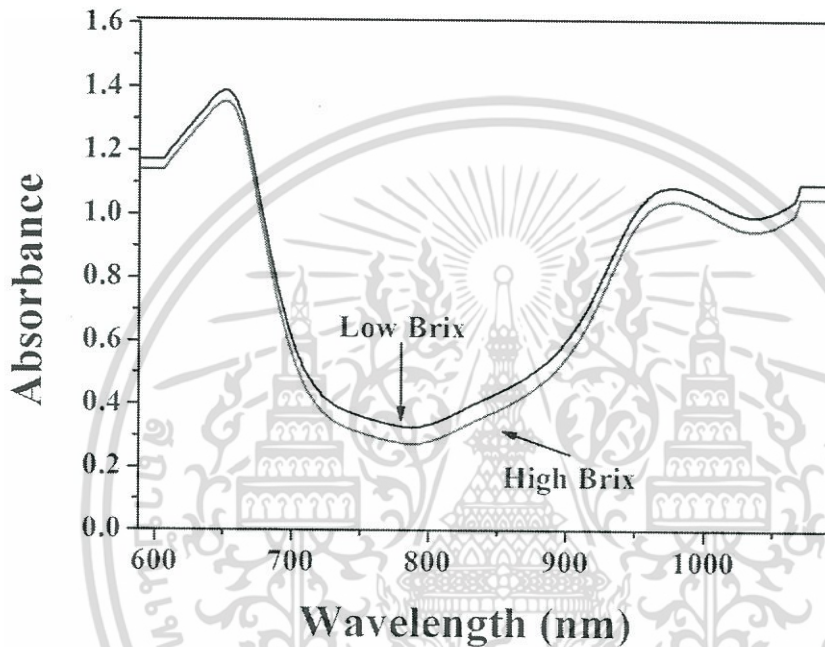


ภาพที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมะนาวที่มีปริมาณกรดที่ไทเตรทได้สูงและกลุ่มมะนาวที่มีปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ต่ำ

จากภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณกรดที่ไทเตรทได้สูงและกลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณกรดต่ำ ในช่วงความยาวคลื่น 588-1091 nm ปริมาณกรดที่ไทเตรทได้จะบ่งบอกถึงคุณภาพของผลมะนาว โดยจะบอกว่าผลไหนมีระดับความเปรี้ยวมากและผลไหนมีระดับความเปรี้ยวน้อย จากภาพจะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณกรดสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(มีปริมาณกรดในช่วง 5.5%-7.49%) มีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณกรดต่ำ (มีปริมาณกรดในช่วง 7.55%-9.47%) จากภาพจะเห็นว่า ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมะนาวทั้ง 2 กลุ่ม มีลักษณะปรากฏเป็นพีคบริเวณเดียวกัน แต่เส้นการดูดกลืนพลังงานแสงแตกต่างกันอย่างชัดเจน

4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลมะนาว

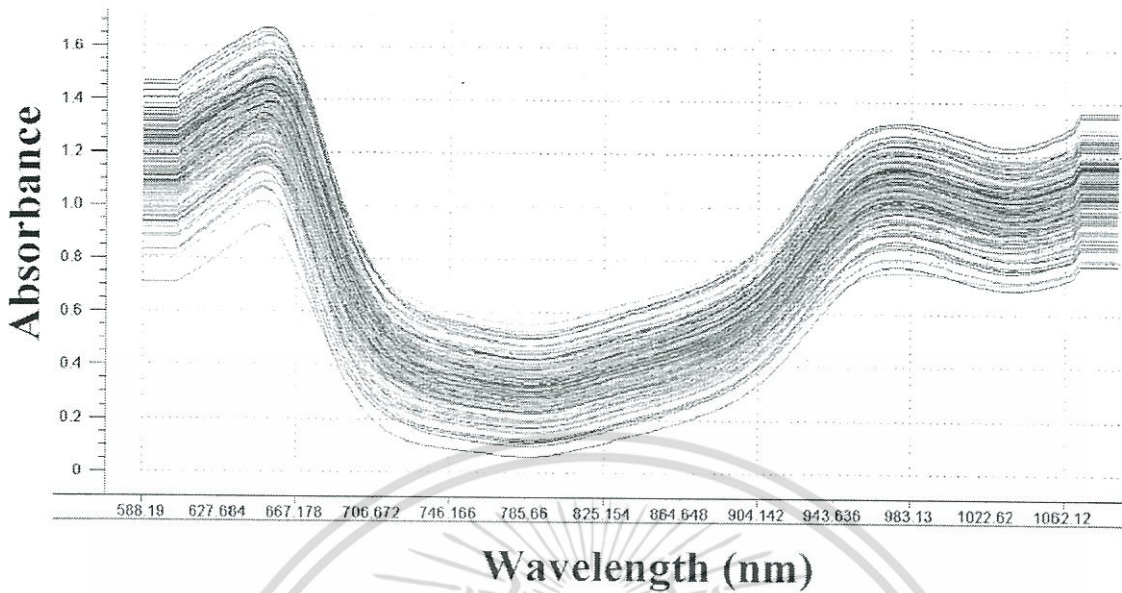


ภาพที่ 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมะนาวที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงและกลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่ำ

จากภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยกับมะนาวกลุ่มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงและกลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่ำในช่วงความยาวคลื่น 588-1091 nm จากภาพจะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูง (มีปริมาณบrix อยู่ในช่วง 6.57 °Bx -7.97 °Bx) มีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของกลุ่มมะนาวที่มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำต่ำ (มีปริมาณบrix อยู่ในช่วง 8.00 °Bx -9.70 °Bx) จากภาพจะเห็นว่า ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมะนาว 2 กลุ่ม มีลักษณะปรากฏเป็นพีคบริเวณเดียวกัน แต่เส้นการดูดกลืนพลังงานแสงแตกต่างกันอย่างชัดเจน

4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณน้ำคั้น (water content) ในผลมะนาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 แสดงค่าการดูดกลืนพลังงานแสงของผลมะนาวจากการสแกนด้วยเครื่อง NIR Gun โหมด Interactance ในช่วงความยาวคลื่น 588-1901 นาโนเมตร

4.2.1 การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้

การสร้างสมการและทดสอบสมการเพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในผลมะนาว ซึ่งในการทดลองนี้จะแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จากข้อมูลเพื่อสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ ใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 160 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 โดยจำนวนตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการมี 107 ตัวอย่าง และจำนวนในกลุ่มทดสอบสมการมี 53 ตัวอย่าง นอกจากนี้ การกลุ่มสร้างสมการจะมีค่าปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วยซึ่งในกลุ่มสร้างสมการมีค่าปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในช่วง 5.50%-9.47% และในกลุ่มทดสอบสมการค่าปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในช่วง 5.76%-8.90% นอกจากนี้การกระจายตัวของแต่ละกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน ($SD=0.78$ และ 0.72%)

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของ, การทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในผลมะนาว

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
%TA	Number of sample	107	53
	Range	5.50-9.47	5.76-8.90
	Mean	7.62	7.64
		0.78	0.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ SD ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ในผลมะนาว ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	Pre-processing techniques	TSS		
		F	R	RMSECV($^{\circ}$ Bx)
1	Original	4	0.80	0.45
2	Smoothing	4	0.81	0.44
3	1 st Derivative	4	0.76	0.50
4	2 nd Derivative	8	0.80	0.45
5	MSC	5	0.78	0.47
6	SNV	8	0.80	0.45

F = Factors, R= Correlation coefficient, RMSECV: Root mean square error of cross validation

หลังจากแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการได้แล้ว ทำการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 วิธีแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์มีหลายวิธี เช่น Smoothing, first derivative, second derivative, MSC และ SNV จากการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ พบว่าการแปลงข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิมด้วยวิธี Smoothing ให้ค่า R สูงสุด เท่ากับ 0.81 ในขณะที่เดียวกันก็ให้ค่า RMSECV = 0.44% ซึ่งให้ค่า RMSECV ที่ดีที่สุด ต้องมีค่าต่ำสุดด้วย ซึ่งค่า R เป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y นั่นก็คือ สเปกตรัมและค่าปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ ถ้าค่า R มีค่าสูง นั้นหมายถึง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์สูง ซึ่งบ่งบอกว่าสมการนี้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ ดังนั้น จึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการและทดสอบความแม่นยำของปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ในมะนาว

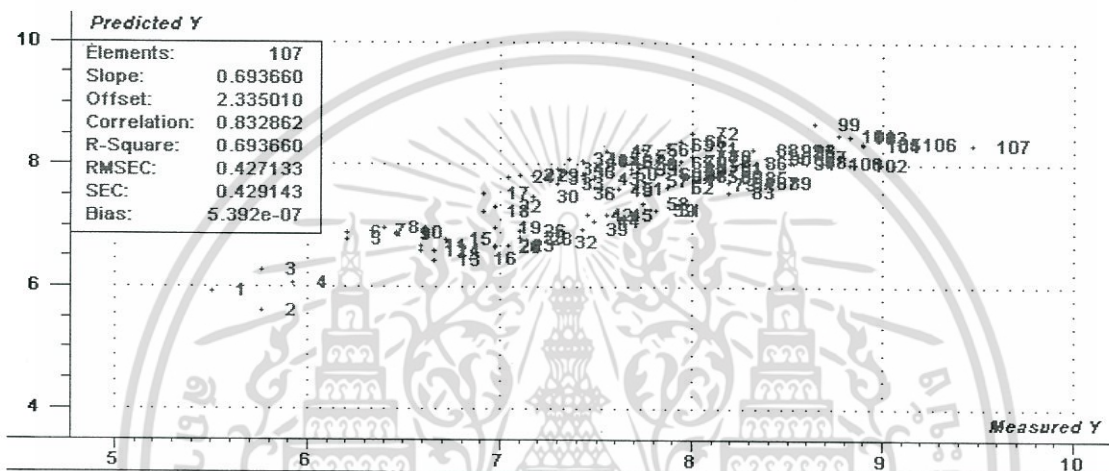
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ ข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดซึ่งเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ จะถูกนำมาผ่านกระบวนการทำ Smoothing แล้วสร้างสมการการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทางเชิงปริมาณ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR ด้วยโปรแกรม Unscambler พบว่า กลุ่มสร้างสมการได้ค่า R = 0.83, RMSEC = 0.242% ในขณะที่กลุ่มทดสอบสมการได้ค่า R = 0.79, RMSEP = 0.43%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

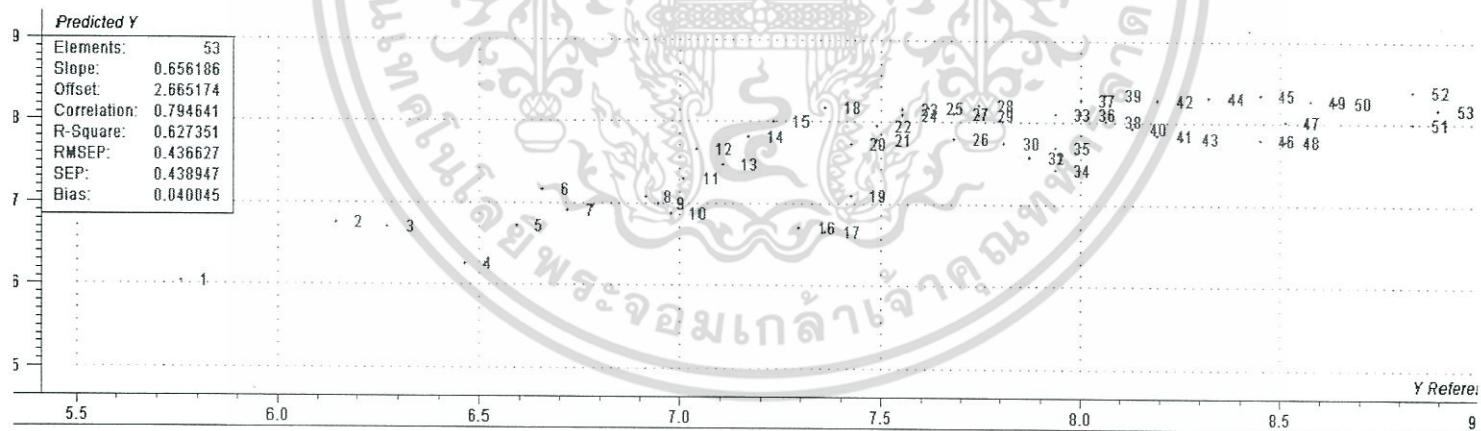
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณกรดที่ไต่อครทได้

Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R _c	RMSEC	N	R _p	RMSEP
%TA	Smoothing	4	107	0.83	0.42	53	0.79	0.43

N=Number of sample, F=Facto, R= Correlation coefficient, RMSEC= Root mean square error of calibration, RMSEP = Root mean square error of prediction



(a)



(b)

ภาพที่ 4.5 แสดงผลการทำนายปริมาณกรดที่ไต่อครทได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

(a) กลุ่มสร้างสมการ

(b) กลุ่มทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนภาพที่ 4.5 แสดงผลการทำนายปริมาณกรดที่ไเตรตทได้ในกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ จากกราฟจะเห็นว่า เป็นกราฟที่พลอตระหว่างค่าปริมาณกรดที่ไเตรตทได้ได้ที่วัดได้จริง และปริมาณกรดที่ไเตรตทได้จากค่าการทำนาย ค่าปริมาณกรดที่ไเตรตทได้ได้ที่วัดได้จริงจะเป็นการวัดโดยวิธีทำลายตัวอย่าง ลักษณะของกราฟที่พลอตได้ในกลุ่มสร้างสมการมีลักษณะเฉียงขึ้น 45 องศา และค่าที่ทำนายได้ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ในขณะที่เดียวกันลักษณะของกราฟที่พลอตได้ในกลุ่มทดสอบสมการมีลักษณะเฉียงขึ้น แต่ไม่ดีเหมือนกราฟที่พลอตในกลุ่มสร้างสมการ จากผลการทำนายปริมาณกรดที่ไเตรตทได้ กล่าวได้ว่า สมการนี้มีความแม่นยำในการ

ทำนายปริมาณกรดที่ไเตรตทได้ในระดับหนึ่ง

4.2.2 การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

สำหรับการสร้างสมการและทดสอบสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมะนาว ใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 192 ตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการมี 128 ตัวอย่าง และจำนวนในในกลุ่มทดสอบสมการมี 64 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.4 กลุ่มสร้างสมการมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ได้ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ โดยมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ที่ 6.57-9.95 °Bx ในขณะที่กลุ่มทดสอบสมการค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในช่วง 6.77-9.70 °Bx นอกจากนี้ในตารางที่ 4.4 ยังแสดงค่าเฉลี่ยของกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการอยู่ที่ 7.95 และ 7.98°Brix ตามลำดับ ส่วนค่า SD ของกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการมีค่าอยู่ที่ 0.67°Bx เท่ากัน

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลมะนาว

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
TSS (°Brix)	Number of sample	128	64
	Range	6.57-9.95	6.77-9.70
	Mean	7.95	7.98
	SD	0.67	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลมะนาวด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	Pre-processing techniques	TSS		
		F	R	RMSECV($^{\circ}$ Bx)
1	Original	10	0.80	0.39
2	Smoothing	10	0.82	0.37
3	1 st Derivative	15	0.80	0.40
4	2 nd Derivative	13	0.75	0.44
5	MSC	9	0.80	0.39
6	SNV	11	0.81	0.38

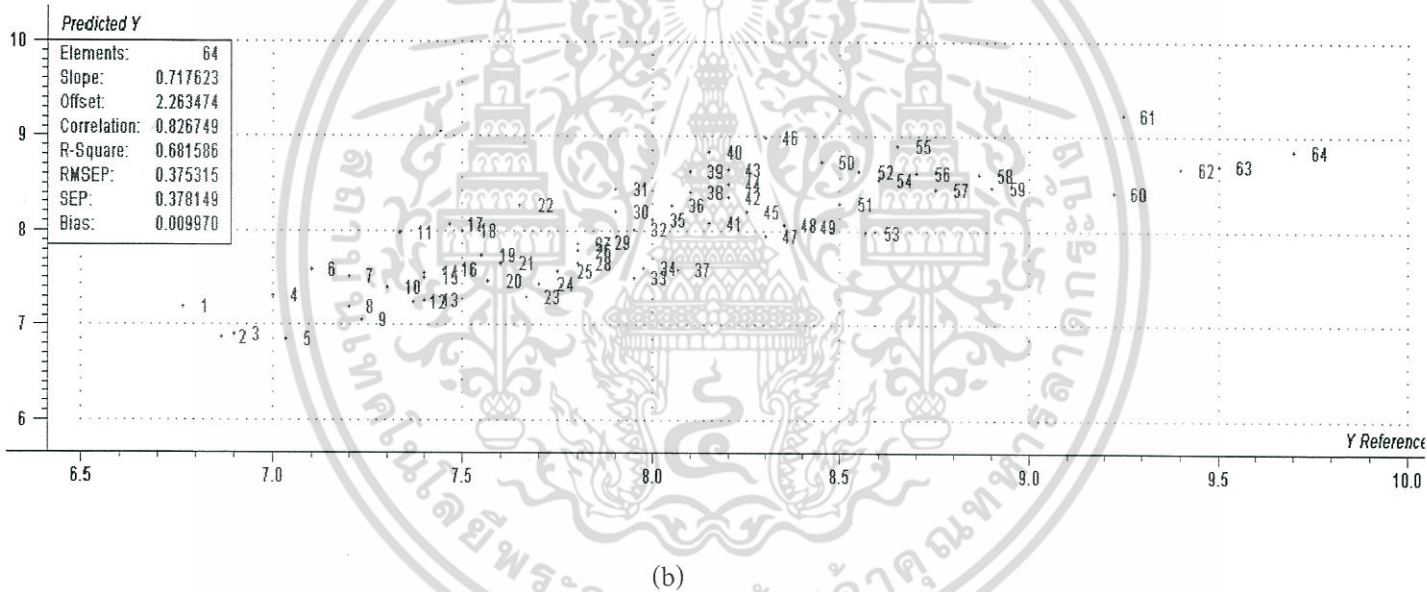
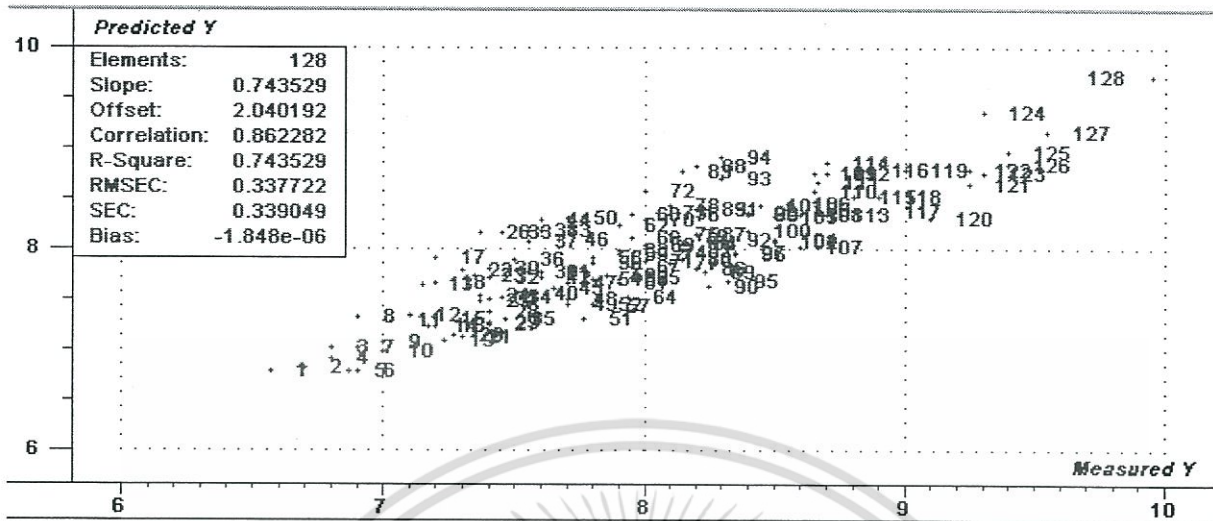
F = Factors, R = Correlation coefficient, RMSECV: Root mean square error of cross validation

สำหรับตารางที่ 4.5 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่ใช้สำหรับปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ใช้การพิจารณาจากข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการ จากตารางที่ 4.5 พบว่า ข้อมูลแบบ Smoothing ให้ผลดีที่สุด ซึ่งพิจารณาได้จากมีค่า R สูงสุด และค่า RMSECV ต่ำสุด เมื่อหาโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้แล้ว จะทำการทดสอบสมการด้วยกลุ่มทดสอบสมการ ซึ่งจะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.6 จะแสดงให้เห็นข้อมูลมีความสามารถในการสร้างสมการ โดยได้ค่า $R = 0.86$, $RMSEC = 0.33^{\circ}$ Bx และมีความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำโดยได้ค่า $R = 0.82$, $RMSEP = 0.37^{\circ}$ Bx ซึ่งผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำจะแสดงผลได้ดังภาพที่ 4.6(a) และ 4.6 (b)

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R_c	RMSEC	N	R_p	RMSEP
TSS($^{\circ}$ Bx)	Smoothing	10	128	0.86	0.33	64	0.82	0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

(a) กลุ่มสร้างสมการ

(b) กลุ่มทดสอบสมการ

4.2.3 การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณน้ำคั้น (water content) ในผลมะนาว

จากตารางที่ 4.7 จะแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณค่า water content ข้อมูลที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและทดสอบสมการมีทั้งหมด 141 ตัวอย่าง แบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการ (calibration set) และทดสอบสมการ (prediction set) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการนำข้อมูลทั้งหมดมาเรียงตามตัวแปร Y (ค่า water content) จากนั้นเลือกกลุ่มทดสอบสมการออกมา (prediction set) โดยเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) อยู่ไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) อยู่ไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) จะต้องมีค่าต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 4.7 ว่าค่า water content ในกลุ่มสร้างสมการทดสอบสมการมีค่า water content อยู่ที่ 83.57-96.04% และในกลุ่มทดสอบสมการมีค่า water content อยู่ที่ 85.56-93.49% เหตุผลที่ต้องเรียงค่า water content จากนั้นไปมาก เพราะค่า water content มีค่าที่แตกต่างกัน และกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ที่มีลักษณะดี ก็จะต้องมีช่วงค่าเคมีที่กว้างและกระจายตัว เพื่อให้เหมาะแก่การเป็นตัวแทนของกลุ่มสร้างสมการ (calibration set)

หลังจากนั้นนำข้อมูลกลุ่มสร้างสมการมาปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่ 4.8 ซึ่งจากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิค Smoothing ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ค่า $R=0.79$ และ $RMSECV=1.23\%$ ดังนั้นจึงเลือกโมเดล Smoothing มาเป็นโมเดลสำหรับสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณ water content ในผลมะนาว

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณ water content ในผลมะนาว

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
water content (%)	Number of sample	95	46
	Range	83.57-96.04	85.56-93.49
	Mean	89.92	89.86
	SD	2.03	1.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณ water content ในผลมะนาวด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	Pre-processing techniques	water content		
		F	R	RMSECV (%)
1	Original	6	0.77	1.28
2	Smoothing	7	0.79	1.23
3	First derivative	6	0.73	1.39
4	Second derivative	9	0.72	1.41
5	MSC	7	0.72	1.39
6	SNV	7	0.74	1.35

F = Factors, R= Correlation coefficient, RMSECV: Root mean square error of cross validation

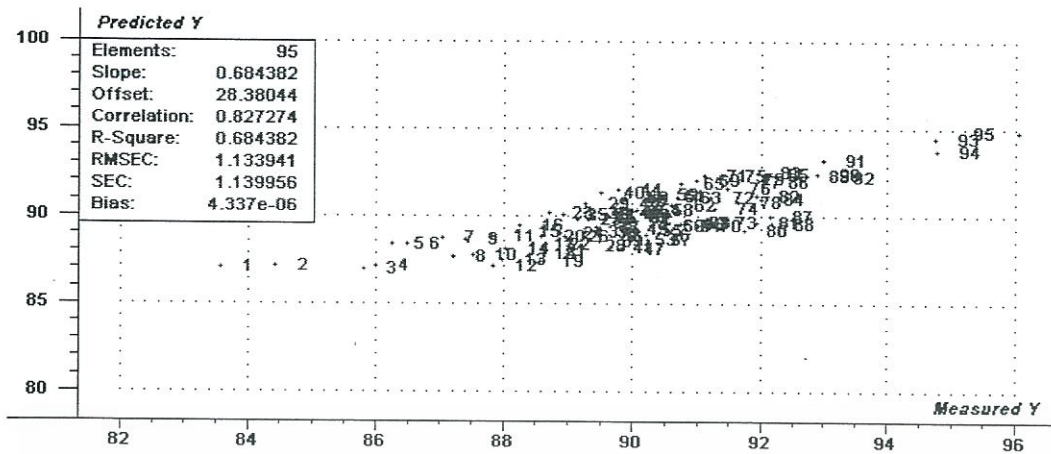
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณปริมาณ water content

Parameters	Pre-treatment	Calibration				Prediction		
		F	N	R_c	RMSEC	N	R_p	RMSEP
water content (%)	Smoothing	7	95	0.82	1.13	46	0.76	1.09

N=Number of sample, F=Facto, R= Correlation coefficient, RMSEC= Root mean square error of calibration, RMSEP = Root mean square error of prediction

จากตารางที่ 4.9 จะเป็นการนำโมเดลที่ดีที่สุด นั่นก็คือโมเดลที่ปรับปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิค Smoothing มาสร้างสมการ พบว่า ได้ค่า $R = 0.82$, $RMSEC = 1.13\%$ และเมื่อนำมาทดสอบในกลุ่มทดสอบสมการ พบว่า ได้ค่า $R = 0.76$, $RMSEP = 1.09\%$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สมการนี้มีความแม่นยำที่จะสามารถทำนายรับค่า water content ได้ภายในระดับหนึ่งเท่านั้น ซึ่งพิจารณาได้จากค่าในกลุ่มทดสอบสมการ R มีค่าเท่ากับ 0.76 ภาพที่ 4.7 (a) แสดงผลการทำนายปริมาณ water content ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และ 4.6(b) แสดงผลการทำนายปริมาณ water content ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

ภาพที่ 4.7 แสดงผลการทำนายปริมาณ water content ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

(a) กลุ่มสร้างสมการ

(b) กลุ่มทดสอบสมการ

4.2.4 การสร้างสมการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่

การสร้างสมการในการคัดแยกกลุ่มมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่จะทำการศึกษา โดยการเก็บข้อมูลมะขามหวานทั้งหมด 172 ตัวอย่าง แบ่งเป็นมะนาวพันธุ์แป้นจำนวน 86 ตัวอย่าง กลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่ จำนวน 86 ตัวอย่าง กำหนดให้กลุ่มมะนาวพันธุ์แป้น คือ 0 กลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่ คือ 1 หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์โดยสุ่มแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการโมเดล (calibration set) จำนวน 116 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set) จำนวน 56 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง NIR ในช่วงความยาวคลื่น 588-1091 นาโนเมตร สร้างสมการโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การคัดแยกถดถอยบางส่วนโดยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) และเปรียบเทียบแบบ cross-validation หลังจากนั้นข้อมูลสเปกตรัมที่ใช้สำหรับสร้างสมการ โมเดล (calibration set) มาทำการปรับแต่งด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังตารางที่ 4.10 และพบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมแบบไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Smoothing ให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด ($F=13$, total accuracy =98.27%)

ตารางที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

Spectral pretreatment	F	Pan variety		Kai variety		%Total accuracy
		corrected	uncorrected	corrected	uncorrected	
original	13	54/58	4/58	56/58	2/58	96.55
Smooth	13	57/58	1/58	57/58	1/58	98.27
1 st derivative	13	56/58	2/58	56/58	2/58	96.55
2 nd derivative	15	57/58	1/58	57/58	1/58	98.27
MSC	15	57/58	1/58	57/58	1/58	98.27

หลังจากนั้นเลือกสมการที่ดีที่สุด ซึ่งพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนาย แล้วพบว่า การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing ให้ผลดีที่สุด จึงนำสมการที่ปรับแต่งด้วยวิธี Smoothing มาทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยใช้กลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) พบว่ากลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ 100% โดยทำนายได้ถูกต้องทั้งหมด 56 ตัวอย่าง จากตัวอย่างทั้งหมด 56 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.10 ส่วนภาพที่ 4.8 จะแสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่และมะนาวพันธุ์แป้น ในกลุ่ม calibration set และกลุ่ม prediction set ซึ่งจากภาพที่ 4.2 จะกำหนดให้ 0 คือกลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่ ถ้าความสามารถการทำนายกลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่ได้เกณฑ์ต่ำกว่า 0.5 จะทำนายถูก แต่ถ้าทำนายได้สูงกว่า 0.5 จะทำนายผิด ส่วน 1 คือกลุ่มมะนาวพันธุ์แป้น ถ้าความสามารถการทำนายกลุ่มมะนาวพันธุ์แป้นสูงกว่า 0.5 จะทำนายถูก แต่ถ้าทำนายต่ำกว่า 0.5 จะทำนายผิด

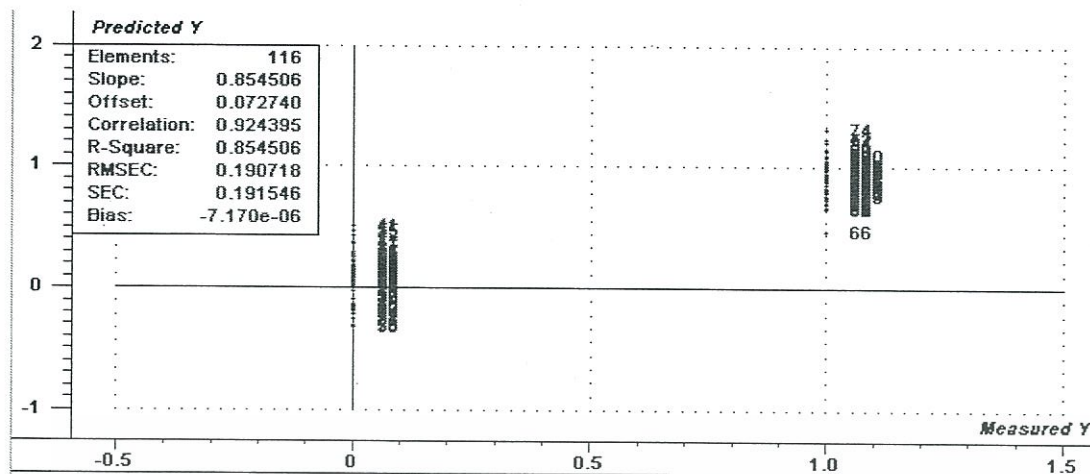
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA

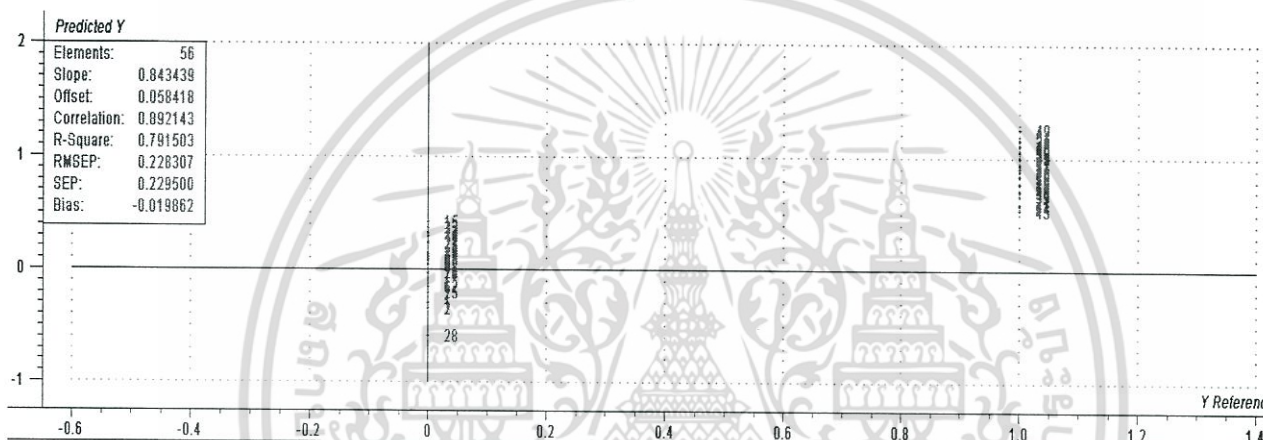
Items		The calibration set	The prediction set
number of samples		116	56
Wavelength(nm)		588-1091	588-1091
spectral pretreatment		Smoothing	Smoothing
factor		13	13
Pan variety of sample group	corrected	57/58	28/28
	uncorrected	1/58	0/28
Kai variety of sample group	corrected	57/58	28/28
	uncorrected	1/58	0/28
%total accuracy		98.27	100

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ มีความแม่นยำในการทำนายในกลุ่มสร้างสมการ 98.27 เปอร์เซ็นต์ และมีความแม่นยำในการทำนายในกลุ่มทดสอบสมการ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือได้ว่า NIR มีความสามารถในการคัดแยกพันธุ์ระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ได้ดีเยี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

ภาพที่ 4.8แสดงความแม่นยำในการแยกพันธ์ระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์โชง

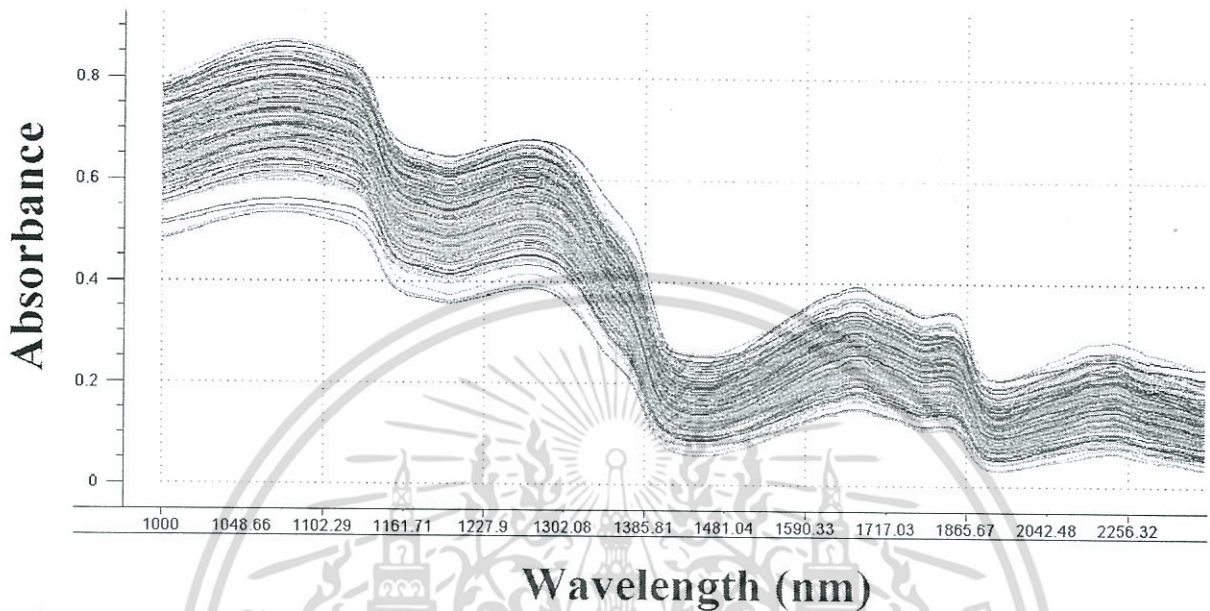
(a) กลุ่มสร้างสมการ

(b) กลุ่มทดสอบสมการ

4.3 ผลของการใช้เทคนิค NIRs โหมด Reflectance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายเพื่อทำนายคุณภาพของมะนาว

สำหรับการสร้างสมการและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพมะนาวโดยใช้เทคนิค NIRs โหมด Reflectance นั้น จะทดสอบโดยใช้เครื่อง NIR Flex N-500 ในช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm คุณภาพที่ใช้ตรวจสอบมะนาว คือ การหาปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้, การหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้และการหาปริมาณน้ำคั้นทั้งหมดในผลมะนาว สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพมะนาวในโหมด Reflectance นั้น จะเหมือนกับการตรวจสอบคุณภาพมะนาวในโหมด interactance คือแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุด คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR)



ภาพที่ 4.9 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของผลมะนาวจากการสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR โหมด Reflectance

4.3.1 การสร้างสมการเพื่อนำมาทำนายปริมาณกรดที่ใดเตรทได้

สำหรับการสร้างสมการเพื่อนำมาทำนายปริมาณกรดที่ใดเตรทได้นั้น จะทำโดยการเก็บตัวอย่างข้อมูลทั้งหมด 119 ตัวอย่าง แบ่งตัวอย่างเป็นข้อมูลสำหรับสร้างสมการจำนวน 80 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบสมการจำนวน 39 ตัวอย่าง วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง NIR ในช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm สร้างสมการในการทำนายปริมาณกรดที่ใดเตรทได้ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) และปรับเทียบแบบ cross-validation ซึ่งตารางที่ 4.12 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณกรดที่ใดเตรทได้

หลังจากนั้นทำการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.13 โดยพบว่าค่าการดูดกลืนแสงแบบดั้งเดิมหรือoriginalนั้นให้ค่าความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด คือ ได้ค่า $R=0.81$ และ $RMSECV=0.45\%$ เมื่อพบว่าข้อมูลสเปกตรัมแบบ Original ให้ผลดีที่สุด จึงนำข้อมูลชุดนี้มาสร้างสมการเพื่อนำมาทำนายปริมาณกรดที่ใดเตรทได้ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.14 คือ ได้ค่า $R=0.842$ และ $RMSEC=0.41\%$ หลังจากนั้นนำโมเดลสมการที่สร้างได้มาทดสอบความแม่นยำในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R=0.73$ และ $RMSEP = 0.41\%$ ส่วนภาพที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13 แสดงผลการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้โดยภาพ 4.10 (a) แสดงผลในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ และ 4.13 (b) แสดงผลในกลุ่มทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในผลมะนาว

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
%TA	Number of sample	80	39
	Range	5.76-9.47	6.08-8.9
	Mean	7.56	7.57
	SD	0.79	0.74

ตารางที่ 4.13 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในผลมะนาวด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	Pre-processing techniques	%TA		
		F	R	RMSECV (%)
1	Original	5	0.81	0.45
2	Smoothing	5	0.81	0.45
3	1 st Derivative	7	0.78	0.49
4	2 nd Derivative	6	0.76	0.50
5	MSC	5	0.78	0.48
6	SNV	5	0.78	0.48

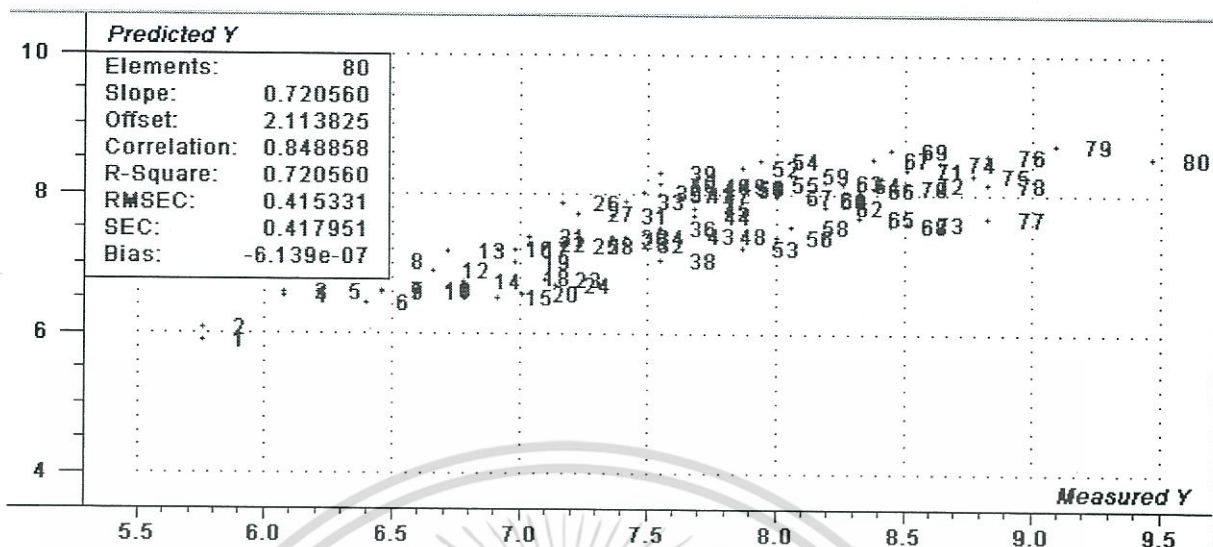
F = Factors, R= Correlation coefficient, RMSECV: Root mean square error of cross validation

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้

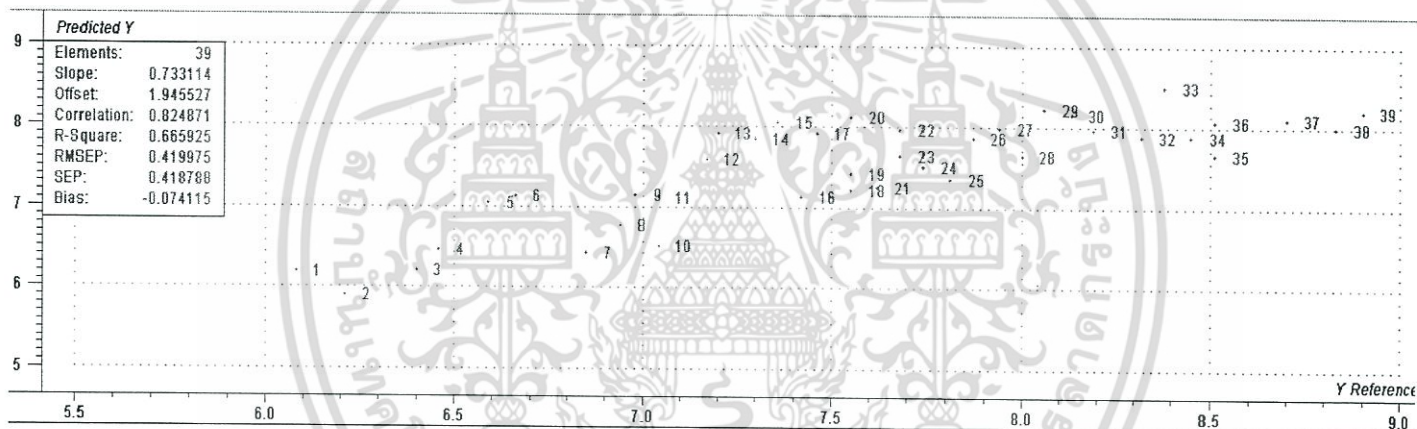
Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R _c	RMSEC	N	R _p	RMSEP
%TA	Original	5	80	0.84	0.41	39	0.73	0.41

N=Number of sample, F=Facto, R= Correlation coefficient, RMSEC= Root mean square error of calibration, RMSEP = Root mean square error of prediction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

ภาพที่ 4.10 แสดงผลการทำนายปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

(a) กลุ่มสร้างสมการ

(b) กลุ่มทดสอบสมการ

4.3.2 การสร้างสมการและทดสอบเพื่อนทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้

การสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยเทคนิค NIR ในโหมด Reflectance นี้ ใช้ข้อมูลทั้งหมด 139 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 95 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 44 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.15 เป็นตารางแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRS กับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) และทดสอบสมการแบบ cross-validation โดยให้ตัวแปรต้น (x) เป็นสเปกตรัม และตัวแปรตาม (y) เป็นค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาตร สำหรับกลุ่มที่สร้างสมการจะต้องมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลมะนาว

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
TSS ($^{\circ}$ Bx)	Number of sample	95	44
	Range	6.57-9.25	6.73-9.07
	Mean	7.81	7.81
	SD	0.61	0.57

ตารางที่ 4.16 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลมะนาวด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	Pre-processing techniques	TSS		
		F	R	RMSECV ($^{\circ}$ Bx)
1	Original	6	0.84	0.32
2	Smoothing	6	0.84	0.32
3	1 st Derivative	5	0.83	0.33
4	2 nd Derivative	2	0.77	0.38
5	MSC	7	0.84	0.32
6	SNV	7	0.83	0.33

F = Factors, R= Correlation coefficient, RMSECV: Root mean square error of cross validation

เมื่อแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการได้แล้ว การแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งมีอยู่หลายวิธี แสดงได้ดังตารางที่ 4.16 จากการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ พบว่าการแปลงข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิมให้ค่า R สูงสุด เท่ากับ 0.84 และค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$RMSECV = 0.32^{\circ}Bx$ ซึ่งค่า R เป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y นั่นก็คือ สเปกตรัมและค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ถ้าค่า R มีค่าสูง นั้นหมายถึง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์สูง ซึ่งบ่งบอกว่าสมการนี้มีความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ดังนั้น ในการวิเคราะห์นี้ จึงเลือกโมเดล original มาเป็น โมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการและทดสอบความแม่นยำของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในขณะนี้

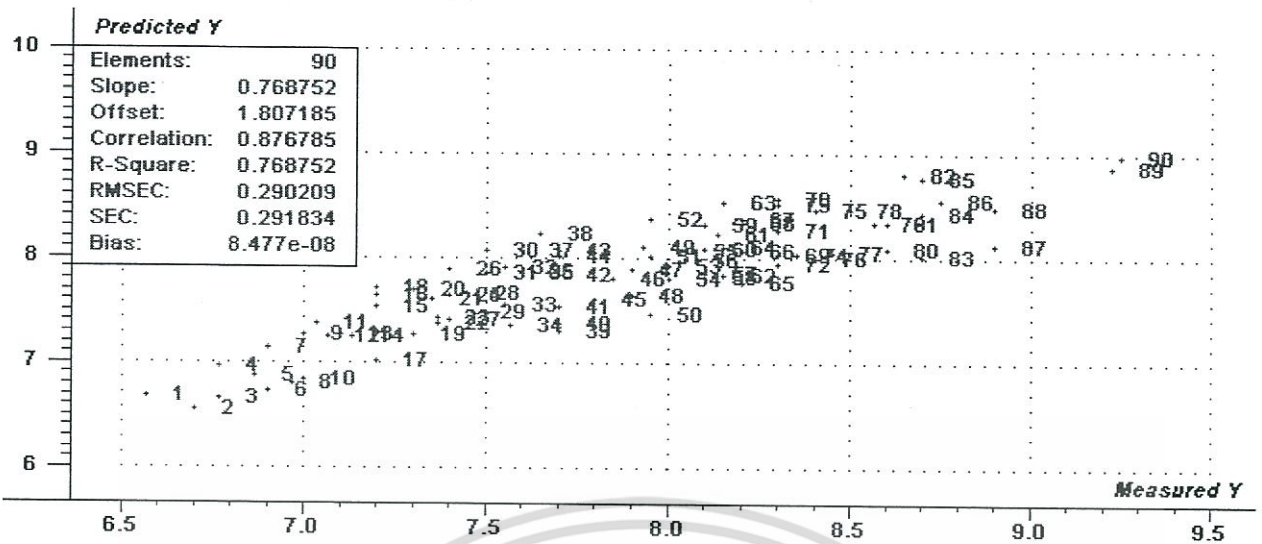
ตารางที่ 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ข้อมูลสเปกตรัมแบบ original ถูกนำมาสร้างสมการการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทางเชิงปริมาณจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLSR ด้วยโปรแกรม Unscambler พบว่า กลุ่มสร้างสมการได้ค่า $R = 0.87$, $RMSEC = 0.29^{\circ}Bx$ ในขณะที่ค่า R และค่า RMSEP ในกลุ่มทดสอบสมการได้เท่ากับ 0.80 และ $0.35^{\circ}Bx$ ตามลำดับส่วนภาพที่ 4.11 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มทดสอบสมการ จากกราฟจะเห็นว่า เป็นกราฟที่พลอตระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดได้จริง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่ได้จากค่าการทำนาย ซึ่งลักษณะของกราฟที่พลอตได้ มีลักษณะเฉียงขึ้น 45 องศา และค่าที่ทำนายได้ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า สมการนี้มีความแม่นยำพอสมควรในการการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ตารางที่ 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

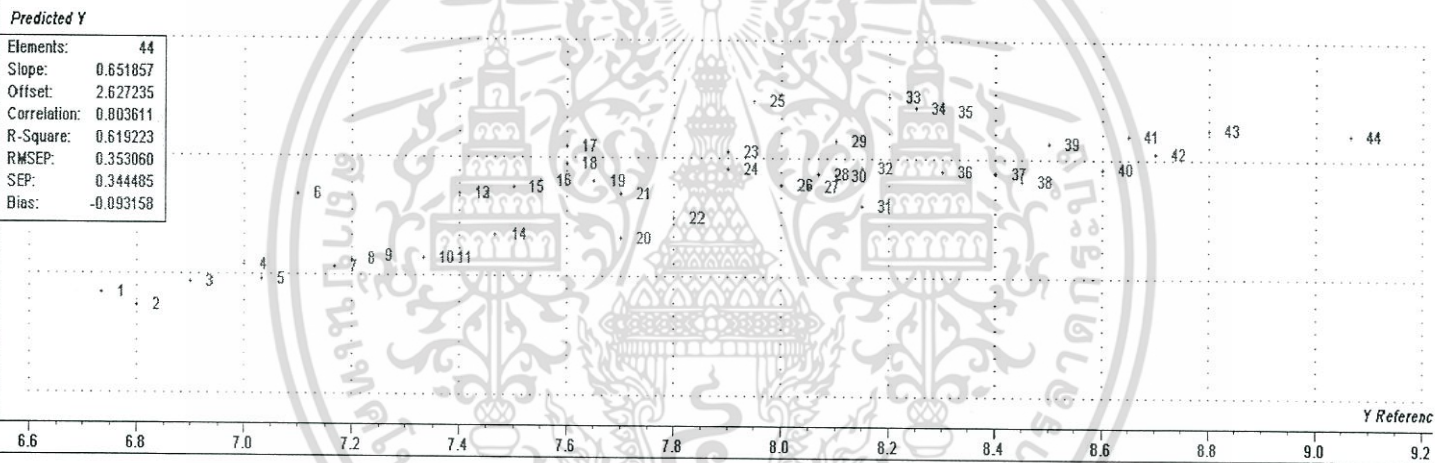
Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R_c	RMSEC	N	R_p	RMSEP
TSS($^{\circ}Bx$)	Original	6	90	0.87	0.29	44	0.80	0.35

N=Number of sample, F=Facto, R= Correlation coefficient, RMSEC= Root mean square error of calibration; RMSEP = Root mean square error of prediction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

ภาพที่ 4.11 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

(a) กลุ่มสร้างสมการ

(b) กลุ่มทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณน้ำคั้น(water content) ในผลมะนาว

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณ water content นี้ จะใช้ข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 154 ตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลทั้ง 154 ตัวอย่าง จะแบ่งออกเป็นกลุ่มที่สำหรับสร้างสมการจำนวน 103 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จำนวน 51 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.18 โดยจำนวนตัวอย่างของกลุ่มสร้างสมการจะต้องมีค่ามากกว่ากลุ่มสำหรับทดสอบสมการ และข้อมูลทางเคมีของกลุ่มสร้างสมการต้องครอบคลุมชุดของกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ ซึ่งตารางที่ 4.18 จะเห็นว่า ค่าเคมีของปริมาณ water content ในกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการมีค่าอยู่ที่ 87.29-93.12% และ 87.83-93.05%ตามลำดับ

ตารางที่4.18แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณปริมาณ water content ในผลมะนาว

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
water content (%)	Number of sample	103	51
	Range	87.29-93.12	87.83-93.05
	Mean	90.35	90.38
	SD	1.28	1.25

ตารางที่4.19 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณ water content ในผลมะนาวด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	Pre-processing techniques	water content		
		Factor	R	RMSECV(%)
1	Original	5	0.55	1.06
2	Smoothing	8	0.59	1.02
3	First derivative	4	0.58	1.04
4	Second derivative	5	0.52	1.12
5	MSC	8	0.62	0.99
6	SNV	8	0.60	1.01

F = Factors, R= Correlation coefficient, RMSECV: Root mean square error of cross validation

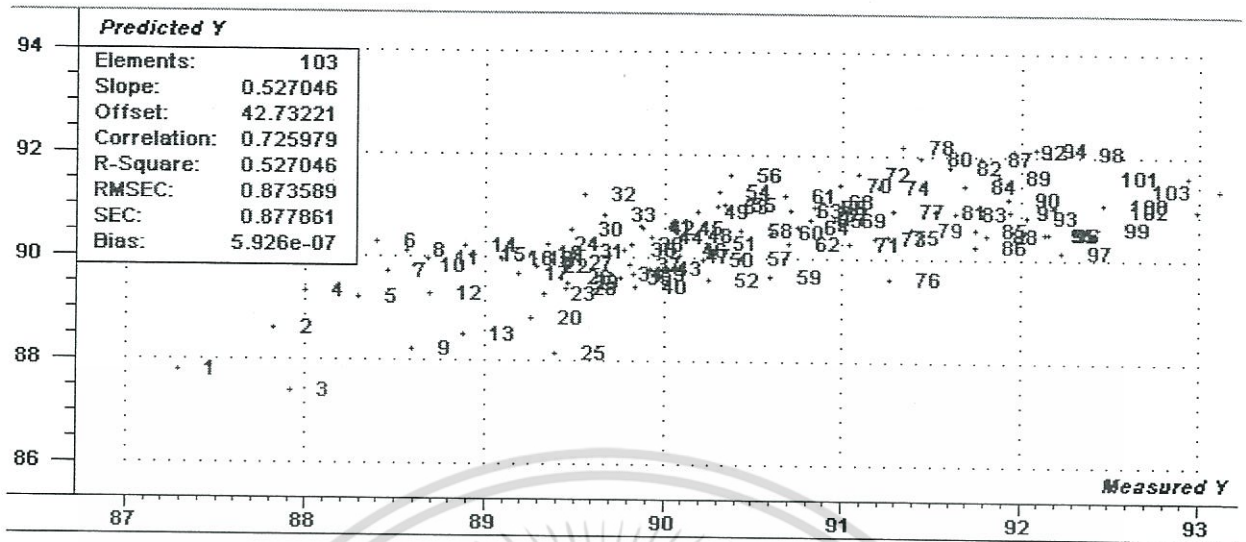
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการมาทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ดังตารางที่ 4.19 การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เป็นวิธีการที่กำจัดปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม จากตารางที่ 4.19 จะเห็นว่าข้อมูลที่ผ่านการทำ pretreatment ด้วยวิธี MSC ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ ได้ค่า $R=0.62$ และ $RMSECV=0.99\%$ ซึ่งการทำ pretreatment ด้วยวิธี MSC นำข้อมูลที่ผ่านการทำ pretreatment ด้วยวิธี MSC มาสร้างสมการทำนายปริมาณ water content โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) โดยพบว่า ได้ค่า $R=0.72$ และ $RMSEC=0.87\%$ และนำโมเดลมาทดสอบความแม่นยำในกลุ่มทดสอบสมการ พบว่า $R=0.65$ และ $RMSEP=0.96\%$ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.12 และแสดงได้ดังภาพที่ 4.12(a) และ 4.12(b)

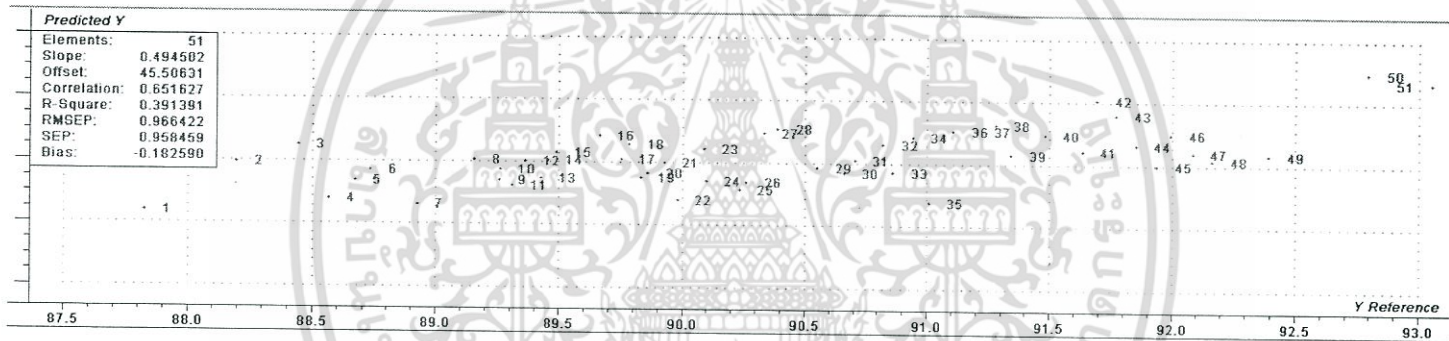
ตารางที่ 4.20 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณ water content

Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R_c	RMSEC	N	R_p	RMSEP
water content (%)	MSC		103	0.72	0.87	51	0.65	0.96

N=Number of sample, F=Facto, R= Correlation coefficient, RMSEC= Root mean square error of calibration, RMSEP = Root mean square error of prediction



(a)



(b)

ภาพที่ 4.12 แสดงผลการทำนายปริมาณ water content ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

(a) กลุ่มสร้างสมการ

(b) กลุ่มทดสอบสมการ

4.3.4 การสร้างสมการเพื่อคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์ไข่และมะนาวพันธุ์แป้น

การสร้างสมการในการคัดแยกกลุ่มระหว่างมะนาวพันธุ์ไข่และมะนาวพันธุ์แป้น จะทำการศึกษา โดยการเก็บข้อมูลมะนาวพันธุ์ไข่และมะนาวพันธุ์แป้นทั้งหมด 176 ตัวอย่าง แบ่งเป็นมะนาวพันธุ์ไข่จำนวน 87 ตัวอย่าง กลุ่มมะนาวพันธุ์แป้นจำนวน 87 ตัวอย่าง กำหนดให้กลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่คือ 0 กลุ่มมะนาวพันธุ์แป้น คือ 1 หลังจากนั้น นำมาวิเคราะห์โดยสุ่มแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการโมเดล (calibration set) จำนวน 118 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set) จำนวน 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง สร้างสมการโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การคัดแยกถดถอยบางส่วนโดยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) และเปรียบเทียบแบบ cross-validation

ตาราง 4.21 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

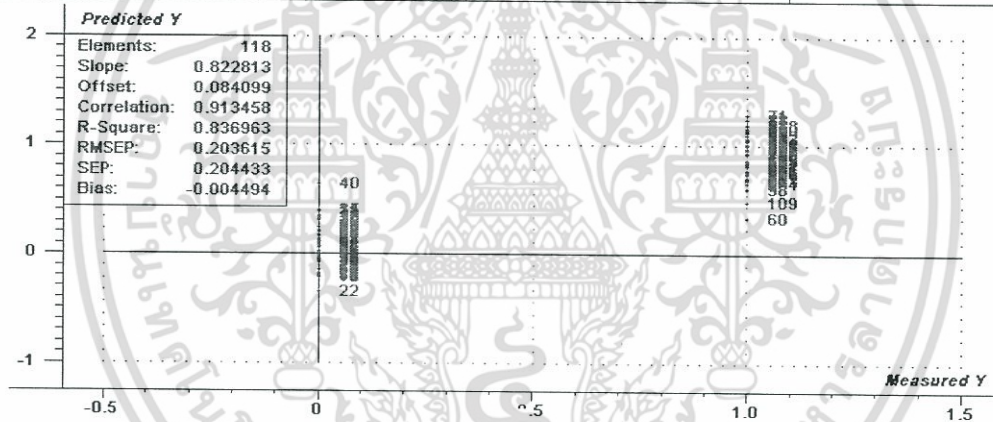
Spectral pretreatment	F	Pan variety		Kai variety		%Total accuracy
		corrected	uncorrected	corrected	uncorrected	
original	14	57/59	2/59	54/59	5/59	94.07
Smooth	14	58/59	1/59	54/59	5/59	94.92
First derivative	8	59/59	0/59	56/59	3/59	97.46
Second derivative	4	58/59	1/59	58/59	1/59	98.31
MSC	12	56/59	3/59	53/59	6/59	92.37

นำข้อมูลสเปกตรัมที่ใช้สำหรับสร้างสมการโมเดล (calibration set) มาทำการปรับแต่งด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.21 และพบว่า การปรับแต่งสเปกตรัมแบบดั้งเดิมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) ให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด (F= 4, total accuracy =98.31%) หลังจากนั้นเลือกสมการที่ดีที่สุด ซึ่งพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนาย แล้วพบว่า การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี second derivative ให้ผลดีที่สุด จึงนำสมการที่ปรับแต่งด้วยวิธี second derivative มาทดสอบความแม่นยำของสมการโดยใช้กลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) พบว่ากลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ 100% โดยทำนายได้ถูกต้องทั้งหมด 58 ตัวอย่าง จากตัวอย่างทั้งหมด 58 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.22 ส่วนภาพที่ 4.13 จะแสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่และกลุ่มมะนาวพันธุ์แป้น ในกลุ่ม calibration set และกลุ่ม prediction set ซึ่งจากภาพที่ 4.13 จะกำหนดให้ 0 คือกลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่ ถ้าความสามารถการทำนายกลุ่มมะนาวพันธุ์แป้นได้เกณฑ์ต่ำกว่า 0.5 จะทำนายถูก แต่ถ้าทำนายได้สูงกว่า 0.5 จะทำนายผิด ส่วน 1 คือกลุ่มมะนาวพันธุ์แป้น ถ้าความสามารถการทำนายกลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่เกิดอาการผิดปกติกายในสูงกว่า 0.5 จะทำนายถูก แต่ถ้าทำนายต่ำกว่า 0.5 จะทำนายผิด

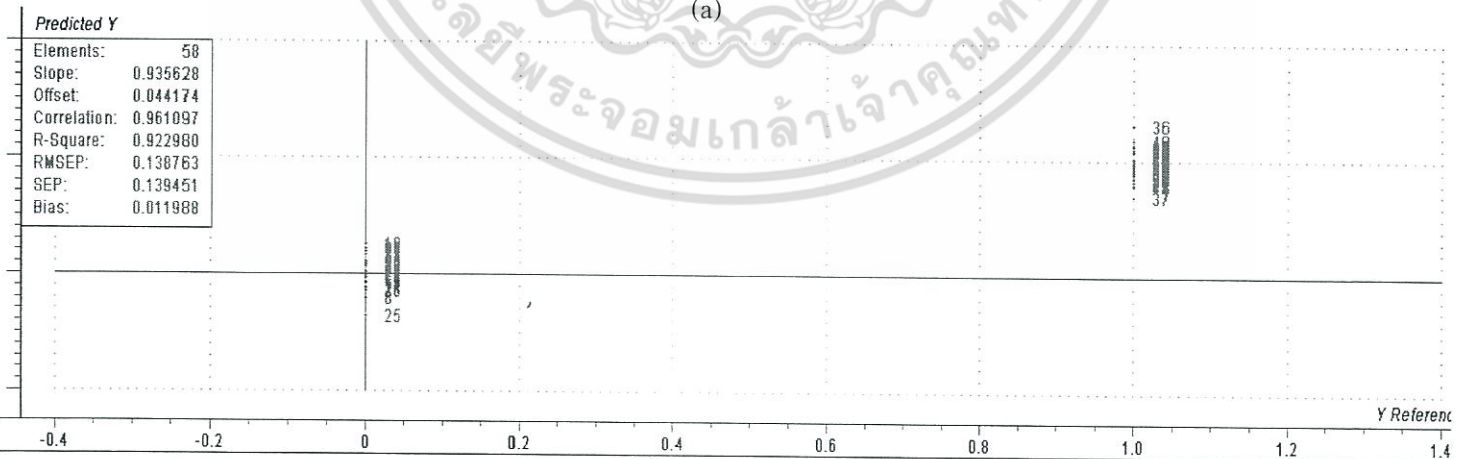
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการการคัดแยกระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นและมะนาวพันธุ์ไข่ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA

Items		The calibration set	The prediction set
number of samples		118	58
wavelength(nm)		1000-2500	1000-2500
spectral pretreatment		Second derivative	Second derivative
factor		4	4
Pan variety of sample group	corrected	58/59	29/29
	uncorrected	1/59	0/29
Kai variety of sample group	corrected	57/59	29/29
	uncorrected	2/59	0/29
%total accuracy		97.46	100



(a)



(b)

ภาพที่ 4.13 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มมะนาวพันธุ์ไข่และกลุ่มมะนาวพันธุ์แป้น

(a) กลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและ (b) กลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของการใช้เทคนิค Vis-NIRs โหมด Reflectance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายเพื่อทำนายคุณภาพของมะนาว

การใช้ Vis-NIRs โหมด Reflectance ในการทำนายค่าคุณภาพของมะนาวจะทดสอบโดยใช้เครื่อง Vis/NIR (XDS Rapid Content TM Analyser) ในช่วงความยาวคลื่น 400-2500 nm โดยโหมด reflectance จะเป็นการให้แสงตกกระทบพื้นที่ผิวของตัวอย่าง แล้ววัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมา ซึ่งแตกต่างจาก โหมด interaction ซึ่งเป็นการใช้แสง NIR ส่องผ่านมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics probe การตรวจสอบคุณภาพของมะนาวในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็นการสร้างสมการในการทำนายค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพมะนาวโดยใช้ Vis-NIRs ในหัวข้อนี้ จะเหมือนกับการตรวจสอบคุณภาพมะนาวในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 คือ แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) ซึ่งผลการทำนายจะแสดงได้ดังหัวข้อ ต่อไปนี้

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายระดับค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ จากตารางที่ 4.23 จะแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับระดับค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำจากตาราง จะเห็นว่า การทำนายระดับค่า pH ใช้ข้อมูลทั้งหมด 140 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จะมีตัวอย่างในกลุ่ม 96 ตัวอย่าง และ 44 ตัวอย่าง ตามลำดับ ขณะที่ การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำจะใช้ข้อมูลสำหรับสร้างสมการจำนวน 78 ตัวอย่าง และข้อมูลสำหรับทดสอบสมการจำนวน 39 ตัวอย่าง สำหรับขั้นตอนการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและทดสอบสมการนั้น จะทำโดย นำตัวแปรตาม (y) ซึ่งก็คือค่า pH และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำมาเรียงค่าจากน้อยไปหามาก แล้วเลือกข้อมูลเพื่อใช้เป็นกลุ่มสำหรับทดสอบสมการออกมาให้ได้ 30% โดยกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะต้องมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย จากตารางที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าค่า pH ที่วัดได้ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะมีค่าอยู่ที่ 2.12-2.64 และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจะมีค่าอยู่ที่ 2.12-2.61 นอกจากนี้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำที่วัดได้ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะมีค่าอยู่ที่ 6.2-8.7 °Bx และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจะมีค่าอยู่ที่ 6.9-8.7 °Bx ซึ่งการแบ่งกลุ่มวิธีนี้ จะช่วยให้ข้อมูลตัวแปรตามเกิดการกระจายตัวระหว่างกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ และยังช่วยลดความแปรปรวนของข้อมูลอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
pH	Number of sample	96	44
	Range	2.12-2.64	2.12-2.61
	Mean	2.33	2.31
	SD	0.157	0.161
TSS (°Bx)	Number of sample	78	39
	Range	6.2-8.7	6.9-8.7
	Mean	7.68	7.71
	SD	0.43	0.42

ตารางที่ 4.24 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	Pre-processing techniques	pH			TSS		
		F	R	RMSECV	Factor	R	RMSECV(°Bx)
1	Original	12	0.891	0.073	14	0.74	0.29
2	Smoothing	12	0.890	0.073	14	0.74	0.29
3	1 st Derivative	12	0.910	0.069	9	0.74	0.29
4	2 nd Derivative	7	0.902	0.068	7	0.70	0.30
5	MSC	12	0.882	0.074	13	0.75	0.28
6	SNV	12	0.884	0.075	10	0.74	0.29

F = Factors, R= Correlation coefficient, RMSECV: Root mean square error of cross validation

เมื่อทำการแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลในกลุ่มสำหรับสร้างสมการมาปรับแต่งข้อมูลเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ดังตารางที่ 4.24 ซึ่งจากตารางนี้ จะเห็นว่าการปรับแต่งข้อมูลเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้สมการที่ดีที่สุดในการเอกสการนี้เป็นเอกสการที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสการทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนาค่า pH ด้วยวิธี ให้ผลดีที่สุด คือ ให้ค่า $R = 0.91$ และ $RMSECV = 0.069$ นำข้อมูลกลุ่มที่ผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี fist derivative มาสร้างสมการและทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R = 0.95$ และ $RMSEC = 0.046$ และ $R = 0.95$ และ $RMSEP = 0.05$ ตามลำดับ แสดงได้ดังตารางที่ 4.21 สำหรับการสร้างสมการเพื่อนำมาประมาณค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ จะพบว่าวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้สมการที่ดีที่สุดในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำด้วยวิธี MSC ให้ผลดีที่สุด คือ ให้ค่า $R = 0.75$ และ $RMSECV = 0.28$ นำข้อมูลกลุ่มที่ผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี MSC มาสร้างสมการและทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R = 0.87$ และ $RMSEC = 0.20$ °Bx และ $R = 0.81$ และ $RMSEP = 0.25$ °Bx ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ดังตารางที่ 4.25 และจากตารางที่ 4.25 ยังสามารถแสดงผลออกมาได้ดังภาพที่ 4.14 (a) และ 4.14 (b) โดยภาพที่ 4.16 (a) แสดงผลการทำนายค่า pH ในกลุ่มทดสอบสมการเพื่อทำนายค่า pH ภาพที่ 4.14 (b) แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในกลุ่มทดสอบสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

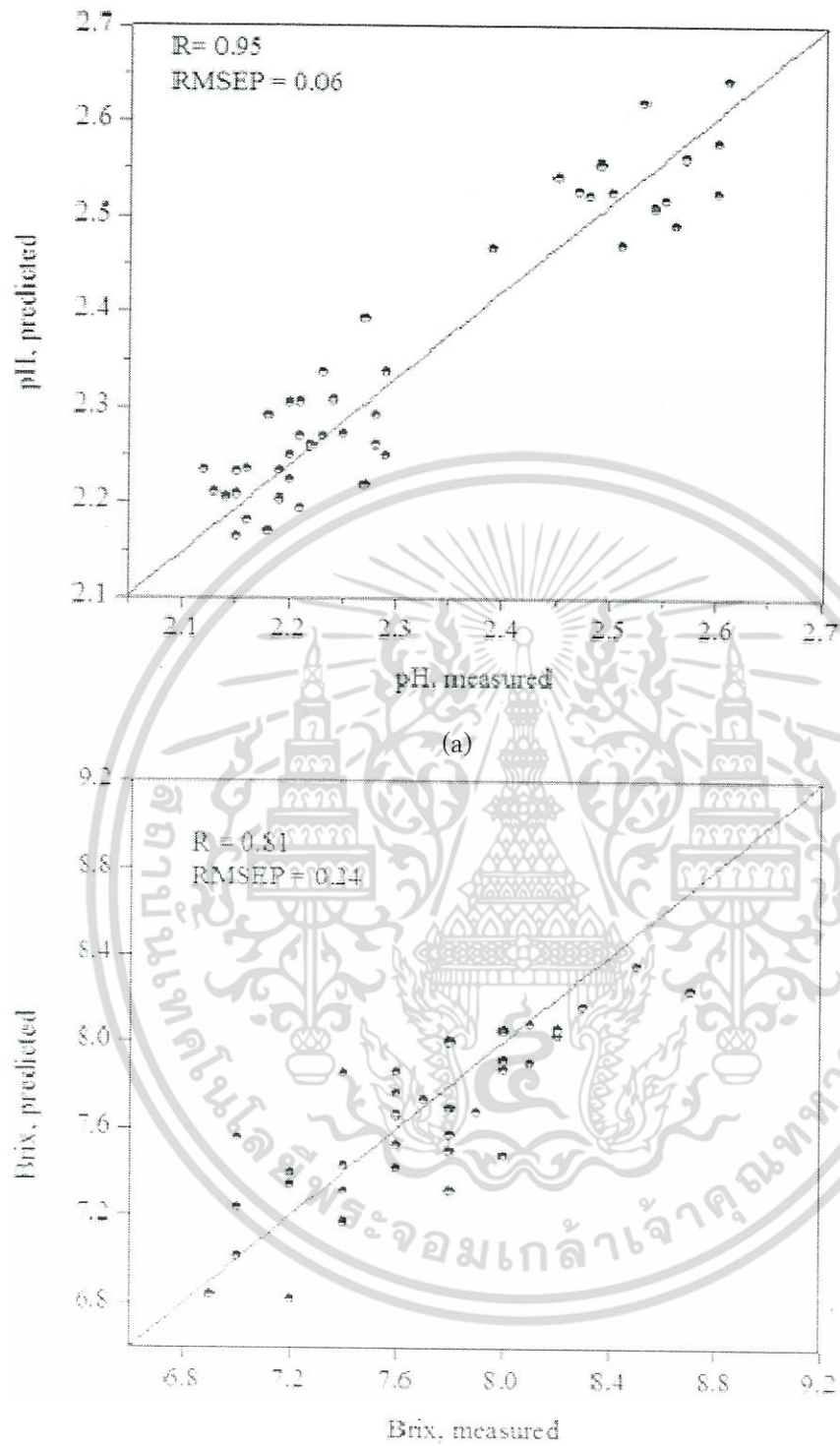
ตารางที่ 4.25 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction			
			N	R _c	RMSEC	N	R _p	SEP	RMSEP
pH	1 st Derivative	12	96	0.96	0.046	44	0.95	0.05	0.06
TSS(°Bx)	MSC	13	78	0.87	0.20	39	0.81	0.24	0.24

F = Factors, N= Number, R= Correlation coefficient, RMSEC= Root mean square error of calibration,

RMSEP = Root mean square error of prediction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

ภาพที่ 4.14 แสดงผลการทำนายค่า pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการเพื่อทำนายค่า pH

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การสร้างสมการเพื่อทำนายคุณภาพมะนาวโดยใช้ NIR hyperspectral imaging

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายคุณภาพมะนาว โดยจะตรวจสอบคุณภาพมะนาวพันธุ์เป็น โดยใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 910-1700 นาโนเมตร โดยคุณภาพที่ใช้ในการตรวจสอบมีดังต่อไปนี้

- ทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในผลมะนาว
- ทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในผลมะนาว
- ทำนายปริมาณน้ำคั้น (water content) ในผลมะนาว

4.5.1 ผลการทดลองในเชิงปริมาณเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในผลมะนาว

การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในผลมะนาวเครื่อง NIR hyperspectral imaging โดยจะเก็บข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 48 ตัวอย่างและแบ่งตัวอย่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในผลมะนาวออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม calibration set ซึ่งมีตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง และกลุ่ม prediction set ซึ่งมีตัวอย่างจำนวน 18 ตัวอย่าง โดยทั่วไปกลุ่ม calibration set เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง NIR ในช่วงความยาวคลื่น 910-1700 นาโนเมตร โดยจะนำตัวอย่าง 30 ตัวอย่างซึ่งเป็นกลุ่ม calibration set มาสร้างโมเดลจาก hyperspectral imaging จากนั้นทำนายภาพมะนาวจากโมเดลที่สร้างได้ แล้วนำผลภาพที่ทำนายได้ไปตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง จากตารางที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า กลุ่ม calibration set มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำอยู่ที่ 7.00-9.95 °Bx และกลุ่ม Prediction set มีค่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำอยู่ที่ 7.35-9.70 °Bx ซึ่งลักษณะการแบ่งกลุ่ม calibration set และกลุ่ม Prediction set ที่ดีนั้น กลุ่ม calibration set ซึ่งเป็นกลุ่มสำหรับการสร้างโมเดล จำเป็นต้องมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงสุดและต่ำสุดในกลุ่มนี้ด้วย ในการวิเคราะห์เพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำจะใช้ตัวอย่างในกลุ่ม Prediction set ที่ละ 1 ตัวอย่างมาทำนาย จนทำนายตัวอย่างครบทั้งหมด 18 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
TSS ($^{\circ}$ Bx)	Number of sample	30	18
	Range	7.00-9.95	7.35-9.70
	Mean	8.19	8.15
	SD	0.69	0.67

สำหรับตารางที่ 4.27 เป็นการแสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ วิธีการปรับแต่งสเปกตรัม (pretreatments) ที่ได้ทำการวิเคราะห์หามีหลายวิธี เช่น Smoothing, first derivative, Second derivative, Multiplicative scatter correction (MSC), and Standard normal variate (SNV) เมื่อข้อมูลผ่านการทำ pretreatments แล้ว จะพิจารณาค่า R^2 และ RMSECV โดยค่า R^2 จะต้องมีค่าสูงสุด และ RMSECV จะต้องมีค่าต่ำสุดด้วย จากตารางที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมโดยวิธี Smoothing ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ $R^2 = 0.85$ และ $RMSECV = 0.36^{\circ}$ Bx

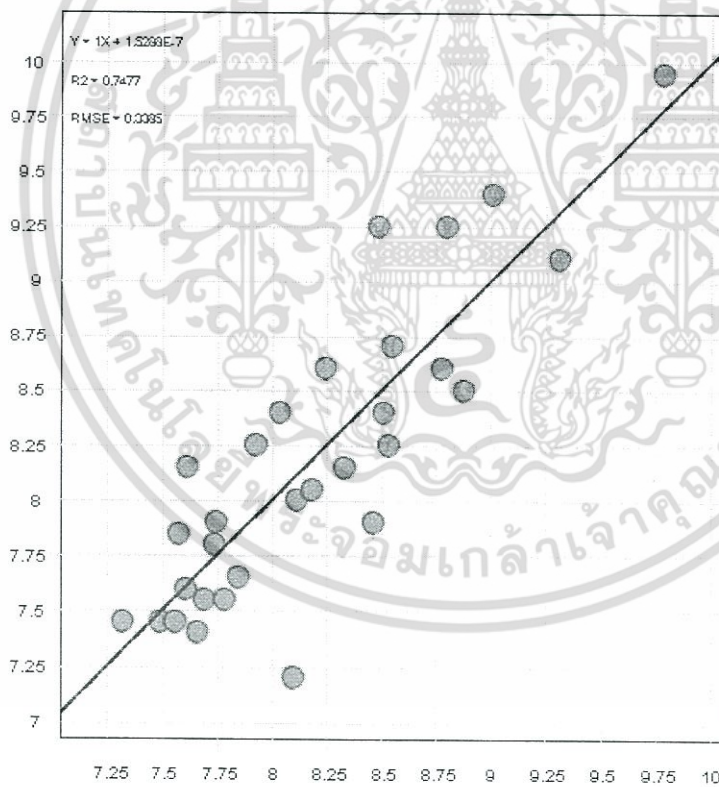
ตารางที่ 4.27 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	Pre-processing techniques	TSS		
		Factor	R	RMSECV($^{\circ}$ Bx)
1	Original	3	0.82	0.38
2	Smoothing	5	0.85	0.36
3	1 st Derivative	1	0.75	0.44
4	2 nd Derivative	2	0.74	0.46
5	MSC	2	0.77	0.43
6	SNV	1	0.69	0.48

F = Factors, R= Correlation coefficient, RMSECV: Root mean square error of cross validation

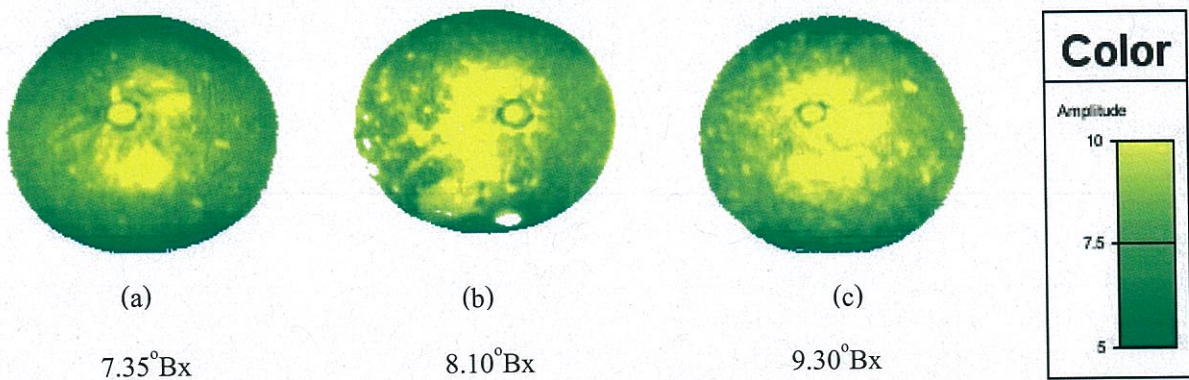
หลังจากนั้น นำข้อมูลที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing มาสร้างโมเดลเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งภาพแสดงความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการแสดงได้ดังภาพที่ 4.15 หลังจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้นำตัวอย่างมะนาวในกลุ่ม prediction set มาทดสอบกับโมเดลที่ละ 1 ตัวอย่าง จนครบ 18 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.16 โดยภาพที่ 4.16 จะยกตัวอย่างมา 3 ภาพ ซึ่งผลการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดย NIR hyperspectral imaging นี้ จะได้ผลออกมาเป็นภาพสีในแต่ละพิกเซล ซึ่งภาพสี จะมีสเกลแบ่งระดับสีเพื่อบ่งบอกปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งสเกลนี้มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ถ้าตัวเลขสเกลมีค่าสูง ภาพแสดงเฉดสีเหลือง นั่นหมายถึงมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง และถ้าสเกลมีค่าต่ำ ภาพแสดงเฉดสีเขียว นั่นหมายถึง มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำ จากภาพที่ 4.20 จะเห็นได้ว่า 4.20(a) ภาพจะแสดงออกเป็นเฉดสีเขียวมาก นั่นหมายถึงภาพ 4.16(a) มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำ รองลงมาเป็น 4.16(b) ซึ่งแสดงออกเป็นสีเขียวน้อยลงและเป็นสีเหลืองมากขึ้น นั่นหมายถึงมะนาวมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยกว่าภาพ 4.16(a) ตามด้วยภาพ 4.16(c) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ภาพ 4.16(c) มีปริมาณสีเหลืองมากที่สุดและมีเฉดสีเขียวน้อยที่สุด นั่นหมายถึง ภาพนี้มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากที่สุด



ภาพที่ 4.15 แสดงผลการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 แสดงภาพตัวอย่างการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมะนาว

- (a) ภาพมะนาวที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ = 7.35°Bx
- (b) ภาพมะนาวที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ = 8.10°Bx
- (c) ภาพมะนาวที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ = 9.30°Bx

4.5.2 ผลการทดลองในเชิงปริมาณเพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ในผลมะนาว

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ โดยมีตัวอย่างทั้งหมด 49 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 30 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 19 ตัวอย่าง วิธีการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการก็เหมือนกับการทดลองอื่น คือ ต้องแบ่งให้กลุ่มสร้างสมการมีค่าปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย คือ มีค่าปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้อยู่ที่ 6.91-8.51% และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการมีปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ อยู่ที่ 6.40-8.83% ให้กลุ่มสร้างสมการมีการกระจายตัวของค่าปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ ที่ดีด้วย เพื่อให้กลุ่มสร้างสมการมีลักษณะของตัวแทนที่ดีในการวิเคราะห์เพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ จะใช้ตัวอย่างในกลุ่ม Prediction set ที่ละ 1 ตัวอย่างมาทำนาย จนทำนายตัวอย่างครบทั้งหมด 19 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
TA (%)	Number of sample	30	19
	Range	6.91-8.51	6.40-8.83
	Mean	7.61	7.69
	SD	0.42	0.62

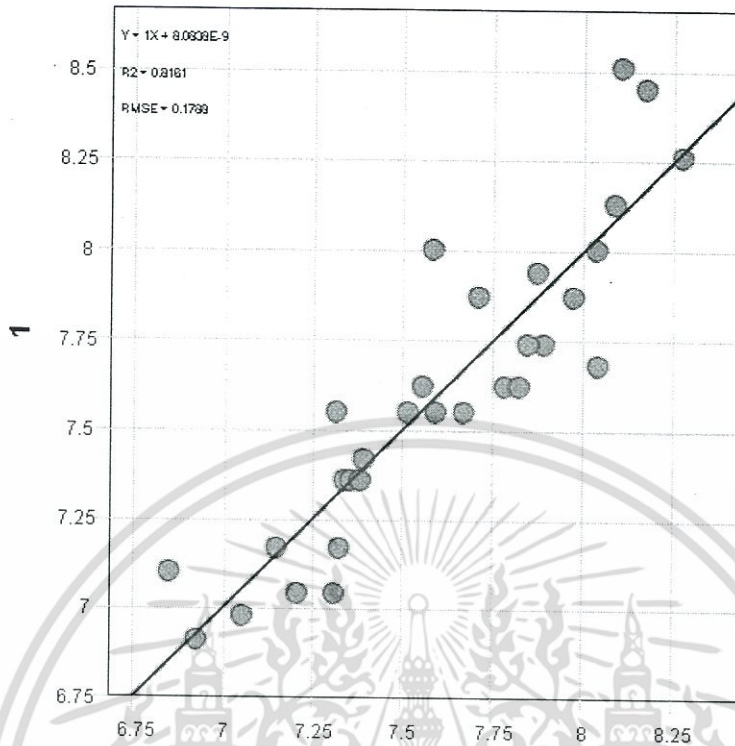
หลังจากนั้นนำข้อมูลในกลุ่มสำหรับสร้างสมการมาผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งพบว่าการสร้างสมการด้วยวิธี msc ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ค่า $R=0.86$ และ $RMSECV=0.21\%$ ซึ่งมีค่า R สูงสุด, ค่า $RMSECV$ ต่ำสุด และยังมีค่าเพิกเตอร์ต่ำสุดด้วย ดังนั้น จึงเลือกข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำ msc มาสร้างสมการการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งภาพแสดงความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการแสดงได้ดังภาพที่ 4.17 นำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.29 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	Pre-processing techniques	TA (%)		
		Factor	R	RMSECV
1	Original	8	0.80	0.26
2	Smoothing	6	0.75	0.28
3	First derivative	12	0.70	0.30
4	Second derivative	7	0.74	0.29
5	MSC	6	0.86	0.21
6	SNV	7	0.86	0.21

F = Factors, R= Correlation coefficient, RMSECV: Root mean square error of cross validation

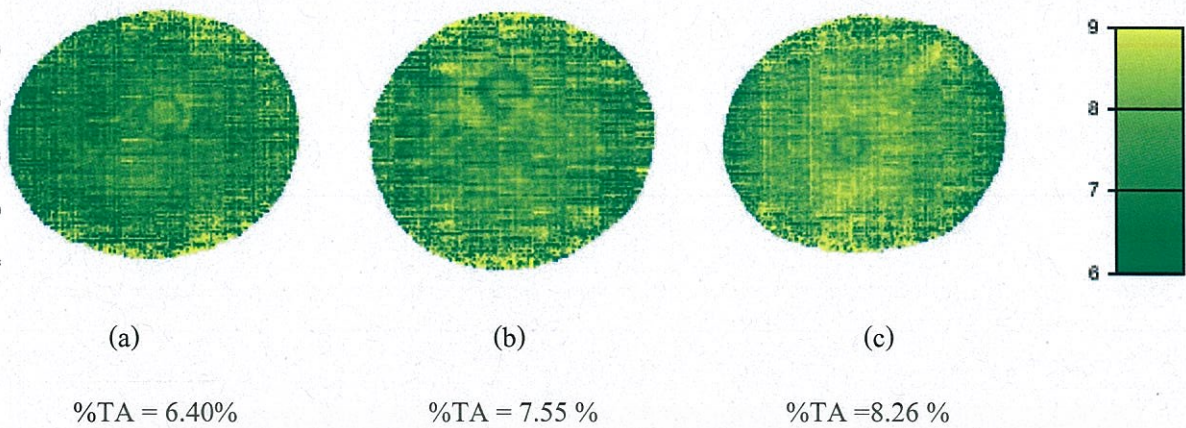
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 แสดงผลการทำนายปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

สำหรับผลการทำนายค่าปริมาณกรดที่ไคเตรทได้โดย NIR hyperspectral imaging จะได้ผลออกมาเป็นภาพสีในแต่ละพิกเซล ซึ่งภาพผลการทำนาย จะมีสเกลแบ่งระดับสีเพื่อบ่งบอกปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.18 โดยภาพที่ 4.18 จะยกตัวอย่างภาพการทำนายมา 3 ภาพซึ่งภาพการทำนายจะมีตัวเลขสเกลกำกับอยู่ ถ้าตัวเลขสเกลมีค่าสูง ภาพแสดงเฉดสีเหลือง นั่นหมายถึงมีค่าปริมาณกรดที่ไคเตรทได้สูง และถ้าสเกลมีค่าต่ำ ภาพแสดงเฉดสีเขียว นั่นหมายถึง มีค่าปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ต่ำ จากภาพที่ 4.18 จะเห็นได้ว่า 4.19(a) ภาพจะแสดงออกเป็นเฉดสีเขียวมารองลงมาเป็น 4.19(b) และ 4.19(c) ตามลำดับ นั่นหมายถึงภาพ 4.18(a) มีค่าปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ต่ำ ซึ่งมีปริมาณกรดที่ไคเตรทได้เท่ากับ 6.40% รองลงมาเป็น 4.19(b) ซึ่งแสดงออกเป็นสีเขียวอ่อนลงและเป็นสีเหลืองมากขึ้น นั่นหมายถึง มะนาวมีค่าปริมาณกรดที่ไคเตรทได้มากกว่าภาพ 4.19(a) ซึ่งมีปริมาณกรดที่ไคเตรทได้เท่ากับ 7.55 % และภาพ 4.19(c) มีปริมาณสีเหลืองมากที่สุดและมีเฉดสีเขียวน้อยที่สุด นั่นหมายถึง ภาพนี้มีค่าปริมาณกรดที่ไคเตรทได้มากที่สุด ซึ่งมีปริมาณกรดที่ไคเตรทได้เท่ากับ 8.26 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 แสดงภาพตัวอย่างการทำนายปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ในผลมะนาว

- (a) ภาพมะนาวที่มีปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ = 6.40%
 (b) ภาพมะนาวที่มีปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ = 7.55 %
 (c) ภาพมะนาวที่มีปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ = 8.26 %

4.5.3 ผลการทดลองในเชิงปริมาณเพื่อทำนายปริมาณน้ำคั้น (water content) ในผลมะนาว

การสร้างสมการเพื่อนำมาทำนายปริมาณ water content นี้ จะใช้ตัวอย่างทั้งหมด 186 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 36 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 19 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.30 วิธีการแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการนั้นจะทำเหมือนการทดลองอื่นๆ คือ แบ่งกลุ่มโดยให้มีกลุ่มสำหรับสร้างสมการอยู่ที่ 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะต้องมีปริมาณ water content สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วยในการวิเคราะห์เพื่อทำนายปริมาณกรดที่ไทเตรทได้ จะใช้ตัวอย่างในกลุ่ม Prediction set ทีละ 1 ตัวอย่างมาทำนาย จนทำนายตัวอย่างครบทั้งหมด 19 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณ water content

Characteristic	Item	Calibration	Prediction
watercontent (%)	Number of sample	36	19
	Range	86.11-92.79	87.20-92.23
	Mean	89.45	89.54
	SD	1.56	1.44

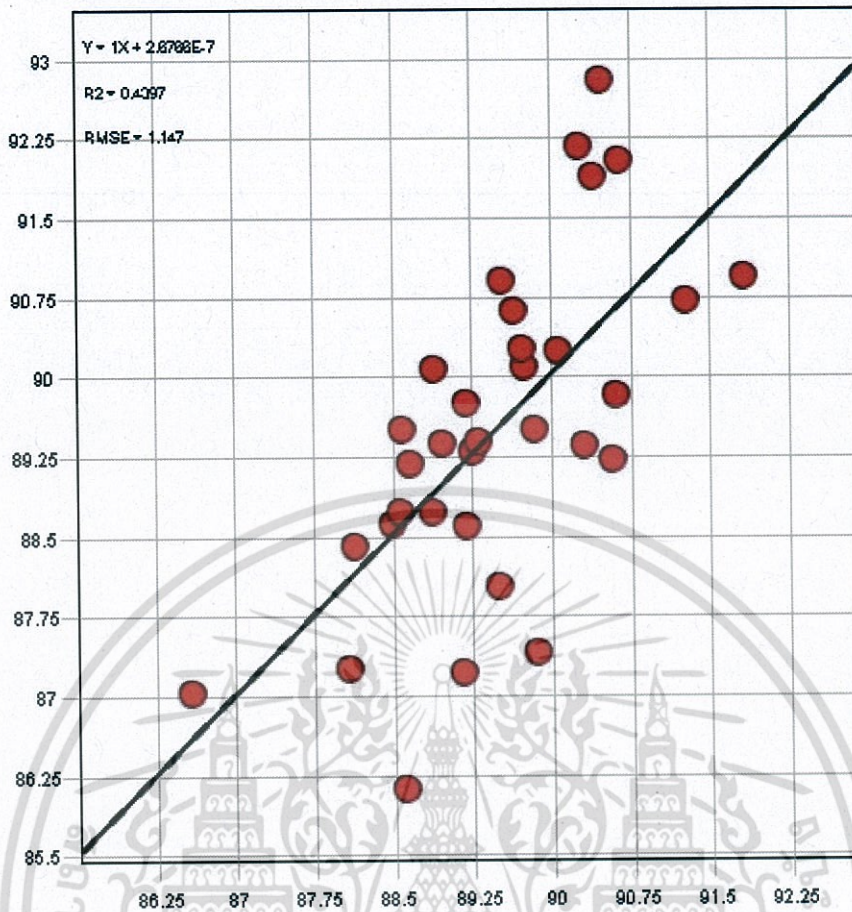
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้น นำข้อมูลสเปกตรัมในกลุ่มสำหรับสร้างสมการมาปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ดังตารางที่ 4.31 ซึ่งจากตารางนี้ พบว่า ข้อมูลสเปกตรัมแบบดั้งเดิม (original) ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ค่า ค่า $R = 0.78$ และ $RMSECV = 0.99\%$ หลังจากนั้นสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณ water content ด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR) ภาพแสดงความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการแสดงได้ดังภาพที่ 4.20 นำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

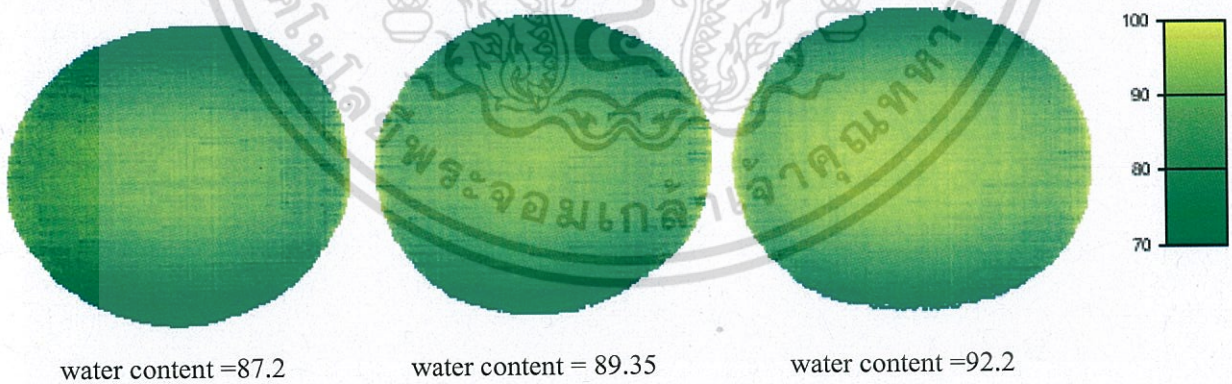
ตารางที่ 4.31 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณ water content ได้ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

No.	Pre-processing techniques	Water content		
		F	R	RMSECV(%)
1	Original	7	0.78	0.99
2	Smoothing	9	0.64	1.33
3	1 st Derivative	12	0.65	1.28
4	2 nd Derivative	14	0.67	1.28
5	MSC	7	0.57	1.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.19 แสดงผลการทำนายปริมาณ water content ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ



ภาพที่ 4.20 แสดงภาพตัวอย่างการทำนายปริมาณ water content ได้ในผลมะนาว

- ภาพมะนาวที่มีปริมาณ water content = 87.2%
- ภาพมะนาวที่มีปริมาณ water content = 89.35%
- ภาพมะนาวที่มีปริมาณ water content = 92.2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลการทำนายค่าปริมาณ water content โดย NIR hyperspectral imaging จะได้ผลออกมาเป็นภาพสีในแต่ละพิกเซล ซึ่งภาพผลการทำนาย จะมีสเกลแบ่งระดับสีเพื่อบ่งบอกปริมาณกรดที่ไต่ตรงที่ได้ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.21 โดยจะทำนายทีละภาพจนครบ 19 ตัวอย่าง แต่ภาพที่ 4.21 จะยกตัวอย่างภาพการทำนายมา 3 ภาพ จากภาพที่ 4.21 จะเห็นได้ว่า 4.21(a) ภาพจะแสดงออกเป็นเฉดสีเขียวมาก รองลงมาเป็น 4.21(b) และ 4.21(c) ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงภาพ 4.21(a) มีค่าปริมาณ water content ต่ำที่สุด ซึ่งมีปริมาณ water content เท่ากับ 87.2% รองลงมาเป็น 4.21(b) ซึ่งแสดงออกเป็นสีเขียวอ่อนลงและเป็นสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งมีปริมาณ water content ได้เท่ากับ 89.35% และภาพ 4.21(c) มีปริมาณสีเหลืองมากที่สุดและมีเฉดสีเขียว น้อยที่สุด นั่นหมายถึง ภาพนี้มีปริมาณ water content มากสุด ซึ่งมีปริมาณ water content เท่ากับ 92.2%



สรุปผลการทดลอง

สำหรับหัวข้อการทดลองนี้ เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบคุณภาพมะนาวพันธุ์แป้นและพันธุ์ไข่ โดยใช้เครื่อง NIRs ที่มีความยาวคลื่นที่ต่างกัน โดยใช้เครื่อง NIRs ทั้งหมด 4 ชนิด คือ FQA-NIRGUN, FT-NIR, visible-near infrared spectroscopy และ hyperspectral imaging และทำการตรวจสอบคุณภาพมะนาว ทั้งในด้านเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพซึ่งผลการทดลองทั้งหมด สรุปออกมาได้ดังนี้

1. การใช้เครื่อง NIR -GUN ซึ่งอยู่ในโหมด Interactance ในช่วงความยาวคลื่น 588-1901 นาโนเมตร

- ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ค่า $R=0.79$ และ $RMSEP=0.43^{\circ}Bx$
- ความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดที่โตเตรทได้ ได้ค่า $R=0.82$ และ $RMSEP=0.37\%$
- ความแม่นยำในการทำนายปริมาณ water content ได้ค่า $R=0.76$ และ $RMSEP=1.09\%$
- ความแม่นยำในการคัดแยกพันธุ์มะนาวระหว่างพันธุ์แป้นและพันธุ์ไข่มีความแม่นยำสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์

2. การใช้เครื่อง NIRs ในโหมด Reflectance ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 นาโนเมตร

- ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ได้ค่า $R=0.73$ และ $RMSEP=0.41^{\circ}Bx$
- ความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดที่โตเตรทได้ ได้ค่า $R=0.80$ และ $RMSEP=0.35\%$
- ความแม่นยำในการทำนายปริมาณ water content ได้ค่า $R=0.65$ และ $RMSEP=0.96\%$
- ความแม่นยำในการคัดแยกพันธุ์มะนาวระหว่างพันธุ์แป้นและพันธุ์ไข่ มีความแม่นยำสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์

3. การใช้เครื่อง Vis-NIRs ในโหมด Reflectance ที่ความยาวคลื่น 900-1700 นาโนเมตร

- ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ได้ค่า $R=0.81$ และ $RMSEP=0.24^{\circ}Bx$
- ความแม่นยำในการทำนายค่า pH ได้ค่า $R=0.95$ และ $RMSEP=0.06\%$

4. การใช้เทคนิค NIRs hyperspectral imaging ในโหมด Reflectance ที่ความยาวคลื่น 910-1700 นาโนเมตร เพื่อทำนายปริมาณปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, ทำนายปริมาณกรดที่โตเตรทได้ และทำนายปริมาณ water content โดยจะใช้กลุ่มตัวอย่างมะนาวพันธุ์แป้นอย่างเดียว ผลการทำนายจะแสดงออกมาเป็นภาพทำนาย ซึ่งแสดงเป็นเจดสีตามที่ทำนายได้ โดยภาพการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, ทำนายปริมาณกรดที่โตเตรทได้ และทำนายปริมาณ water content พบว่า ถ้าตัวอย่างมะนาวมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, ทำนายปริมาณกรดที่โตเตรทได้ และทำนายปริมาณ water content สูง ผลจะแสดงออกมาเป็นไปในทางเจดสีเขียว และถ้าตัวอย่างมะนาวมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, ทำนายปริมาณกรดที่โตเตรทได้ และทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณ water content ต่ำ ผลจะแสดงออกมาเป็นไปในทางแคบสีเหลืองดังนั้นสรุปได้ว่า NIRs hyperspectral imaging มีความสามารถในการแสดงผลออกมาเป็นภาพใช้การทำนาย สามารถใช้ในการตัดแยกคุณภาพของผลมะนาวจากภาพที่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- จารุวรรณ ศรีพรรณพร. 2543. มะนาวและเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยว. วารสารอาหาร 30(1): 1-16.
- จริงแท้ ศรีพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า.
- ดารา พวงสุวรรณ. 2520. การป้องกันกำจัดโรคของผลมะนาวในระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์ 10: 307-404.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุกฤษ. 2545. หลักพื้นฐานเทคนิค Near Infrared Spectroscopy. การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ: 39 - 66
- วิลาลักษณ์ บุญสุภา. 2547. การพัฒนากรรมวิธีการผลิตมะนาวผงในระดับอุตสาหกรรมการประเมินอายุการเก็บรักษา และการแปรรูปผลิตภัณฑ์มะนาวผง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 164 น.
- สมศักดิ์ วรรณศิริ. 2541. ส่วนมะนาว. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม นนทบุรี. 88 น.
- AOAC International. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC. International. 17th ed. AOAC. International, Arlington, USA.
- AOAC International. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC. International. 17th ed. AOAC. International, Arlington, USA.
- Ariana, D.P., and Lu, R. 2010. Hyperspectral waveband selection for internal defect detection of pickling cucumbers and whole pickles. Journal of Computers and Electronics in Agriculture. 74: 137-144.
- Barbin, D., Elmasry, G., and Allen, P. 2012. Near-infrared hyperspectral imaging for grading and classification of pork. Journal of Meat Science. 90: 259-268.
- Kader, A.A., Kasmire, R.F. Motchell. F.G., Reid, M.S., Sommer, N.F. and Thompson, J.F. 1985. Postharvest Technology of Horticultura Crops. University of California. 192 p.
- Kimball, D.A. 1991. Citrus Processing Quality contro; and Technology. AVL Publ. Co.Inc..New York.
- Iqbal, A., Sun, Da-W., and Allen, P. 2013. Prediction of moisture, color and pH in cooked, pre-sliced turkey hams by NIR hyperspectral imaging system. Journal of Food Engineering. 117: 42-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jos'e, L., Salud, V., Nuria, M., Albert, I., Luis, C., Julio, H., Manuel, V. and Domingo, Saura. 2014.

Chemical guide parameters for Spanish lemon (*Citrus limon* (L.) Burm.) juices. Journal of food chemistry. 162: 186-191.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ประจำปีงบประมาณ 2558

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการ
 ดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง

(ภาษาอังกฤษ)Varieties and qualities classification of lime using near Infrared hyperspectral imaging

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัย รศสนธิสุข ธีระชัยชยดี .ดร.

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 01/10/2557 ถึงวันที่04/09/2558

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี - เดือนตั้งแต่วันที่ 01/10/2557 ถึงวันที่30/09/2558

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ

งวดที่ 1 105,000 บาท 100 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ค/ป) 06/02/2558

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณทั้งหมด
งบบุคลากร: ค่าจ้างชั่วคราว	-
งบดำเนินงาน	
ค่าตอบแทน	10,000
ค่าใช้สอย	64,190
ค่าวัสดุ	30,810
งบลงทุน	
ค่าครุภัณฑ์	-
รวม	105,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสนธิสุข ชีระชัยชยติ
(ภาษาอังกฤษ) Mr.SontisukTeerachaichayut
- เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 1002 01948 41 2
- ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
- หน่วยงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 0 2 329 8000 ต่อ 7267 โทรสาร 0 2329 8526 -7

E-mail : ktsonis@kmitl.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ/ประเทศ	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและ ชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2529/ไทย	ตรี	วศ.บ.(วิศวกรรม ศาสตร์บัณฑิต)	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์
2537/ไทย	โท	วศ.ม.(วิศวกรรม ศาสตร์มหาบัณฑิต)	วิศวกรรมเคมี	จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย
2550/ไทย	เอก	ปร.ด.(เทคโนโลยี หลังการเก็บเกี่ยว)	เทคโนโลยีหลังการ เก็บเกี่ยว	มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอก

หัวหน้าโครงการวิจัย

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน.

นายสนธิสุข ชีระชัยชยติ, น.ส.จุฑามาศ ผลอุดม, น.ส.วรรณชยา เอี่ยมเสถียรพร.2552.การสร้างโมเดลของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำมัจจุคจากสเปกตรัมสะท้อนกลับความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ, อนุพันธ์เทิดวงศักรกุล, วารุณี ชนะแพสย์.2552.เทคนิคการตรวจสอบเปลือกแข็งในมัจจุคแบบไม่ทำลายโดยวิธีการดูคลื่นแสงในย่านใกล้อินฟราเรด.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ, อนุพันธ์เทิดวงศักรกุล, วารุณี ชนะแพสย์.2553.เทคนิคการตรวจสอบยางไหลภายในผลมัจจุคแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัดการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและช่วงใกล้อินฟราเรด.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ, น.ส.กนกพรแก้วสมนึก น.ส.มาลินี รังษี 2553.การทำนายอาการฟ้ามในผล
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส้มแบบไม่ทำลายโดยใช้ควาทางไฟฟ้า.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2554. แท่งเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกแก้ว.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการ ดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นแบบทะลุผ่าน.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. การสกัดน้ำสับปะรดและผลิตเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกสับปะรด.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. การตรวจสอบคุณภาพมังคุดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. การศึกษาปริมาณไนเตรทในเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย: วิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบโดยพิจารณาที่ตำแหน่งและระดับความสุกรสโกปี

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2557. การวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูงสำหรับทำนายความสดของไข่ไก่

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2557.การทำนายความหนาแน่นของผลมังคุดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2558. การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2559.การทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยเทคนิควิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2559.การทำนายคุณภาพของผลมะนาวแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้า

งานวิจัยที่อยู่ระหว่างการดำเนินการ

-การทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยเทคนิควิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง. ทุนงบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2559 ความก้าวหน้า ร้อยละ 80

-การทำนายคุณภาพของผลมะนาวแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้า. ทุนเงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร สจล. พ.ศ. 2559 ความก้าวหน้า ร้อยละ 80

ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2535. อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ไทย: อะไรคืออะไร. วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1): 67-70.

ศรีศักดิ์ ตรังวัชรกุล, ชลิต ชูประทีป, สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2535. โรงงานนำทางผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ วท.วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1): 73-82.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, คำรงค์ชัย สัทธิตำอังกค์, เพ็ญศิริ อนันต์รักรสกุล, พรภัทรา ศรีนรคุตร, บุพากรณ์ ทับนาโคก.2536. การวิจัยเครื่องเคลือบแบบต่อเนื่องชนิดเคลือบเต็มสำหรับอาหารขบเคี้ยว. โครงการวิจัยที่ ภ. 32-06, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 36 หน้า

สนธิสุข ชีระชัยชยุติ.2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง 12(2):39-41.

วารุณี ชนะแพสย์, สนธิสุข ชีระชัยชยุติ,ศุมาพร เกษมสำราญ, and Young Kil Kwon.2548. การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น. สัมมนาวิชาการ วิชาการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 3, 10-11 ตุลาคม 2548, หน้า 57.

สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, วารุณี ชนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุล,ศุมาพร เกษมสำราญ.2551. การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร39 (3 พิเศษ): 156-159.

สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, วารุณี ชนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุล,ศุมาพร เกษมสำราญ.2552. การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 (1): 55-64.

สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศัรกุล, จุฑามาศ ผลอุดมและววรรณษา เอื้ออมเสถียรพร. 2553. การทำนายอาการเนื้อแ่ก้วจากน้ำมังคุดโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 (1 พิเศษ): 385-388.

ขนิษฐาแสงแก้วและสนธิสุขชีระชัยชยุติ, 2553. คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกมังคุดภายหลังการตกกระทบ.วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 2(1): 27-35.

สนธิสุขชีระชัยชยุติ, อนุพันธ์เทอดวงศัรกุล, วารุณีชนะแพสย์และขนิษฐาแสงแก้ว. 2554. ความเป็นไปได้ในการคัดแยกผลมังคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ฟูร์ตวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ): 143-146.

สนธิสุขชีระชัยชยุติ. 2555. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดแบบไม่ทำลาย. วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27 (1): 55-60.

กัญญาพัชร เพชรภรณ์และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. ผลกระทบของการเกิดเชื้อราภายในมะเขือเทศต่อคุณสมบัติทางเคมี. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 279-284.

ศรัณญา วอจวา และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในมังคุดเปลือกแข็งภายหลังการตกกระทบ.การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 285-290.

สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, จิตติพงษ์ทิพย์แก้ว, ธนกฤตชูตระกูลและรัชคมลิต์ถับ. 2556. เครื่องวัดความแน่นเนื้อของผลไม้แบบน้ำหนักกด. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2, 30 สิงหาคม 2556, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 185-190.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. สถานการณ์ระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์ในประเทศไทย.วารสารวิชาการเกษตรปีที่ 31 ฉบับที่2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2556: 194-210.

ปิยะมาศ จานนอก, อธิษากรณ์ การรุ่งเรือง, อรวรรณ ทองนาค, อัฐพศ จานนอก, ภาณุวัฒน์ทรัพย์ปรุง และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. การทำนายความถ่วงจำเพาะของไข่ไก่ด้วยเทคนิค NIRS. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีครั้งที่ 4 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสานวิทยาเขตขอนแก่น, 135-139.

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

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, and S. Pathaveerat. 2008. Multiple Parameters for Prediction of Translucent Flesh in Mangosteens. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol.X. Manuscript FP 08 007.

Teerachaichayut S., W. Thanapase, K. Shigefuji, T. Otoi, Y. Nitta, S. Saranwong, and S. Kawano. 2008. Online Near Infrared Detection of Translucent and Gamboge Mangosteen. *Proceeding of The First Asian NIR Symposium and The 24th Japanese NIR Forum*, 158-159. Tsukuba city, Japan, 10-14 November.

Kasemsumran, S., W. Thanapase, S. Teerachaichayut, A. Terdwongworakul, K. Y. Kil, K. Shigefuji, and Y. Nakanishi. *Nondestructive Internal Quality Evaluation of Thai Orange Fruit using Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy*. *Japan-Korea Joint Symposium on Near Infrared Spectroscopy*, 284-285. Hanyang University, Korea, 28-30 June.

Thanapase, W., S. Kaseamsumran, A. Janhiran, S. Teerachaichayut, K. Shigefuji, K. Kiji, Y. Nitta, S. Saranwong and S. Kawano. 2009. Recent collaborative researches between Japan and Thailand on NIR applications for Tropical Fruits. *Proceedings of the 25th NIR Forum*. 31-35. Japan, 13-15 May.

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, J. Phonudom and W. Uamsatianporn. 2009. The Robustness of PLS Models for Soluble Solids Content of Mangosteen using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Global Science Books, Fresh Produce* 3(1): 60–63.

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, K. Saengkaew and R. Suwapanich. 2010. Feasibility of visible and SW-NIR spectroscopy to detect gamboge disorder in mangosteen fruits. *Proceedings of the 2nd Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy*, China, 15-18 Oct. 81-82.

Teerachaichayut, S, W. Thanapase, S. Kasemsumran, K. Shigefuji, K. Kiji, Y. Nitta, S. Saranwong and S. Kawano. 2010. The methods of illumination and scanning for detecting internal disorders

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and quality of mangosteen by near infrared spectroscopy. *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 14th international Conference*. IM Publications LLP, West Sussex, UK., 219-223.

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, K. Kiji. 2011. Non-destructive prediction of Hardening pericarp disorder in intact mangosteen by near infrared transmittance spectroscopy. *Journal of Food Engineering* 106 (2011) 206–211.

Terdwongworakul, A., N. Nakawajana, S. Teerachaichayut, A. Janhira. 2012. Determination of translucent content in mangosteen by means of near infrared transmittance. *Journal of Food Engineering* 109: 114–119.

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul. 2012. Empirical investigation of the optimal fruit presentation in near infrared transmittance for mangosteen quality evaluation. *NIR news* 23(1) :8-18

Teerachaichayut, S., K. Petcharaporn and S. Suktanarak. 2012. Calibration model of soluble solids content for Intact Tomato by Transmittance SW-NIR Spectroscopy. *Proceedings of the 3rd Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, Thailand, 14-18 May*. 120-121.

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, K. Keawsumnuk, M. Rangsi and K. Seangkeaw. 2012. A Feasibility Study for the Nondestructive Detection of Granulation in Tangerine Fruit Using a Capacitance based Technique. *Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July*, P0122.

Terdwongworakul A., S. Teerachaichayut, S. Noypitak. 2012. Non-Destructive Classification of Translucent Flesh Mangosteen by Near Infrared Interactance. *Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July*. C0059.

Nandee S. and S. Teerachaichayut. 2012. Brix-acid ratio detection for pomegranates using multivariate equation. *International Conference on Nutrition and Food Sciences, July 23-24. IPCBEE vol.39 (2012) IACSIT Press, Singapore*.82-86.

Suktanarak S. and S. Teerachaichayut. 2012. Detection for Moisture Content of Sweet Tamarind flesh by Transmittance Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. *International Conference on Nutrition and Food Sciences, July 23-24. IPCBEE vol.39 (2012) IACSIT Press, Singapore*.71-75.

Petcharaporn K. and S. Teerachaichayut. 2012. Detection of Undesirable Internal Discoloring of Intact Tomatoes by Non-Destructive, Transmittance VIR-NIR Spectroscopy. *International Conference on Food and Applied Bioscience 2012, 6-7 February. Chiang Mai, Thailand*. 82-86.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Suktanarak, S. and S. Teerachaichayut. 2013. Quantitative Analysis of Total Soluble Solids and Titratable Acidity of Sweet Tamarind by SW-NIRS. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, Vol. 3, No. 4, 328-331.

Sukwanit S. and S. Teerachaichayut. 2013. Non-destructive prediction of internal browning in pineapple using transmittance short wavelength near infrared spectroscopy. *Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems and Asia Pacific Symposium on Postharvest Quality Management of Root and Tuber Crops*. *Acta Horticulturae* 989. ISHS: 395-399.

Kaewsard, S., S. Kerdpiboon, Y. Peuchkamut, S. Teerachaichayut. 2013. Relationships between Physical property, Chemical composition and Marbling Score of Sirloin Beef Steak. 13th ASEAN Food Conference, 9-11 September 2013, Singapore. Meeting Future Food Demands: Security & Sustainability.

SasathornSrivichien and SontisukTeerachaichayut. 2014. Comparison of nitrate content in 'Smooth Cayenne' pineapple flesh related to its different cut sections, maturity and crop season. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, Vol. 1, No.1, 65-68.

SasathornSrivichien and SontisukTeerachaichayut. 2014. Comparison of nitrate content in 'Smooth Cayenne' pineapple flesh related to its different cut sections, maturity and crop season. *Proceeding of The 4th International Conference on Asia Agriculture and Animal (ICAAA 2014)*, Bangkok, Thailand, June 9-10, 33-36.

SasathornSrivichien and SontisukTeerachaichayut. 2014. Quality classification of pineapple based on nitrate level by Vis-NIRS. *Proceeding of The 4th Asian NIR Symposium*, Daegu, Korea, June 17-20, 130-132.

SontisukTeerachaichayut, IsayapronKanrungrueng, OrawanThonngnak, OattharodChannok, PanuwatSupprung, PiyamartJannok. 2014. Freshness Prediction of Hen Eggs Using NIR Spectroscopy Based on Specific Gravity. *Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014)*, Bali, Indonesia, June 27-29, 585-592.

PattamaSupaphon, SorayaKerdpiboon, YupornPeuchkamut, SontisukTeerachaichayut, PramounSrikalong, PanaddaNonthanum. 2014. Surface Images and Physical Properties Correlation of Sirloin Steak by Pearson'S Correlation And Multiple Linear Regression Analysis. *Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014)*, Bali, Indonesia, June 27-29, 593-601.

Jannok. P., Petcharaporn. K. and Teerachaichayut. S. 2014. Detection of internal mold infection in tomato by transmittance near infrared spectroscopy. *Acta Hort.* (ISHS) 1053:93-99.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Teerachaichayut, S., Suktanarak, S. and Kasemsumram, S. 2014. Non-destructive detection of internal mold infection in sweet tamarind using short wavelength near infrared spectroscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 1053:113-119

Srivichien, S., A. Terdwongworakul, S. Teerachaichayut. 2015. Quantitative prediction of nitrate level in intact pineapple using Vis-NIRS. *Journal of Food Engineering* 150: 29-34.

Teerachaichayut S., Yokswad W., Terdwongworakul A., Jannok P., Fernandes S.V. 2015. Application of Image Analysis for Determination of Mangosteen Density. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 2(2): 92-97.

NatrapeeNakawajana, AnupunTerdwongworakul, SontisukTeerachaichayut. 2016. Minimally destructive assessment of mangosteen translucency based on electrical impedance measurements. *Journal of Food Engineering* 171: 137-144.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้