



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบคุณภาพมังคุดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงาน  
แสงย่านใกล้อินฟราเรด

Evaluation of Mangosteen Quality by Near Infrared (NIR) Hyperspectral  
Imaging Analysis

นายสนธิสุข ชีระชัยยุดิ

นางสาวศรัญญา วอขวา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



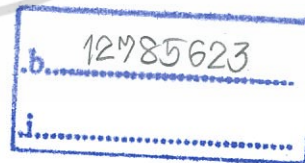
## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบคุณภาพมังคุดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงาน  
แสงย่านใกล้อินฟราเรด

Evaluation of Mangosteen Quality by Near Infrared (NIR) Hyperspectral  
Imaging Analysis

นายสนธิสุข ธีระชัยชยติ  
นางสาวศรัญญา วอชวา

RC11  
๕1927  
2556



สาขา.....  
เลขทะเบียน 142907  
วันเดือนปี - 6 ส.ค. 2559

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การตรวจสอบคุณภาพมังคุดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงาน  
แสงย่านใกล้อินฟราเรด

แหล่งเงิน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 100,000 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี (1 ตุลาคม 2555 - 30 กันยายน 2556)

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

ผศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ และ นางสาวศรีัญญา วอขวา คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การตรวจสอบความผิดปกติของมังคุดเปลือกแข็งด้วย เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนแสง  
ย่านใกล้อินฟราเรด (hyperspectral imaging) ช่วงความยาวคลื่น 900 -1700 นาโนเมตร ข้อมูลสเปกตรัมถูก  
นำออกมาและทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (PLS-  
DA) เพื่อให้ได้การจัดกลุ่มและเพื่อตรวจสอบมังคุดเปลือกแข็ง การคัดแยกด้วยวิธี leave-one-out cross  
validation ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของสมการความแน่นเนื้อของมังคุดเปลือกแข็งโดยใช้  
วิธี partial least squares regression (PLSR) ให้ผลทางสถิติคือค่าสหสัมพันธ์ (R) เป็น 0.87 และค่าเฉลี่ย  
ความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (RMSECV) 4.44 N งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นการใช้ประโยชน์ของการ  
วิเคราะห์ด้วยเทคนิคถ่ายภาพ NIR hyperspectral เพื่อคัดแยกความผิดปกติของมังคุดเปลือกแข็ง นอกจากนี้  
การทำนายการเกิดเปลือกแข็งด้วยภาพสามารถนำมาใช้เพื่อแสดงให้เห็นระดับความแข็งของเปลือกมังคุด

คำสำคัญ: แบบไม่ทำลาย ความแน่นเนื้อ การทำนาย การแยกกลุ่ม เปลือกแข็ง

## ABSTRACT

To investigate the hardening pericarp disorder in mangosteens, the near-infrared (NIR) hyperspectral imaging were measured in the region of 900-1700 nm. Their spectral data were extracted and performed by partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA) to obtain the classification model for detecting the hardening-pericarp mangosteens. Leave-one-out cross-validation was used to validate the obtained model. The firmness calibration model of the mangosteens pericarp was also established using partial least squares regression (PLSR) method. The obtained model exhibited the correlation coefficient (R) of 0.87 and the root mean square error of cross validation (RMSECV) of 4.44 N. This research shows the utilization of NIR hyperspectral imaging for classification of hardening pericarp disorder in mangosteens. In addition, the predicted hardening mangosteens image could be used for indicating the destructive level of hardening mangosteens.

**Keywords:** nondestructive, firmness, prediction, classification, hardening pericarp

## กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 ที่ได้อนุมัติทุนอุดหนุนการวิจัยของโครงการ “การตรวจสอบคุณภาพมังคุดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด” และคณะผู้วิจัยหวังว่ารายงานการวิจัยเรื่องนี้จะยังเป็นประโยชน์กับผู้ที่สนใจการทำนายผลการเกิดเปลือกแข็งของมังคุดที่ตกกระทบ โดยใช้เทคนิคไม่ทำลายตัวอย่าง



รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยดี

นางสาว ศรัญญา วอขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

ง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 แนวคิด ทฤษฎีหลักตามประเด็นให้ครอบคลุมเรื่องที่วิจัย	6
2.1.1 มังคุด	6
2.1.2 ดัชนีการเก็บเกี่ยว	7
2.1.3 พฤติกรรมผลมังคุดเปลือกแข็ง	9
2.1.4 NIR hyperspectral imaging	9
2.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง /การทบทวนวรรณกรรม	13

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	16
3.1 การเตรียมตัวอย่างผลมังคุด	16
3.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสงและการเก็บข้อมูลภาพ Hyperspectral image ของผลมังคุดและวิธีการประเมินความแข็งของปกติและมังคุดเปลือกแข็ง โดยใช้เทคโนโลยีประมวลภาพถ่าย hyperspectral image	17
3.3 การปรับแต่งสเปกตรัม	17
3.4 ความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของมังคุดเปลือกแข็ง	18
3.5 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเปลือกแข็ง ตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพ ภายในผลมังคุด	18
3.6 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเปลือกแข็งเชิงคุณภาพภายในผลมังคุด	18
3.7 การสร้างสมการทำนายสำหรับแบ่งกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง	19
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b>	20
4.1 ข้อมูลการจัดกลุ่มของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง	20
4.2 ลักษณะสเปกตรัมของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งเมื่อวัดด้วยเครื่อง hyperspectral image	23
4.3 การสร้างสมการสำหรับการทำนายการแบ่งกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งด้วย วิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด หรือ PLS-DA	25
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	30
5.1 สรุปผลการวิจัย	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	30
<b>บรรณานุกรม</b>	31
<b>ประวัตินักวิจัย</b>	36

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ตัวอย่างของมังคุดกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง	20
4.2 แสดงค่าของ R, RMSEC และ RMSECV ของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความแม่นยำของสมการด้วยวิธี PLSR เพื่อเทียบมาตรฐานวิเคราะห์ปริมาณความแข็งของเปลือกมังคุด	21
4.3 ค่าสถิติการจำแนกมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งด้วยวิธี PLS-DA	26

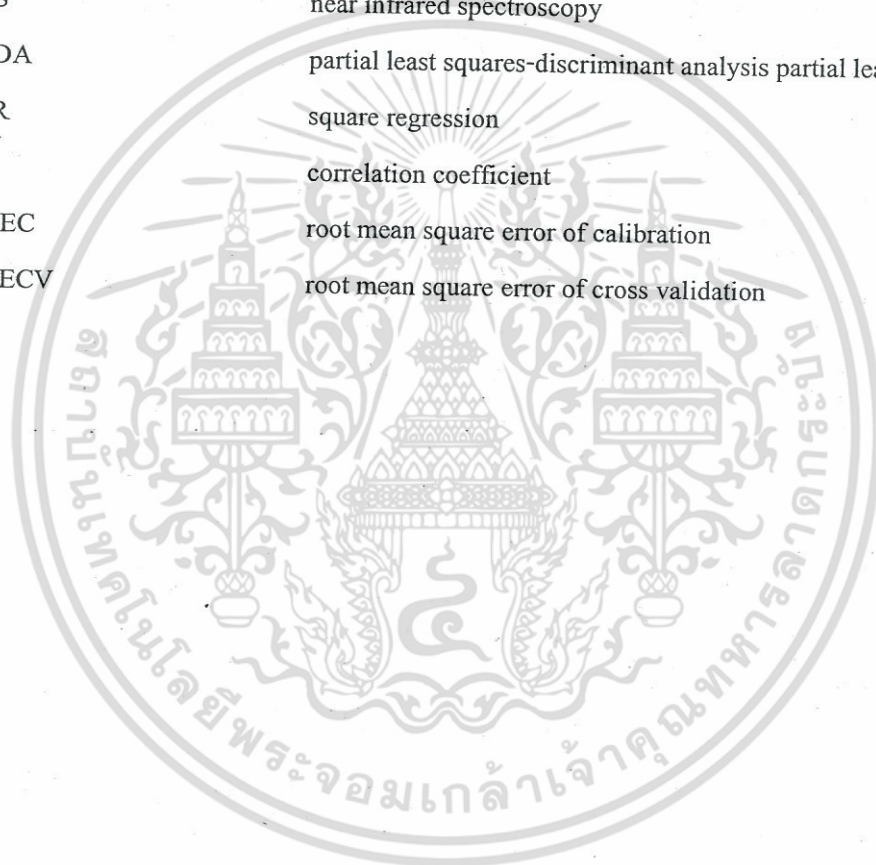


## สารบัญภาพ

รูปภาพที่	หน้า
2.1 ระยะเวลาของมังคุด	8
4.1 แผนภาพแสดงการทำนายค่าความแข็งของผลมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง	22
4.2 ลักษณะของสเปกตรัมเริ่มต้นเฉลี่ย (Original spectrum) ของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง	24
4.3 สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สอง แสดงการดูดกลืนแสง NIR ที่ได้จากมังคุดก่อนและหลังการตกกระทบ	25
4.4 แผนภาพค่าคะแนนปัจจัย (Score plot) แสดงการกระจายตัวของสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล	27
4.5 การทำนายภาพด้วย PLS-DA เพื่อจัดกลุ่มการเกิดเปลือกแข็งของมังคุด	28
4.6 การทำนายความถูกต้องในการจัดกลุ่มของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง	29

## อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
N	Newton
nm.	นาโนเมตร
NIRS	near infrared spectroscopy
PLSDA	partial least squares-discriminant analysis partial least
PLSR	square regression
R	correlation coefficient
RMSEC	root mean square error of calibration
RMSECV	root mean square error of cross validation



## บทที่ 1

### บทนำ

มังคุด (*Garcinia mangostana* L.) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจเขตร้อนชนิดหนึ่งของประเทศไทย และได้รับการยกย่องให้เป็น ราชนิของผลไม้ ด้วยลักษณะภายนอกของผลที่มีกลีบเลี้ยงติดอยู่ที่ขั้วของผลคล้ายมงกุฏของพระราชินี นอกจากนี้ด้วยเนื้อที่มีสีขาวสะอาด และรสชาติที่หวานอร่อย จึงเป็นผลไม้ที่ตลาดมีความต้องการสูงทั้งในและต่างประเทศ ในปี 2557 มีผลผลิตมังคุดรวมทั้งประเทศ 267,699 ตัน และผลผลิตต่อไร่ 658 กิโลกรัม และการส่งออกมังคุดและผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจากปี 2556 ร้อยละ 6 หรือประมาณ 230,650 ตัน โดยแยกเป็น มังคุดสด 230,000 ตัน มังคุดแช่แข็ง 650 ตัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของผลผลิตรวมทั้งความต้องการมังคุดคุณภาพ โดยเฉพาะตลาดจีน ซึ่งต้องการมังคุดสดยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

อย่างไรยังพบปัญหาในเรื่องของคุณภาพของมังคุดที่ผลิตได้ถือเป็นปัญหาที่สำคัญต่อคุณภาพด้านการส่งออก ซึ่งปัญหาที่เราควรคำนึงถึงนอกจาก รูปร่าง ขนาด น้ำหนัก สี ความมันวาว ยางเหลือง เนื้อแก้ว (สมเกียรติ, 2543) ปัญหาคุณภาพส่งผลกระทบต่อราคาขายของมังคุดทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะปัญหาเปลือกแข็งของมังคุดซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายถึงแม้มังคุดจะมีเปลือกหนาก็ตาม และสามารถคัดแยกได้ด้วยตาเปล่า ส่งผลทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพขาย และถ้ามีอาการรุนแรงจะมีผลต่อเนื้อภายในผลได้ การที่ไม่สามารถคัดแยกได้ด้วยตาเปล่าจึงส่งผลกระทบต่อส่งออกโดยมักพบว่ามังคุดที่ไม่ดีเหล่านี้ปะปนไปกับผลมังคุดที่ดีอยู่เสมอ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและไม่เป็นที่นิยมซื้อมังคุดเปลือกแข็ง (สายชล, 2548)

สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การคัดแยกมังคุดเปลือกแข็งออกจากมังคุดปกติ ซึ่งเทคนิคการคัดแยกมังคุดที่มีอาการเปลือกแข็งออกจากมังคุดปกติมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะปัญหามังคุดเปลือกแข็งเป็นปัญหาด้านคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรที่ไม่สามารถคัดแยกได้ด้วยตาเปล่าเป็นอุปสรรคต่อการขยายตลาดส่งออกมังคุดของประเทศไทย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาระบบการคัดแยกเพื่อยกระดับคุณภาพของมังคุดให้เป็นที่พึงพอใจของลูกค้ามากขึ้น ในปัจจุบันยังไม่มีเทคนิคที่จะคัดแยกมังคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลาย ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบการคัดแยกแบบไม่ทำลาย ที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับ เพื่อสามารถส่งมังคุดที่มีคุณภาพให้กับตลาดมังคุดส่งออก ทำให้ผู้บริโภคมีความมั่นใจในคุณภาพของมังคุดที่จำหน่าย จะส่งผลดีต่อการขยายตลาดการค้า และยกระดับราคาของมังคุด อันจะเป็นผลดีต่อเกษตรกรผู้ปลูกมังคุดของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) มาร่วมใช้วิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด ตรวจสอบคุณภาพของผลมังคุดและสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) สำหรับใช้ในการทำนายคุณภาพของมังคุด ได้แก่ ค่าความแข็งเปลือกและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลมังคุด

1.2.2 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพของมังคุดเพื่อประโยชน์ทางการค้า

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาข้อมูลสเปกตรัมของมังคุด โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (Image analysis) มาร่วมใช้วิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด โดยพิจารณาจากแต่ละจุดพิกเซลของภาพของตัวอย่างที่ทำการตรวจวัดเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลภาพของตัวอย่าง ค่าความแข็ง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มาพิจารณากับสเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานแสงในย่านใกล้อินฟราเรด นำมาสร้างสมการเพื่อวิเคราะห์หาในผลมังคุด เพื่อกำหนดเป็นแนวทางในการคัดแยกคุณภาพของผลมังคุด

## 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

### 1.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

1.4.1.1 วัสดุดิบทางการเกษตร มังคุดสีน้ำตาลแดง (ระยะ 4)

1.4.1.2 เครื่องมือ

1.4.1.2.1 เครื่อง hyperspectral Imaging NIR

1.4.1.2.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส hand-held penetrometer

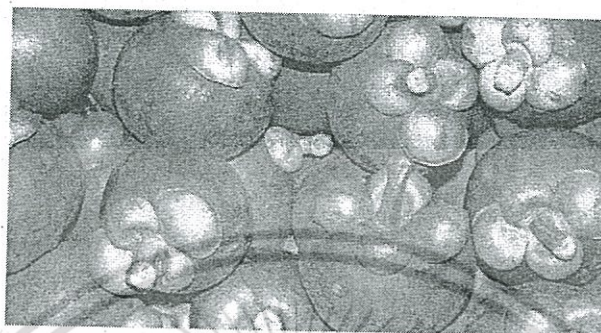
1.4.1.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล 4 ตำแหน่ง

1.4.1.2.4 เครื่องdigital hand refractometer

### 1.4.2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

นำผลมังคุดวัยสีน้ำตาลแดง (ระยะ 4) รูปที่ 1 คัดขนาดเท่ากัน วัดขนาดความกว้าง ความยาว สูงและชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำมังคุดไปจัดเก็บในห้องเก็บ รักษาอุณหภูมิและความชื้นคงที่ (25 องศาเซลเซียส) แบ่งกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 20 ผลออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 มังคุดปกติ และกลุ่มที่ 2 มังคุดเปลือกแข็ง นำมังคุดแต่ละผลมาผ่านกระบวนการทดสอบโดยวิธีการวัดการดูดกลืนแสงใน

ย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดระบบ hyperspectral imaging ช่วงความยาวคลื่น 900-1700 นาโนเมตร รักษาอุณหภูมิห้องปฏิบัติการในระหว่างการวัดที่ 25 องศาเซลเซียส



รูปภาพที่ 1 ผลมีสีแดงหรือน้ำตาลอมแดงระยะ 4

#### 1.4.3 ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ

หลังจากวัดสเปกตรัมของมังคุดแต่ละผลแล้ว นำมังคุดแต่ละไปตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

##### 1.4.3.1 การวัดน้ำหนัก

ทำการชั่งน้ำหนักผลมังคุดด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (กรัม) ด้วยเครื่องชั่ง ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของผลมังคุด

##### 1.4.3.2 การวัดขนาด

วัดขนาดผลมังคุด (เส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุด-สูงสุด และความสูง) ด้วยดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

##### 1.4.3.3 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid, TSS)

ใช้เครื่อง digital hand refractometer โดยหยดน้ำคั้นของผลมังคุดลงไปอ่านค่าที่ออกมาได้เป็น °Brix

##### 1.4.3.4 วัดค่าความแข็งของเปลือกมังคุด

วัดความแข็งของเปลือกที่บริเวณจุดวัดสเปกตรัมทั้ง 2 จุดด้วยเครื่องมือ hand-held penetrometer (รุ่น FHR-5, Nippon Optical Work Co., Ltd., Tokyo) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง

#### 1.4.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

##### 1.4.4.1 สร้างสมการทำนายความผิดปกติภายในของมังคุด

แบ่งตัวอย่างออกเป็นสองกลุ่ม โดยกลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดล และกลุ่มที่สองใช้ในการทำนาย กำหนดให้ความแข็งและค่า Brix เป็นตัวแปรตาม ทำ pretreatment และสร้าง

โมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยบางส่วนโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดหรือ partial least squares regression (PLSR) และใช้วิธีการปรับเทียบแบบ cross-validation ในการเลือกให้ได้ โมเดลที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากจำนวน latent variables (LV) ที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดจากการปรับเทียบหรือ Root Mean Square Error of calibration (RMSEC) ต่ำที่สุด และมีค่า bias ต่ำ ในการประเมินประสิทธิภาพในการทำนายของโมเดลใช้ข้อมูลของกลุ่มที่แยกไว้สำหรับการทำนาย ทำนายโดยวิธี cross-validation และพิจารณาเปรียบเทียบค่าของ correlation coefficient (R) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดในการทำนายหรือ root mean square errors estimated by cross validation (RMSECV) ที่ได้ ใช้ในการตัดสินใจว่าโมเดลแต่ละโมเดลมีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำ มากน้อยเพียงใด โดยที่โมเดลที่มีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำกว่าจะต้องมีค่า correlation coefficient ที่สูง และมีค่า standard error of calibration ที่ต่ำกว่า ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ visualization images software package (Envivce version 2.6.0)

#### 1.4.4.2 สร้างสมการและประเมินความถูกต้องในการคัดแยกมังคุด

กำหนดกลุ่มของมังคุดที่แบ่งในแต่ละกลุ่ม มังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งแบ่ง ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มออกเป็นสองกลุ่มโดยกลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดล และกลุ่มที่สองใช้ในการทำนาย ทำ pretreatment ของข้อมูลแต่ละกลุ่ม และสร้างโมเดลแต่ละกลุ่ม กำหนดค่าสำหรับการทำนาย กลุ่มมังคุดปกติคือ 0 และกลุ่มมังคุดเปลือกแข็งคือ 1 วิเคราะห์การคัดแยกถดถอยบางส่วนโดยวิธี partial least Squares discriminant Analysis (PLS-DA) นำข้อมูลในกลุ่มที่ใช้ทำนายมาทดสอบดูเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการคัดแยกกลุ่มมังคุด

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สมการทำนายคุณภาพของผลมังคุด สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการคัดคุณภาพของมังคุดโดยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) มาร่วมใช้วิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด เพื่อการบริโภคและการส่งออกให้เป็นที่ยอมรับได้มาตรฐาน และช่วยเพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตเกษตรได้ ได้ผลงานทางวิชาการและเขียนเป็นบทความตีพิมพ์เผยแพร่เป็นความรู้ให้แก่บุคคลทั่วไปสามารถผลิตบัณฑิตในระดับปริญญาเอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 แนวคิด ทฤษฎีหลักตามประเด็นให้ครอบคลุมเรื่องที่วิจัย

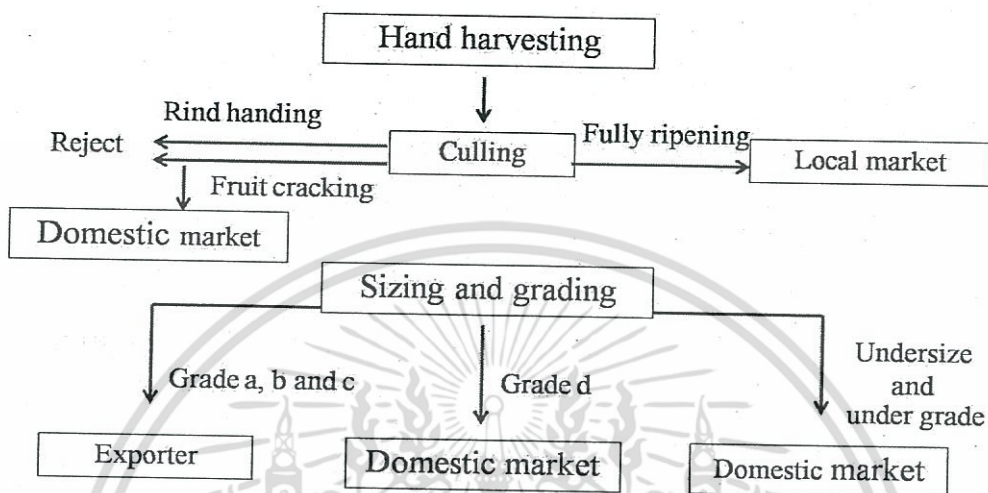
##### 2.1.1 มังคุด

มังคุด (*Garcinia mangosteen* L.) เป็นผลไม้ที่ได้รับการยกย่องเป็นราชินีของผลไม้เขตร้อน (Harlan, 1995) และนิยมปลูกเป็นการค้ามากขึ้น เพราะมังคุดเป็นที่ต้องการของทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ โดยมีแนวโน้มของการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปีเนื่องจากมังคุดเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดีและมีการส่งออกทั้งในรูปผลสดและแช่แข็ง (สมเกียรติ, 2543) โดยปกติเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวหลายระยะ เมื่อต้องส่งออกต่างประเทศจะต้องมีการคัดแยกผลอ่อนแก่ออกจากกัน โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของสีผิวเป็นเกณฑ์อาจแยกได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ยังมีสีเขียวที่ผิว กลุ่มที่มีสีสีแดงอ่อนจนถึงแดง และกลุ่มที่มีสีม่วงแดงจนถึงม่วงดำ ซึ่งสองกลุ่มแรกเหมาะสำหรับการส่งตลาดที่มีระยะทางไกลหรือส่งออกออกไปยังต่างประเทศส่วนกลุ่มสุดท้ายเหมาะแก่การส่งตลาดภายในท้องถิ่นหรือที่ระยะทางใกล้เคียงแหล่งที่ปลูก ประเทศไทยมีแหล่งการผลิต 3 แหล่ง คือ พื้นที่ภาคตะวันออก ภาคใต้ และภาคกลาง (พัชร, 2551) จังหวัดที่มีการปลูกมังคุดมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ จันทบุรี ชุมพร นครศรีธรรมราช ตรัง และระยอง ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556)

ระบบการคัดคุณภาพมังคุดในประเทศไทยได้สรุปออกเป็นแผนผัง ดังแสดงในรูปภาพที่ 2 โดยมังคุดที่ทำการเก็บเกี่ยว ถ้ามีอาการเปลือกแข็ง หรือผลร้าวจะถูกคัดทิ้ง ส่วนผลที่มีเปลือกสีม่วงเข้มจะถูกแยกออกไปขายในพื้นที่ เนื่องจากสุกเต็มที่ จึงมีอายุการจำหน่ายสั้น และมีเปลือกเปลือกผลที่นุ่ม อาจเกิดจากการซ้ำ อันจะทำให้เกิดอาการเปลือกแข็งได้ง่าย จึงไม่เหมาะกับการขนส่งไปขายไกลๆ ส่วนผลในระยะสีอื่นๆ จะถูกคัดขนาดและคัดเกรด ออกเป็นเกรดต่างๆ โดยเกรดมันใหญ่ มันเล็ก และกลากใหญ่ จะส่งไปขายต่างประเทศ ส่วนเกรดมันจืด ผลดอก และตกเกรด จะส่งขายภายในประเทศ (อุดมศักดิ์, 2554)

สำหรับแนวโน้มการส่งออกมังคุดของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยสามารถบรรลุข้อตกลงการจัดตั้งเขตการค้าเสรีกับประเทศต่างๆ ซึ่งจะทำให้การค้ามังคุดมีโอกาสขยายตัวเพิ่มขึ้น ปัญหาที่เป็นอุปสรรคคือ คุณภาพของมังคุดไทยยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการของตลาดโลก นั่นคือ ผลต้องมีความสมบูรณ์ ปราศจากตำหนิร่องรอยการทำลายของโรคและแมลง มีขนาดผลสม่ำเสมอ ไม่มีอาการผลแตก ไม่มีอาการก้นผลจิบ มีสีน้ำตาลตามธรรมชาติ ภายในผลที่ต้องไม่มีอาการเนื้อแก้ว และยางไหล ดังนั้น ถึงแม้ว่าลักษณะภายนอกของผลมังคุดจะสมบูรณ์ปราศจากร่องรอยต่ออาจมีคุณภาพที่ไม่ยอมรับก็ได้ ถ้าปรากฏ

อาการเปลือกแข็งภายใน ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญในการหาวิธีตรวจสอบมังคุดเปลือกแข็ง และยังเป็นปัญหาที่รอแก้ไขอยู่ในปัจจุบัน



รูปภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงระบบการคัดแยกของผลมังคุดสดภายในประเทศไทย

ที่มา: อุดมศักดิ์, 2554

### 2.1.2 ดัชนีการเก็บเกี่ยว

การคัดเลือกผลิตผลก่อนการเก็บเกี่ยวให้มีคุณภาพที่ดีจะส่งผลกระทบต่อผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวที่มีคุณภาพ (Watada et al., 1984) ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์หลังการเก็บเกี่ยว สำหรับการส่งออกจะใช้ความเหมาะสมของระยะเวลาและระยะทางในการขนส่งประกอบอาศัยกับลักษณะที่มองเห็นภายนอก และองค์ประกอบทางเคมีของผลเป็นตัวกำหนด ส่วนดัชนีการเก็บเกี่ยวของมังคุดจะอาศัยระดับสีของเปลือกมังคุด โดยการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผล สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ระยะ โดย Tongdee and Suwanagal (1989) แสดงดังรูปภาพที่ 3 (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2531)

1. ระยะ 0 ผลมีสีเขียวอมเหลืองสม่ำเสมอ หรือมีสีเขียวอมเหลืองแต้มด้วยสีเขียวอ่อน หรือ จุดสีเทา มียางสีเหลืองภายในเปลือกในระดับรุนแรงมาก เนื้อและเปลือกไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ผลที่เก็บเกี่ยวในระยะนี้สามารถเปลี่ยนสีถึงระดับ 6 ได้แต่รสชาติไม่ดี
2. ระยะ 1 ผลมีสีเหลืองอ่อนอมเขียว มีจุดสีชมพูกระจายอยู่ในบางส่วนของผิวผล ยางภายในเปลือกยังคงมีอยู่ในระดับรุนแรง เนื้อและเปลือกยังไม่สามารถแยกออกจากกันได้
3. ระยะ 2 ผลมีสีเหลืองอ่อนอมชมพู มีประสีชมพูกระจายไปทั่วทั้งผล ยางภายในเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังมีอยู่ในระดับปานกลาง การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกทำได้ยากถึงปานกลาง เป็นระยะอ่อนที่สุดที่เก็บเกี่ยวแล้วได้ผลผลิตคุณภาพดี

4. ระยะ 3 ผลมีสีชมพูสม่ำเสมอ ประสีชมพูเริ่มขยายเข้ามารวมกันไม่แบ่งแยกกันอย่างชัดเจน เหมือนในระยะ 2 ขางภายในเปลือกยังคงมีอยู่น้อยถึงน้อยมาก การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกทำได้ง่ายกว่าระยะ 2

5. ระยะ 4 ผลมีสีแดงหรือน้ำตาลอมแดง บางครั้งมีแต้มสีม่วง ขางภายในเปลือกมีน้อยมากจนถึงไม่มี การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกทำได้ง่าย

6. ระยะ 5 ผลมีสีม่วงแดง ภายในเปลือกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อและเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย ซึ่งเป็นระยะที่รับประทานได้

7. ระยะ 6 ผลมีสีม่วงเข้มจนถึงดำ ภายในเปลือกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อและเปลือกแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นระยะที่เหมาะสมต่อการรับประทานให้มีรสชาติดีมากที่สุด ผลในระยะนี้สามารถอยู่ได้ประมาณ 10 วัน ถ้ามีการเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิอย่างถูกต้อง



รูปภาพที่ 3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวมังคุด

ที่มา: (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2531)

การเก็บผลมังคุด ชาวสวนมักจะเก็บทุกวันหรือวันเว้นวัน โดยการสอยอย่างระมัดระวังไม่ให้ผลมังคุดตกกระทบพื้น ถึงแม้ว่าผลมังคุดมีเปลือกหนาก็ตาม แต่เปลือกจะไม่ทนทานต่อการกระทบกระเทาะ เปลือกจะช้ำและแข็ง ขยายไม่ออกในเวลาต่อมา ส่วนเปลือกด้านในจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงและลามไปถึงเนื้ออย่างรวดเร็ว (สมเกียรติ, 2543) ความแข็งของเปลือกผลจะลดลงเมื่อมีวัยมากขึ้น (สมโภชน์, 2535) โดยจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อผลเปลี่ยนสีจากระยะที่ 2 สีเหลืองอ่อนอมชมพูไประยะที่ 4 สีน้ำตาลแดงหลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงความแข็งของเปลือกผลน้อยมาก

### 2.1.3 พฤติกรรมผลมั่งคุดเปลือกแข็ง

ในกรณีที่ผลมั่งคุดตกกระทบแก่กับของแข็ง มั่งคุดจะสร้างลิกนินขึ้นอย่างรวดเร็ว พร้อมๆกับการแข็งตัวของเปลือกมั่งคุด (มาโนชญ์, 2534) โดยมั่งคุดที่ตกจากที่สูงจะมีการแข็งตัวเร็วกว่าผลที่ตกจากที่ต่ำกว่า และเมื่อนำวัยต่างๆของผลมั่งคุดมาศึกษา พบว่าเปลือกมั่งคุดสีม่วงแดงเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วภายในเวลา 6 ชั่วโมง ขณะที่ผลที่มีสีเหลืองอ่อนอมเขียวเกิดอาการเปลือกแข็งภายใน 18 ชั่วโมง มั่งคุดในระยะสีน้ำตาลแดง จะเกิดอาการเปลือกแข็งเมื่อได้รับแรงกดตั้งแต่ 1.5 กิโลกรัมขึ้นไป ในขณะที่มั่งคุดในระยะสีม่วงแดง จะเกิดอาการเปลือกแข็งเมื่อได้รับแรงกดตั้งแต่ 0.5 กิโลกรัมขึ้นไป (รำไพ, 2536) ความแข็งแรงของเปลือกมั่งคุดหลังการตกกระทบพื้นคอนกรีตตันที่มีค่าต่ำกว่าของเปลือกของผลที่ไม่ตกกระทบ แต่ความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหลังการตกกระทบ ส่วนผลที่ไม่ตกกระทบความแข็งแรงจะคงที่ นอกจากนี้ ออกซิเจนมีผลต่อการแข็งตัวของเปลือก ส่วนความชื้นของเปลือกพบว่าไม่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเปลือกผลมั่งคุดบริเวณที่ตกกระทบ (สมศักดิ์, 2538) ผลมั่งคุดที่มีอาการของโรคผลเน่า ซึ่งเกิดจากเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคใบจุด ใบไหม้ หรือกิ่งแห้งกิ่งแตก ที่สามารถจะเข้าทำลายที่ผลได้ด้วย ทำให้เกิดอาการผลเน่าเสียหายและอาจเกิดต่อเนื่องไปจนถึงหลังการเก็บเกี่ยวทำให้เปลือกแข็งได้ (สมศักดิ์, 2541; สมเกียรติ, 2543)

### 2.1.4 NIR hyperspectral imaging

เป็นการพัฒนาเทคนิคด้าน NIRs แบบใหม่ โดยการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) มาร่วมใช้วิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดของตัวอย่าง เป็นการวิเคราะห์สเปกตรัมจำนวนมากไปพร้อมๆกับตัวแปรอิสระจำนวนมากแทนการใช้สเปกตรัมเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่าง โดยพิจารณาจากแต่ละจุดพิกเซลของภาพของตัวอย่างที่ทำการตรวจวัดเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลภาพของตัวอย่าง ค่าทางฟิสิกส์ ค่าทางเคมี มาพิจารณากับสเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานแสงในย่านใกล้อินฟราเรด (Fernández Pierna et al., 2012)

มีนักวิจัยนำเทคนิค NIRS นี้ มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของผักและผลไม้หลายชนิด อาทิเช่น (Kawano et al., 1992) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ NIR ด้วย fiber optic probe ในผลพีช พันธุ์ Shimizu Hakuto ในช่วงความยาวคลื่น 680-1235 นาโนเมตร โดยใช้สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วย second derivative สามารถสร้างสมการ calibration และนำสมการไปทดสอบได้ผลการทำนายที่แม่นยำ

Teerachaichayut et al., (2007) นำเทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น ความยาวคลื่นในช่วงความยาวคลื่น 640-980 นาโนเมตร ไปใช้ในการตรวจอาการเน่าแก้วภายในผลมั่งคุด ระหว่างการเก็บรักษา ได้ผลการทำนายที่แม่นยำ

### 2.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Hyperspectral Image NIRs (HSI) จะอยู่ในรูปสเปกตรัม ส่วนข้อมูลของค่าคุณลักษณะเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณวิเคราะห์ได้จากวิธีแบบ conventional นำข้อมูลที่ได้จากทั้ง 2 ส่วนมา รวมเข้าด้วยกันแล้วจึงนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือขั้นตอนการวิเคราะห์หาสมการ calibration เพื่อใช้เป็น model ในการวัดค่าคุณลักษณะเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพต่างๆตามที่ต้องการตรวจสอบ ส่วนขั้นที่ 2 เป็นขั้นตอนการทดสอบความแม่นยำของสมการ calibration ที่สร้างขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเรียกว่า ขั้นตอนการทำ validation เพื่อเลือกสมการที่มีความเหมาะสม และสามารถทำนายค่าได้แม่นยำมากที่สุด เมื่อได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงนำสมการ calibration ที่ได้ไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาจากสเปกตรัม ที่ทำการวัดมาได้

#### 2.1.6.1 การสร้างสมการ calibration

การหาตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่จะทำการวิเคราะห์ มีวิธีการหา 2 วิธีหลักคือ

##### ก. Wavelength selection

เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ เฉพาะความยาวคลื่น ที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่จะทำการวิเคราะห์ เทคนิคในการวิเคราะห์มีหลายแบบเช่น

- 1) เลือกจากความรู้อาเซียน หรือเอกสารอ้างอิง ที่บ่งบอกถึงช่วงความยาวคลื่นที่คาดว่าน่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าที่จะทำการวิเคราะห์
- 2) อาจจะใช้เทคนิคทางสถิติในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่คาดว่าน่าจะมีความสัมพันธ์ เช่น Multiple regression หรือสร้าง correlativegram

การสร้าง correlativegram เป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X คือความยาวคลื่น กับแกน Y คือค่า correlation อย่างง่ายของความสัมพันธ์ระหว่าง optical data ณ ความยาวคลื่นนั้น กับค่าวิเคราะห์ที่หามาได้ด้วยวิธี reference measurement ซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยสามารถคัดเลือกความยาวคลื่นที่มีความเป็นไปได้ที่จะสัมพันธ์กับค่าที่วิเคราะห์

วิธีการสร้างสมการ calibration แบบ Wavelength selection อาศัยหลัก และวิธีการทางสถิติมาช่วยในการสร้างสมการ เช่น simple linear regression, Multiple linear regression เป็นต้น

แต่การเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่นทั้งหมด ไม่ใช่เรื่องง่าย และอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ ค่าข้อมูลที่ไม่ถูกต้องอาจเกิดปัญหา ทำให้ได้ค่าทำนายที่ต่ำกว่า หรือสูงกว่าค่าที่

แท้จริงอันเนื่องมาจากความผิดพลาดจากการสร้างสมการ หรือเกิดปัญหาเมื่อจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการน้อย และทำให้ได้สมการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไปในสมการทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ

ข. Full spectrum analysis

การใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มีทุกความยาวคลื่น เป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น อย่างไรก็ตามยังคงมีปัญหอยู่บ้างคือ การที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไปการใช้วิธีทางสถิติ ในการจัดกลุ่มแยกประเภทตัวแปร ที่มีความเกี่ยวข้องกัน และทำการสร้างตัวแปรใหม่ที่เกิดมาจากตัวแปรเดิม จะช่วยทำให้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ คือ Principal Component Regression (PCR), Partial Least Square Regression (PLSR) เป็นต้น

2.1.5.2 การทำ Validation

หลังจากได้สมการแล้ว ต้องมีการทดสอบความมีประสิทธิภาพของสมการนั้น ก่อนนำไปใช้จริง ซึ่งการทดสอบสมการที่นิยม มี 2 วิธี คือ

ก. Full cross validation

เป็นการทดสอบสมการภายใน ความหมายคือ ตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบสมการคือ ตัวอย่างชุดมาตรฐานทั้งหมด ที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมีนั่นเอง มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
  - 2) ใช้ตัวอย่างมาตรฐานที่เหลือทำการสร้างสมการ
  - 3) นำสมการที่ได้มาประเมินค่าทางเคมีของตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 เราตัดออกมาใส่ตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 กลับคืนเข้าไป
  - 4) ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
  - 5) ทำขั้นตอนซ้ำข้างต้น จนครบทุกตัวอย่าง
- ดังนั้นตัวอย่างแต่ละตัว จะถูกตัดออกจากชุดตัวอย่างละหนึ่งครั้งเท่านั้น ทำการหาค่า Root Mean Square Error of Cross Validation (RMSECV)

6) การทดสอบการประเมินผล

วิธีนี้จะทดสอบสมการแบบภายนอก โดยการเตรียมตัวอย่างชุดใหม่มาทำการวิเคราะห์ในสภาวะการทดลอง เช่นเดียวกับชุดตัวอย่างมาตรฐาน เรียกชุดตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการนี้ว่า ชุดทดสอบ (Testing set) ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่าหนึ่งตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) สิ่งที่ต้องการระวัง คือ ปริมาณค่าทางเคมี ที่เราจะใช้ทดสอบ ต้องอยู่ในช่วงชุดมาตรฐานหลังจากได้สเปกตรัมจากชุด

ทดสอบก็นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณจากสมการค่าทางเคมี จากนั้นดูผลการคำนวณที่ได้จากค่าทางสถิติ ซึ่งค่าทางสถิติที่ควรพิจารณา คือ ค่า Bias คือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธี Hyperspectral image NIRS กับค่าที่ได้จากวิธี Reference และค่า Root Mean Square Error of prediction (RMSEP)

#### 2.1.5.4 การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มคน สัตว์ หรือสิ่งของ ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูลที่ทราบจำนวนกลุ่ม และทราบว่าแต่ละกรณีอยู่กลุ่มใด แล้วใช้ข้อมูลดังกล่าวในการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรที่คาดว่าจำทำให้กรณีที่อยู่คนละกลุ่มมีความแตกต่างกัน และยังสามารถใช้สมการดังกล่าวจัดกลุ่มหรือพยากรณ์กลุ่มให้กับกรณีที่ยังไม่ทราบกลุ่ม โดยวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม คือ

- ก. เพื่อหาสมการเชิงเส้นหรือฟังก์ชันจำแนกกลุ่มซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรแยกกลุ่มหรือตัวแปรตาม (D) กับตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว
- ข. เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป (Multivariate) โดยการเปรียบเทียบค่ากลางของกลุ่ม
- ค. เพื่อนำสมการ หรือฟังก์ชันจำแนกกลุ่มที่สร้างในข้อ 1 มาใช้ในการพยากรณ์ว่า กรณีใหม่ที่ยังไม่ทราบกลุ่มควรจะอยู่กลุ่มใด
- ง. เพื่อพิจารณาว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม
- จ. สามารถใช้ฟังก์ชันจำแนกกลุ่มที่สร้างขึ้น มาใช้ในการประเมินเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการจำแนกกลุ่ม

โดยขั้นตอนของการจำแนกกลุ่ม หลังจากทราบกลุ่มมาก่อนแล้ว คือ

- 1) กำหนดตัวแปรอิสระที่คาดว่าจะมีผลหรือมีอิทธิพลต่อการจำแนกกลุ่ม
- 2) เลือกตัวอย่างแต่ละกลุ่มเพื่อใช้เป็นตัวแทนของกลุ่ม
- 3) เก็บรวบรวมข้อมูลของตัวแปรอิสระที่เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 1
- 4) สร้างเกณฑ์หรือสร้างสมการจำแนกกลุ่ม โดยใช้ข้อมูลที่เลือกจากขั้นที่ 2 และ 3
- 5) นำเกณฑ์หรือฟังก์ชันจำแนกกลุ่มที่ได้ในขั้นตอนที่ 4 มาทำนายกลุ่มของตัวอย่างที่เข้ามาใหม่

#### 2.1.5.5 Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA)

Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) เป็นวิธีในการจำแนกกลุ่มของข้อมูลที่มีตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไป วิธีนี้ต้องกำหนดค่าในกลุ่มแรกให้มีค่าเท่ากับศูนย์และกลุ่มที่สองมีค่าเท่ากับ

หนึ่ง จากนั้นนำมาทำการสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นด้วยวิธี PLSR วิธี PLS-DA เป็นวิธีวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า Principal component (PC) ซึ่งเป็นผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรต้นทุกตัว โดย PC1 จะเป็นค่าที่อธิบายความแปรปรวนร่วมที่มากที่สุดของตัวแปรต้นของตัวอย่างกับค่าที่ใช้ทำนายแยกกลุ่มระหว่างสองกลุ่มข้อมูลข้อมูล PC ซึ่งเรียกว่า Score เมื่อพล็อตร่วมกันระหว่างสอง PC จะสามารถนำมาตรวจสอบการแบ่งกลุ่มของตัวอย่างได้ว่าถูกแยกด้วย PC ไค และตัวแปรต้นตัวใดที่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดการแยกระหว่างสองกลุ่ม โดยตรวจสอบดูค่า loading ซึ่งค่า loading ที่มีค่าสูงของ PC ที่ทำให้เกิดการแบ่งกลุ่มจะแสดงว่าตัวแปรต้นตัวดังกล่าวมีผลที่ทำให้เกิดการแบ่งกลุ่ม

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

ในปัจจุบันมีงานหลายงานวิจัย ที่ใช้ NIR hyperspectral imaging มาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบคุณภาพอาหารได้ข้อมูลทีละเอียดและเป็นการพิจารณาจากรายละเอียดของตัวอย่างจากภาพของตัวอย่าง ได้แก่ งานวิจัยที่ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 900-1700 nm มาแยกชนิดของ lamb muscles โดยวิเคราะห์ด้วย Principal component analysis (PCA) สามารถคัดแยกชนิดของ lamb muscles ได้ถูกต้อง 100% (Kamruzzaman et al., 2011)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 600-1000 nm เพื่อทำนายอาการซ้ำในผลกีวีแบบไม่ทำลาย โดยด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) สามารถทำนายได้ถูกต้อง 85.5% (Qiang et al., 2012)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 nm เพื่อคัดแยกเมล็ดข้าวสาลีที่มีตำหนิจากเมล็ด โดยด้วยวิธี discriminant analysis สามารถแยกได้ถูกต้อง 96.4% สำหรับเมล็ดปกติและ 91.0-100.0% สำหรับเมล็ดที่มีตำหนิจากเมล็ด (Singh et al., 2010)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 960-1662 nm เพื่อคัดแยกเมล็ดข้าวโพดที่มีความแข็งแตกต่างกัน โดยวัดค่าความแข็งจากเครื่องมือ Pioneer Hi-Bred Research RSA และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) สามารถสร้างโมเดล PLS-DA และนำมาทดสอบได้ความแม่นยำ root mean square error of prediction (RMSEP) เท่ากับ 0.18 (Williams et al., 2009)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 900-1700 nm เพื่อคัดแยกคุณภาพของเนื้อหมู ได้ความยาวคลื่นที่สำคัญในการคัดแยกที่ 960, 1074, 1124, 1147, 1207 และ 1341 nm วิเคราะห์ด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) สามารถแยกได้ถูกต้อง 96% (Barbin et al., 2012)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 900-1700 nm เพื่อทำนายคุณภาพของเนื้อวัว ได้แก่  $L^*$ ,  $b^*$  pH และ ความแน่นเนื้อ โดยสร้างสมการสำหรับทำนายโดยวิธี partial least square regression (PLSR) ได้ผลการทำนาย ดังนี้ coefficients of determination ( $R^2$  CV ) เท่ากับ 0.88, 0.81, 0.73, 0.83 และ root mean square errors estimated by cross validation (RMSECV) เท่ากับ 1.21, 0.57, 0.06, 40.75 ตามลำดับ (ElMasry et al., 2012)

ใช้ NIR hyperspectral imaging. ในช่วงความยาวคลื่น 900 - 1700 nm เพื่อคัดแยกคุณภาพของเนื้อไก่่งวงที่ผ่านการให้ความร้อน ได้ความยาวคลื่นที่สำคัญในการคัดแยกที่ 980, 1061, 1141, 1174, 1215, 1325, 1436 และ 1641 nm วิเคราะห์ด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) สามารถแยกได้ถูกต้องสูงสุด 99.23% (ElMasry et al., 2011a)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 910-1700 nm เพื่อทำนายค่าความจุในการรับน้ำ (water holding capacity; WHC) ในเนื้อวัวสด โดยสร้างสมการสำหรับทำนายโดยวิธี partial least square regression (PLSR). ได้ผลการทำนาย ดังนี้ Coefficients of determination ( $R^2$  CV) เท่ากับ 0.89 และ root mean square errors estimated by cross validation (RMSECV) เท่ากับ 0.26% (ElMasry et al., 2011b)

Kwon and Cho (1998) วิเคราะห์ความแตกต่างของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่จำหน่ายภายในประเทศโดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีแบบการถ่ายภาพ (Image processing with a CCD camera and near infrared spectroscopy technique) ผลการศึกษาพบว่าเทคนิคนี้สามารถจำแนกข้าวที่มีรูปร่างแตกต่างกันได้แม่นยำถึง 90% และพบว่า (Wang et al., 2012) ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 950-1650 nm เพื่อคัดแยกค่าน้ำที่ติดเชืบบนผิวของหอมหัวใหญ่ วิเคราะห์ด้วยวิธี Fisher's discriminant analysis โดยสามารถแยกได้ถูกต้อง 80%

มีงานวิจัยที่นำเทคโนโลยีการประมวลผลทางภาพถ่ายมาใช้ในการประเมินความสุกแก่ของทะเลสาบปลาดีน้ำมันและผลปลาดีน้ำมันโดยใช้ข้อมูลจาก RGB color image (Ismail et al., 2000; Abdullah et al., 2001; Abdullah et al., 2002; Abdullah et al., 2004; Alfatni et al., 2008) ในปัจจุบันมีการนำ hyperspectral image มาใช้อย่างแพร่หลายมากกว่า RGB color image

ซึ่งในปัจจุบันมีการนำ hyperspectral image มาใช้อย่างแพร่หลายมากกว่า RGB color image เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่ได้จาก hyperspectral image มีความละเอียดและมีปริมาณมากกว่า RGB color image อาทิ การตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรแบบไม่ทำลายอย่างแพร่หลายเช่นการตรวจสอบกาปนเปื้อนในแอปเปิ้ล (Patrick et al., 2004) การตรวจสอบคุณสมบัติภายใน อาทิ ความสุกแก่ ความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และค่า pH ของสตอเบอร์รี่ (Gamal et al., 2007)

เพื่อเป็นการปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคใหม่ๆมาใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติภายในของผล  
มังคุดแบบไม่ทำลาย งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ NIR hyperspectral imaging มาใช้สำหรับงานวิจัยนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

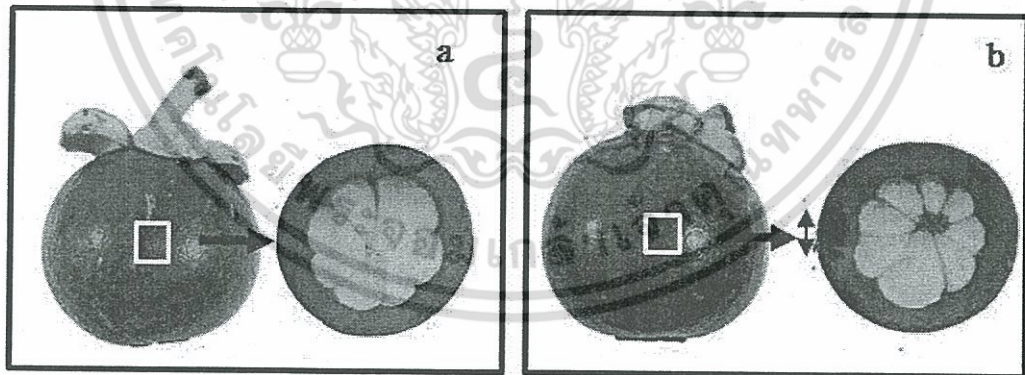
### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

#### อุปกรณ์และวิธีการ

##### 3.1 การเตรียมตัวอย่างผลมังคุด

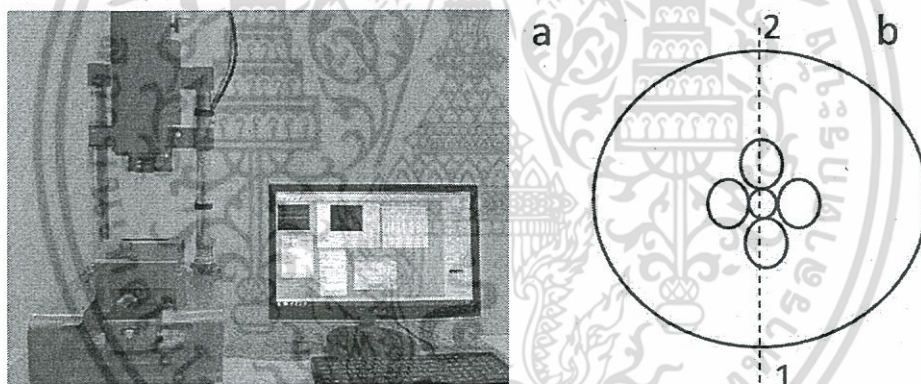
มังคุดที่มีสีและขนาดสม่ำเสมอ (45-50 กรัม) ซึ่งมาจากตลาดในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นประเทศไทย เลผลมังคุดที่เลือกใช้ในการทดลอง คือ ผลมังคุดสีน้ำตาลแดง ทำการขนส่งอย่างระมัดระวังไปยังห้องปฏิบัติการ ทำความสะอาดมังคุดและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะเก็บข้อมูลโดยมังคุดเปลือกปกติ แสดงตามรูปภาพที่ 4a และมังคุดแข็งเปลือกมังคุด แสดงตามรูปภาพที่ 4b ซึ่งแสดงให้เห็นลักษณะภายนอกและลักษณะภายในที่เกิดขึ้นจากการทำให้เกิดเปลือกแข็ง โดยนำเสนอในรูปภาพที่ 4 โดยมังคุดเปลือกแข็งจะทำการให้เกิดเปลือกแข็งโดยการทำการตกกระทบที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร ปล่อยให้ให้เกิดเปลือกแข็งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (Dangcham *et al*, 2008) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง จากนั้นนำข้อมูลค่าความแข็งของเปลือกมังคุดและการดูกลิ่นพลังงานเฉลี่ยของแต่ละผล นำไปใช้ในการวิเคราะห์การคัดแยกระหว่างกลุ่มมังคุดปกติและกลุ่มมังคุดเปลือกแข็งแบบหลายตัวแปรต่อไป



รูปภาพที่ 4 ลักษณะปรากฏภายนอกและภายในของผลมังคุด : (a) มังคุดเปลือกปกติ (b) มังคุดเปลือกแข็ง

### 3.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสงและการเก็บข้อมูลภาพ Hyperspectral image ของผลมังคุดและวิธีการประเมินความแข็งของปอกติและมังคุดเปลือกแข็งโดยการใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพถ่าย hyperspectral image

กล้อง hyperspectral camera SisuCHEMA ทำการวัดด้วยหลักการสะท้อนแสง (Reflectance) (Specim, Spectral Imaging Ltd, Finland) และชุดสแกน ซึ่งสามารถจะเก็บข้อมูลภาพที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 910-1700 นาโนเมตร ใช้ในการเก็บภาพถ่ายผลมังคุด ในการเก็บข้อมูลภาพ กล้อง hyperspectral camera จะทำหน้าที่เป็น line scan sensor การเก็บข้อมูลภาพมังคุดกำหนดตำแหน่งที่จะทำการวัดสเปกตรัมของแต่ละผลไว้ ทำการวัดทั้งหมด 2 จุดในแต่ละตัวอย่าง โดยทำการวัดที่บริเวณกึ่งกลางผลและหมุนทุกๆ 180 องศาในการวัดแต่ละครั้ง ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดทั้ง 2 จุดเดิมใหม่อีกครั้ง จากนั้นทำการวัดความแข็งของเปลือกที่บริเวณจุดวัดสเปกตรัมทั้ง 2 จุด ดังแสดงในภาพที่ 5



รูปภาพที่ 5 เครื่อง hyperspectral image (a) และ ตำแหน่งการวัดผลมังคุด (b)

### 3.3 การปรับแต่งสเปกตรัม

นำข้อมูลสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ที่บันทึกไว้ด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging ไปวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ visualization images software package (Envivce version 2.6.0) ทำการเฉลี่ยสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ จากนั้นนำสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ที่หาค่าเฉลี่ยแล้วมาปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ด้วยวิธีการแปลงค่าอนุพันธ์อันดับสองโดยใช้วิธีการปรับเรียบแบบซาวิตซ์กีโกเลย์ทุกช่วงความยาวคลื่น 10 นาโนเมตร (Savitzky-Golay algorithm: left and right side in 10 nm gap size of the second derivative) วิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ และวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน นอกจากนี้ยังปรับแต่งสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยวิธีการปรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลางข้อมูล (Centering) และวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานโดยใช้วิธีการปรับเรียบแบบซาวิตซ์กีโกเลีย์ทุกช่วงความยาวคลื่น 10 นาโนเมตร อีกด้วย

### 3.4 ความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของมังคุดเปลือกแข็ง

สำหรับการวิเคราะห์ความแม่นยำในการทำนาย % ความรุนแรงของการเกิดเปลือกแข็งจำนวน 20 ผล เป็นการพิจารณาระดับความรุนแรงของการเกิดเปลือกแข็งของผลมังคุดโดยวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติจากการคำนวณจำนวน pixel สำหรับส่วนที่เป็น pixel ของมังคุดที่เกิดเปลือกแข็งต่อส่วนที่เป็น pixel ของพื้นที่ทั้งหมด โดยวิเคราะห์จาก โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ visualization images software package (Envivce version 2.6.0) เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีเกิดเปลือกแข็งต่อพื้นที่ทั้งหมดในแต่ละผล จะทำให้ได้ค่าระดับความรุนแรงตามค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติในแต่ละผล โดยมังคุดที่มีเปอร์เซ็นต์ index ของความผิดปกติสูง ก็จะมีระดับความรุนแรงของการเกิดเปลือกแข็งสูงด้วย

### 3.5 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเปลือกแข็ง ตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพภายในผลมังคุด

กลุ่มของมังคุดเปลือกแข็งจำนวน 20 ผล จะถูกแบ่งเป็นระดับความรุนแรง 3 ระดับตามระดับตามค่าความแข็งของเปลือกมังคุด คือ ระดับความแข็งมาก (hardening pericarp) ระดับความแข็งปานกลาง (patial hardening pericarp) และมังคุดปกติ (normal pericarp) ซึ่งวัดความแข็งของเปลือกด้วยเครื่องมือ hand-held penetrometer เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง ซึ่งแต่ละระดับความแข็งจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนายระดับความแข็งของมังคุดเปลือกแข็ง

### 3.6 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเปลือกแข็งเชิงคุณภาพภายในผลมังคุด

ทำการเก็บข้อมูลของมังคุดสองกลุ่มโดยแบ่งเป็นมังคุดเปลือกปกติจำนวน 20 ผล และกลุ่มมังคุดเปลือกแข็งจำนวน 20 ผล โดยกำหนดให้กลุ่มมังคุดเปลือกปกติคือ 0 และกลุ่มมังคุดเปลือกแข็งคือ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) เพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยก

### 3.7 การสร้างสมการทำนายสำหรับแบ่งกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง

นำสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ที่ผ่านการหาค่าเฉลี่ย การปรับแต่งสเปกตรัม และการตรวจสอบสเปกตรัมที่ผิดปกติแล้ว มาสร้างสมการทำนายสำหรับแบ่งกลุ่มมังคุดเปลือกแข็งออกจากมังคุดปกติ จากนั้นพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักบัจจัย (PLS-DA loading) และคะแนนบัจจัย (PLS-DA score) บนแกนองค์ประกอบหลัก (Principal component; PC) โดยค่าน้ำหนักบัจจัยใช้ในการอธิบายโครงสร้างของข้อมูลในรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปร และค่าคะแนนบัจจัยอธิบายโครงสร้างของข้อมูลในรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวอย่าง ซึ่งแสดงถึงความคล้ายหรือความแตกต่างของตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างมีค่าคะแนน (Score) ในแต่ละ PC ซึ่งค่าเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของตัวอย่างตามแกน PC โดยตัวอย่างที่มีค่าคะแนนใกล้เคียงกันในแกน PC เดียวกันมีความคล้ายกัน ในทางตรงกันข้ามตัวอย่างที่มีค่าคะแนนแตกต่างกันมากมีค่าคะแนนของตัวแปรเดิมนั้นแตกต่างกันด้วย (ธงชัย สุวรรณลิขณณ์และปิติพร ฤทธิ์เรืองเดช, 2552)



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ข้อมูลการดูดกลืนพลังงานแสงของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง

จากข้อมูลความแข็งเปลือกสามารถนำมาแบ่งกลุ่มมังคุดปกติได้จำนวน 20 ตัวอย่าง และมังคุดเปลือกแข็งจำนวน 20 ตัวอย่าง นำตัวอย่างวัดค่าตัวแปรต่างๆ ได้ผลแสดงในตารางที่ 1 พบว่าน้ำหนักของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งมีน้ำหนักสูงสุดมีค่า 48.06 และ 50.85 กรัม น้ำหนักต่ำสุดมีค่า 45.38 และ 46.08 กรัม ตามลำดับ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งมีปริมาณ Total soluble solid มีค่าสูงสุด 22 และ 23.2 °Brix ต่ำสุดมีค่า 20.2 และ 19.8 °Brix ตามลำดับ และพบว่าค่าความแข็งของเปลือกมังคุดสามารถแบ่งเกณฑ์ในการกำหนดกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งปกติ ด้วยการใช้เครื่อง hand-held penetrometer พบว่าค่าความแข็งของมังคุดปกติมีค่าสูงสุด 32.93 N และค่าต่ำสุด มีค่า 24.53 N มังคุดเปลือกแข็งมีค่าความแข็งมีค่าสูงสุด 49.8 N และค่าความแข็งต่ำสุดมีค่า 37.24 N

ตารางที่ 1 ตัวอย่างของมังคุดกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง

กลุ่มตัวอย่าง	n	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (°Brix)	Firmness (N)
มังคุดปกติ	20	45.38-48.06	20.2-22	24.53 -32.93
มังคุดเปลือกแข็ง	20	46.08-50.85	19.8-23.2	37.24 - 49.8

หมายเหตุ n: จำนวนตัวอย่าง

N: นิวตัน

การวิเคราะห์ปริมาณความแข็งของมังคุดเปลือกแข็งและมังคุดปกติด้วย Near Infrared (NIR) Hyperspectral Imaging สเปกตรัมที่ได้ ของผลมังคุดที่มีการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่น 900-1700 nm พบว่า สมการเทียบมาตรฐานวิเคราะห์ปริมาณความแข็งของมังคุดเปลือกแข็งและมังคุดปกติแสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าของ R, RMSEC และ RMSECV ของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความแม่นยำของสมการด้วยวิธี PLSR เพื่อเทียบมาตรฐานวิเคราะห์ปริมาณความแข็งของเปลือกมังคุด

การปรับแต่งสเปกตรัม	จำนวน แฟกเตอร์	Calibration		Cross-validation	
		R	RMSEC	R	RMSECV
Original	3	0.63	7.01	0.57	7.41
Smoothing	3	0.66	6.76	0.59	7.27
2 <sup>nd</sup> derivative	3	0.88	4.34	0.82	5.24
MSC	3	0.93	3.36	0.87	4.44
SNV	3	0.89	4.12	0.85	4.72

หมายเหตุ Original: ไม่มีการปรับแต่งสเปกตรัม

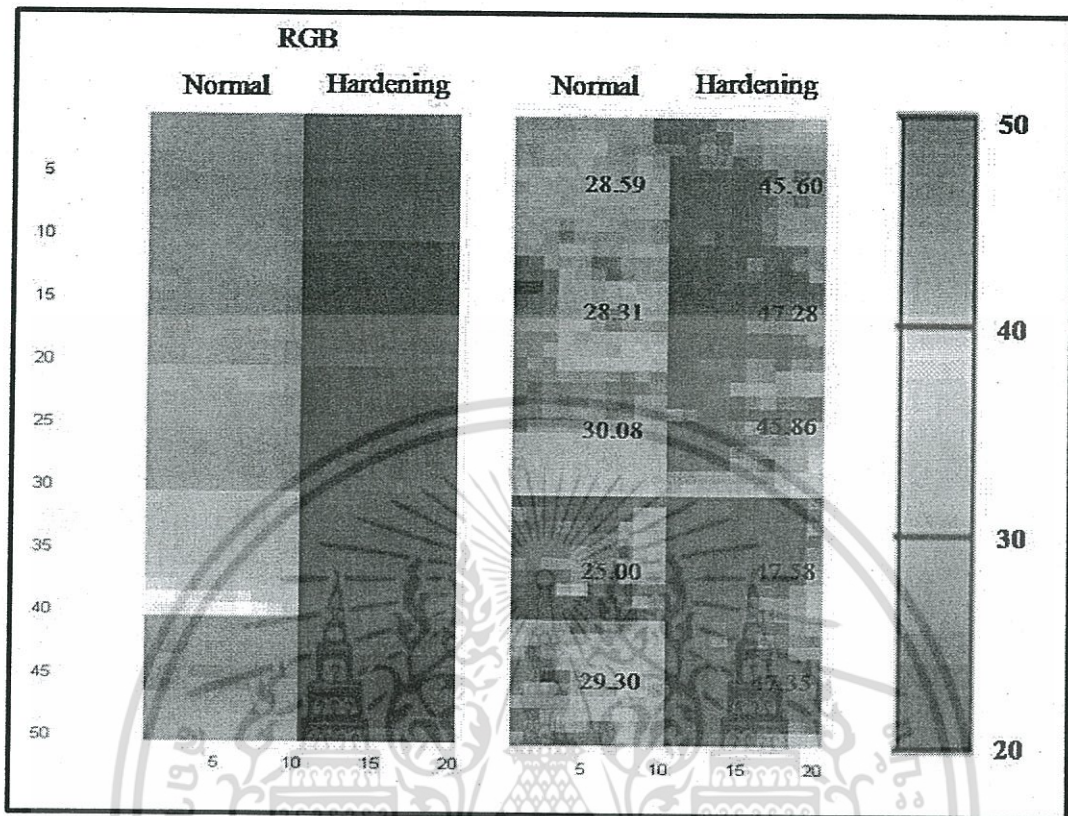
Centering: การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล

2<sup>nd</sup> derivative: การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

MSC: การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ

SNV: การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

จากการทดลองนี้ได้ทำการสร้างสมการเพื่อใช้ทำนายปริมาณความแข็งของเปลือกมังคุด โดยใช้วิธีวิเคราะห์ Partial Least Square (PLS) Regression ด้วยวิธี Full cross validation ร่วมกับวิธีการปรับแต่งสเปกตรัม 5 วิธี ได้แก่ Original, Smoothing, Second derivative, Multiplicative scatter correction (MSC), and Standard normal variate (SNV) โดยพิจารณาจากค่า RMSECV แสดงดังในตารางที่ 2 พบว่า Calibration Model สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณความแข็งของเปลือกมังคุดเมื่อพิจารณาจาก R ที่มีค่าเข้า ใกล้ 1 และจากการทดลองพบว่าโมเดลการทำนายค่าความความแข็ง ที่ทำการเฉลี่ยสเปกตรัมทั้ง 2 จุด ในแต่ละผล จำนวน 40 ผล มาปรับแต่งทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Multiplicative scatter correction (MSC) ให้ผลการทำนายดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกโมเดล มีค่า correlation coefficients (R) of calibration เท่ากับ 0.93 และค่า RMSEC เท่ากับ 3.36 นิวตัน ค่า correlation coefficients (R) of cross-validation เท่ากับ 0.87 และค่า RMSEC เท่ากับ 4.44 นิวตัน



รูปภาพที่ 4.1 แผนภาพแสดงการทำนายค่าความแข็งของผลมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง

วิธีวิเคราะห์ Partial Least Square Regression (PLSR) ใช้ในการทำนายความแข็งจากพิกเซลแต่ละภาพที่ตัดออกมา ซึ่งผลการทำนาย เรียกว่า 'prediction map' แสดงในรูปภาพที่ 4.1 ซึ่งสองคอลัมน์แรกเป็นภาพถ่าย (RGB) โดยแบ่ง เป็นมังคุดปกติ และมังคุดเปลือกแข็ง ส่วนคอลัมน์ที่สองเป็นแผนภาพการทำนายความแข็งของเปลือกมังคุด โดยเรานำสเปกตรัมทั้งหมดมาคำนวณสเปกตรัมเฉลี่ย ซึ่งจะแสดงให้เห็นผลของการใช้โมเดลที่เหมาะสมในช่วงความยาวคลื่นที่เลือกให้เป็นภาพ hyperspectral เพื่อใช้ที่ความแข็งของมังคุด และคอลัมน์ที่สาม แสดงถึงความแข็งของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งที่ได้มาโดยการวิเคราะห์ด้วยภาพ hyperspectral image ซึ่งแผนภาพที่ใช้ทำนายจะแบ่งตามระดับสีเพื่ออธิบายปริมาณความแข็งของเปลือกมังคุดที่แตกต่างกันในกลุ่มตัวอย่างผลมังคุดที่ตัดเป็นพิกเซลของมังคุดแต่ละผล ซึ่งหมายความว่าพิกเซลที่มีค่าความแข็งปริมาณมากจะแสดงถึงสีแดง ซึ่งปริมาณความแข็งเพิ่มขึ้นแผนภาพเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง แม้ว่าจะไม่สามารถระบุความผิดปกติของเปลือกมังคุดโดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า แต่จากการทำนายด้วยแผนภาพ แต่ก็สามารถทำนายปริมาณความแข็งของเปลือกมังคุดได้จากแผนภาพโดยการวิเคราะห์ด้วยภาพ hyperspectral image

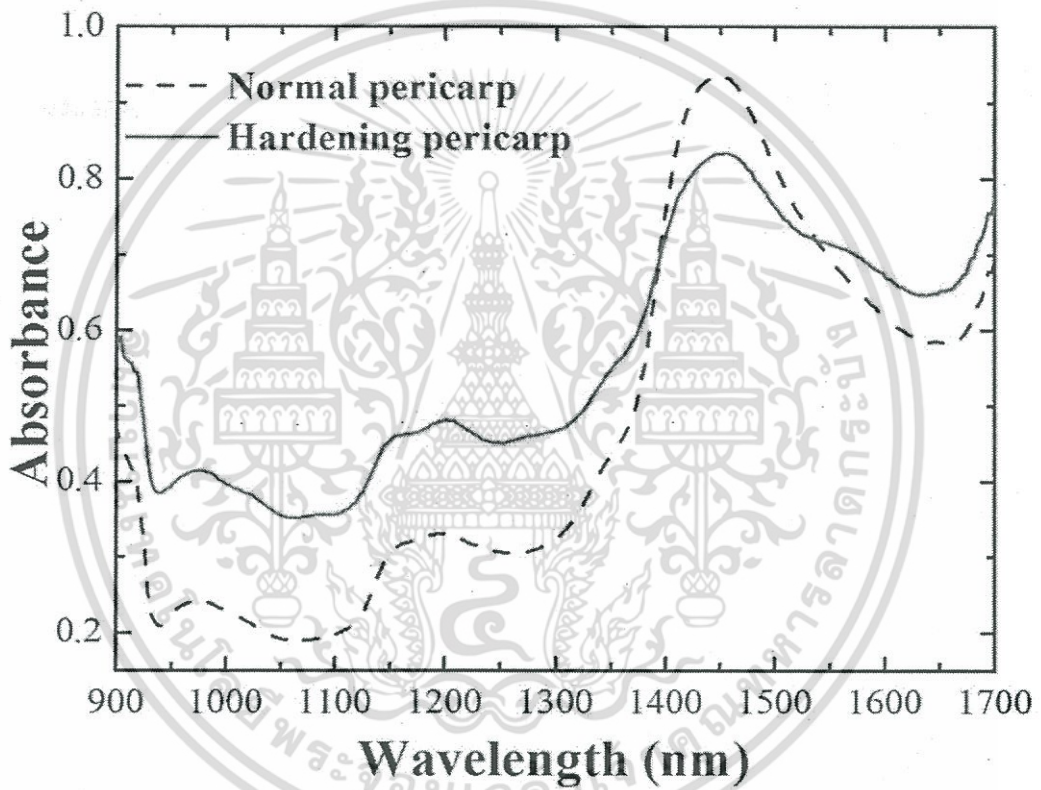
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ลักษณะสเปกตรัมของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งเมื่อวัดด้วยเครื่อง hyperspectral image

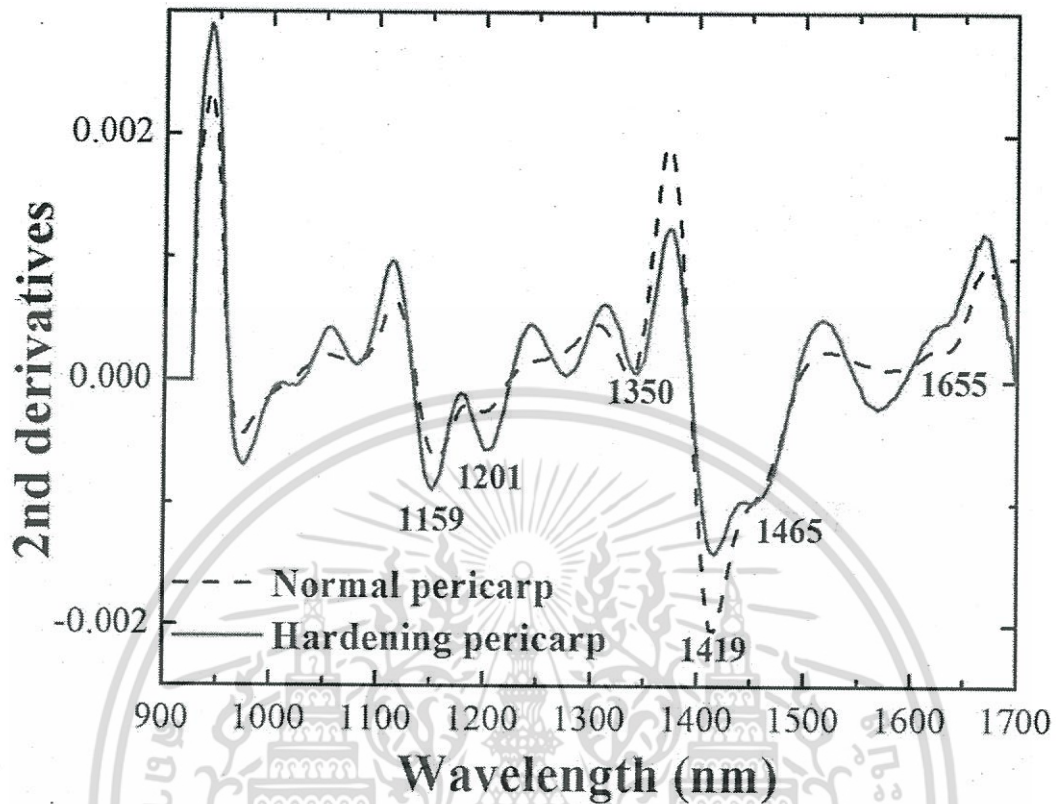
จากผลการทดลองได้แสดงค่าสเปกตรัม (original data) ของกลุ่มมังคุดแสดงตามรูปภาพที่ 4.2 และค่าสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองที่ได้จากมังคุดก่อนและหลังการตกกระทบของกลุ่มมังคุดแสดงตามรูปภาพที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงของมังคุดด้วย hyperspectral image ในช่วง 900-1700 นาโนเมตร ลักษณะของสเปกตรัมเริ่มต้น (Original spectrum) ของมังคุดปกติและเปลือกแข็ง แสดงดังรูปภาพที่ 4.3 พบว่าลักษณะรูปแบบของสเปกตรัมของมังคุดเปลือกแข็ง ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง hyperspectral image มีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่ามังคุดปกติในช่วงการดูดกลืนแสงช่วง 1159 และ 1655 นาโนเมตร ซึ่ง (Teerachaichayut และคณะ, 2011; Osborne, Martens, Thomson & Fearn, 1993) รายงานว่าค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่แตกต่างกันอาจมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบภายในของมังคุดแต่ละกลุ่มที่แตกต่างกัน จากภาพที่ 4.2 พบว่าลักษณะสเปกตรัมซ้อนทับกันของพีค และพีคแยกออกจากกันไม่ชัดเจน อาจเป็นผลจากเกิดการกระเจิงแสงเมื่อตกกระทบกับตัวอย่าง เนื่องจากตัวอย่างอาจมีการขนาดผลไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีผลต่อการสร้างสมการทำนายการแบ่งกลุ่มตัวอย่างมังคุดทั้งสองกลุ่ม ดังนั้นจึงต้องปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น วิธีการแปลงค่าอนุพันธ์อันดับที่สอง การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณรวมกับการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง และวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานรวมกับการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง รูปภาพที่ 4.3 แสดงการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง พบว่าสเปกตรัมที่ได้มีฐานแคบ และจุดยอดแยกกันอย่างชัดเจนแต่มีลักษณะกลับหัวลงมาด้านล่าง โดยพบว่าแต่ละความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กับพันธะเคมีที่แตกต่างกัน คือ ค่าการดูดกลืนแสงช่วง 1159 และ 1655 นาโนเมตร เป็นไปได้ว่าแสดงถึงปริมาณลิกนิน ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกับกลุ่มที่แสดงถึงกลุ่มโรรมาติกลิกนิน ที่ค่าการดูดกลืนแสง 1135 nm and 1672 (Via และคณะ, 2008) การที่สารลิกนินเพิ่มปริมาณมากขึ้นในบริเวณที่ตกกระทบ เป็นการเพิ่มโอกาสให้สารลิกนินในผนังเซลล์ของพืชสามารถรวมตัวกับสารประเภทโพลีแซคคาไรด์ในผนังเซลล์ของพืชกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีขนาดของโมเลกุลใหญ่ขึ้น (Ralph et al., 1995) การเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนที่ผนังเซลล์ของพืช จะมีส่วนในการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นเนื้อ (Liyama et al., 1994) กล่าวได้ว่าการเพิ่มบริเวณของการตกกระทบ เป็นการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนภายในผนังเซลล์ของเปลือกมังคุดมากขึ้น จึงส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏของเปลือกมังคุดมากขึ้นด้วย

Tongdee และ Swuanagul (1989) และ Bunsiri et al. (2003) รายงานว่าการแข็งตัวของเปลือกมังคุด พบว่าความหนาแน่นเนื้อของเปลือกผลมังคุดหลังการตกกระทบนั้นเกิดขึ้นเฉพาะจุดของเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายหรือเกิดขึ้นตรงบริเวณที่มีการตกกระทบ จากการทดลองครั้งนี้หากเนื้อเยื่อในบริเวณข้างเคียงกับ

บริเวณที่ได้รับแรงกระแทกภายหลังการตกกระทบ แสดงอาการเปลือกแข็งด้วยและอาการเปลือกแข็งนี้สามารถขยายออกไปเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่เก็บรักษาผลไว้ ดังนั้นน้ำยางที่ไหลไปสู่เนื้อเยื่อบริเวณข้างเคียงน่าจะทำอันตรายต่อเซลล์ ทำให้เซลล์ตายและชักนำให้เกิดการแตกของเซลล์ท่อน้ำยางในเนื้อเยื่อบริเวณที่ได้รับน้ำยางด้วยจึงทำให้ มีการขยายตัวของเนื้อเยื่อที่แสดงอาการเปลือกแข็ง และพบว่าสมศักดิ์และสาขชด (2540) รายงานว่าเนื้อเยื่อบริเวณที่แสดงอาการเปลือกแข็งมีการสร้างลิกนินเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งการเกิดอาการเปลือกแข็งในลักษณะนี้ไม่น่าจะเกี่ยวข้องกับการเกิดเปลือกแข็งในบริเวณที่ได้รับแรงกระแทก



รูปภาพที่ 4.2 ลักษณะของสเปกตรัมเริ่มต้นเฉลี่ย (Original spectrum) ของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง



รูปภาพที่ 4.3 สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

#### 4.3 การสร้างสมการสำหรับการทำนายการแบ่งกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด หรือ PLS-DA

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายการแบ่งกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งด้วยวิธีทางสถิติ PLS-DA แสดงดังตารางที่ 3 โดยพบว่าสมการที่เหมาะสมสำหรับการทำนายการแบ่งกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งคือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล ช่วง 900-1700 นาโนเมตร โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 3 แฟกเตอร์ โดยมีค่า R, RMSEC และ RMSECV เท่ากับ 0.94, 0.17, 0.91 และ 0.21 ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวยังสามารถอธิบายได้ด้วยลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมการจำแนกกลุ่มมังคุดเปลือกแข็งออกจากมังคุดปกติ แสดงดังภาพที่ 4.4 ในการสร้างสมการทำนายการแบ่งกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งด้วยวิธี PLS-DA

ตารางที่ 3 ค่าสถิติการจำแนกมั่งคุดปกติและมั่งคุดเปลือกแข็งด้วยวิธี PLS-DA

การปรับแต่งสเปกตรัม	จำนวน แฟกเตอร์	Calibration		Cross-validation	
		R	RMSEC	R	RMSECV
Original	3	0.93	0.18	0.91	0.20
Centering	3	0.94	0.17	0.91	0.21
2 <sup>nd</sup> derivative	3	0.92	0.18	0.86	0.26
MSC	3	0.88	0.24	0.81	0.29
SNV	3	0.87	0.23	0.81	0.29

หมายเหตุ Original: ไม่มีการปรับแต่งสเปกตรัม

Centering: การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล

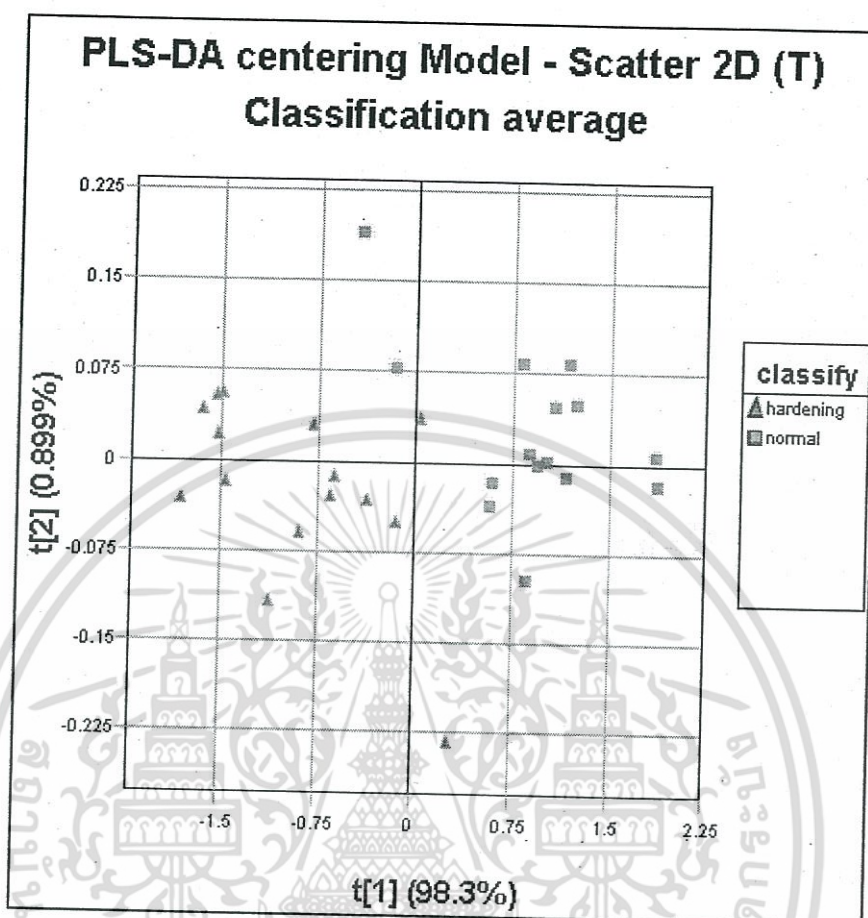
2<sup>nd</sup> derivative: การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

MSC: การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ

SNV: การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

#### 4.4 การสร้างสมการทำนายสำหรับการแบ่งกลุ่มมั่งคุดปกติและเปลือกแข็งโดยใช้ค่าอัตราส่วนพื้นที่ภายในผล

การสร้างสมการสำหรับการทำนายการแบ่งกลุ่มมั่งคุดปกติและมั่งคุดเปลือกแข็งตามคุณลักษณะของสเปกตรัมเมื่อวัดด้วยเทคนิค hyperspectral image โดยใช้ค่าอัตราส่วนพื้นที่ภายในผล สามารถทำได้ โดยนำสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ ผลการทดลองพบว่าสเปกตรัมที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล สามารถจำแนกมั่งคุดปกติออกจากมั่งคุดเปลือกแข็งได้ชัดเจนที่สุด ซึ่งแสดงการกระจายตัวของสเปกตรัมในแผนภาพค่าคะแนนปัจจัย (Score plot) โดยสามารถอธิบายค่าความแปรปรวนรวมได้ 99.199% (รูปภาพที่ 4.4)

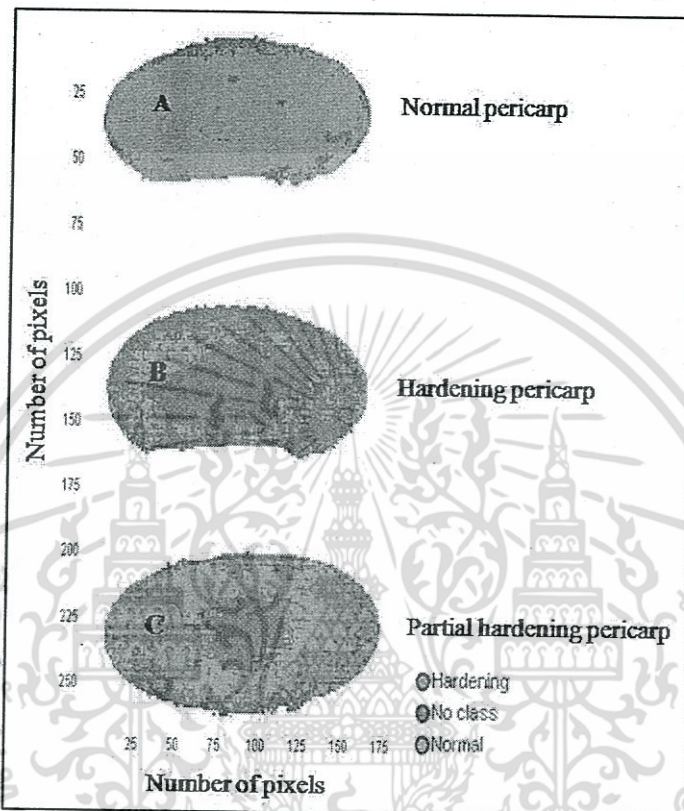


รูปภาพที่ 4.4 แผนภาพค่าคะแนนปัจจัย (Score plot) แสดงการกระจายตัวของสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล

สเปกตรัมของตัวอย่างที่ทำการทดลอง สามารถนำมาใช้เลยหรืออาจมีการจัดการทางคณิตศาสตร์ต่อสเปกตรัม (Spectrum pretreatment) ก่อน ซึ่งมีหลายวิธีด้วยวัตถุประสงค์ต่างกัน เช่น ทำสเปกตรัมที่มีสัญญาณรบกวนให้เรียบขึ้น โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยของช่วงคลื่นสั้นๆ ต่อเนื่องกัน การปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล (Mean centering, MC) การทำอนุพันธ์ลำดับที่สอง ( $2^{\text{nd}}$  derivative) เพื่อแก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นและการที่มีพีคซ้อนทับกัน (Overlapping peaks) การปรับเป็นค่ามาตรฐาน (Normalization) ทำเพื่อกำจัดความแปรปรวนจากปัจจัยที่ไม่ต้องการ การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Multiplicative scatter correction, MSC) เพื่อแก้ปัญหาการกระเจิงแสงที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ขนาดอนุภาคหรือผลที่ไม่เท่ากัน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแหล่งแสง เป็นต้น การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (Standard normal variate, SNV) และการปรับแนวโน้ม (Detrending) ซึ่งแก้ปัญหาเช่นเดียวกับ MSC สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล สามารถจัดกลุ่มมั่งคุดปกติและมั่งคุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกแข็ง ได้อย่างชัดเจน และยังสามารถแบ่งกลุ่มมังคุดเปลือกแข็งตามระดับความแข็งดังแสดงตามรูปภาพที่ 4.5

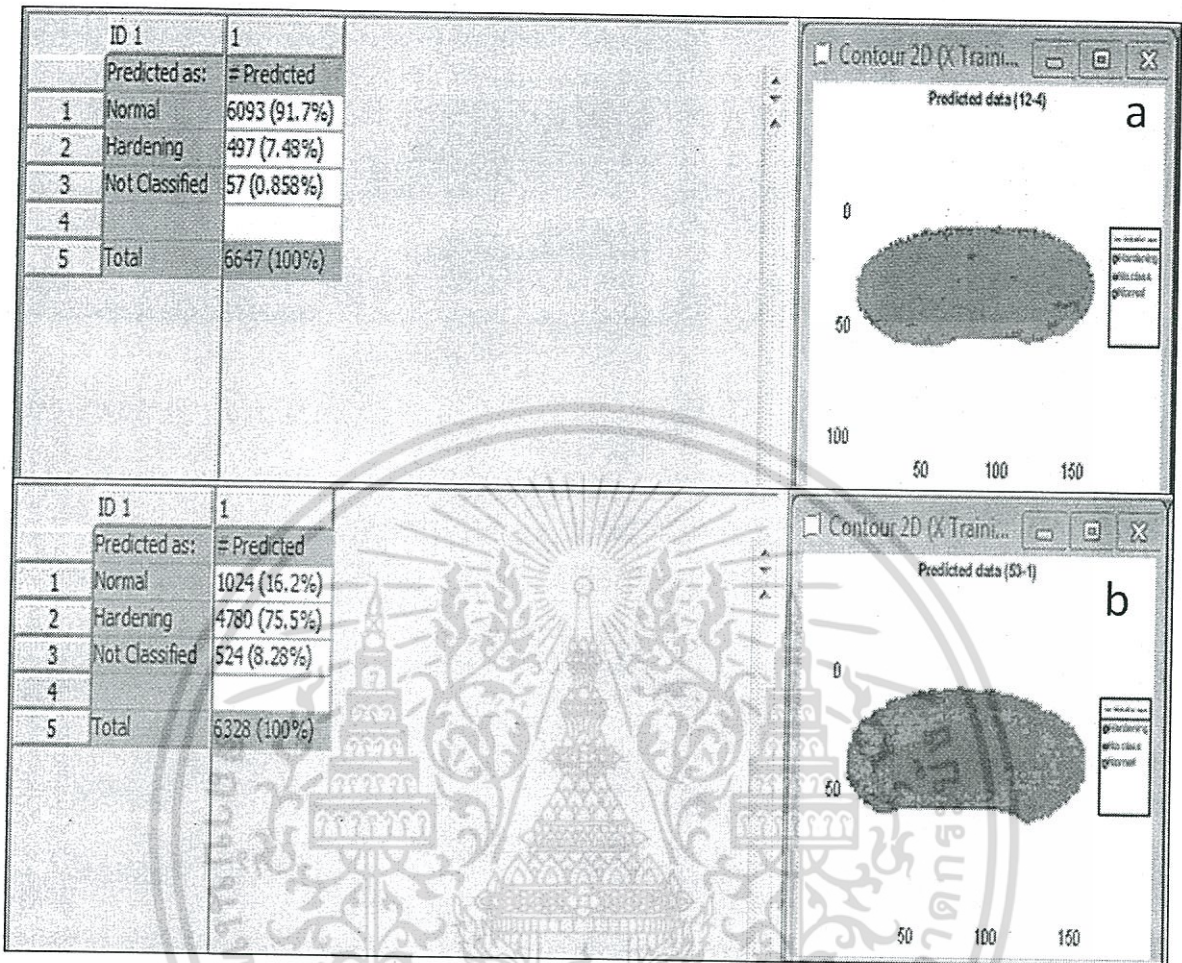


รูปภาพที่ 4.5 การทำนายภาพด้วย PLS-DA เพื่อจัดกลุ่มการเกิดเปลือกแข็งของมังคุด โดย A: มังคุดปกติ, B: มังคุดเปลือกแข็ง และ C: มังคุดที่มีเปลือกแข็งบางส่วน

#### 4.5 การทำนายความถูกต้องในการจัดกลุ่มของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง

จากผลการทดลอง การทำนายความถูกต้องในการจัดกลุ่มของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง ดังแสดงตามรูปภาพที่ 4.6 พบว่ารูปภาพที่ 4.6 a แสดงถึงการทำนายมังคุดปกติ สามารถทำนายความแม่นยำของการจัดกลุ่มของมังคุดปกติได้ 91.7% และในกลุ่มมังคุดปกติยังพบว่ามังคุดเปลือกแข็งและไม่สามารถจัดกลุ่มได้ 7.48% และ 0.858 % ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าการทำนายมังคุดเปลือกแข็ง ดังแสดงตามรูปที่ 4.6 b สามารถทำนายความแม่นยำของมังคุดเปลือกแข็งได้ 75.5%และทำนายผิดไป 28.48% ซึ่งทำนายเป็นมังคุดปกติและไม่สามารถจัดกลุ่มได้ 16.2% และ8.28% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 4.6 การทำนายความถูกต้องในการจัดกลุ่มของมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็ง  
โดย a: มังคุดปกติ และ b: มังคุดเปลือกแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ นำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงาน แสงย่านใกล้อินฟราเรดร่วมกับวิธีทางเคโมเมตริกซ์ สามารถนำมาใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เกษตรแบบไม่ทำลายผลได้อย่างรวดเร็ว และไม่ต้องใช้สารเคมี การวิจัยนี้เป็นการนำเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมาตรวจสอบความแข็งของเปลือกมังคุด (Hardness) โดยใช้ความยาวคลื่นระหว่าง 900-1700 นาโนเมตร การเปรียบเทียบสมการ calibration ด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) พบว่าการทำนายปริมาณความแข็งของเปลือกมังคุดที่ใช้สร้างสมการได้มีค่าความแม่นยำสูงด้วยวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล

การประเมินความผิดปกติของมังคุด โดยสามารถจำแนกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเปลือกแข็งได้เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS-DA พบว่าสเปกตรัมที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับค่าศูนย์กลางข้อมูลสามารถจำแนกมังคุดปกติออกจากมังคุดเปลือกแข็งได้ชัดเจนที่สุด ซึ่งแสดงการกระจายตัวของสเปกตรัมในแผนภาพค่าคะแนนปัจจัย (Score plot) โดยสามารถอธิบายค่าความแปรปรวนรวมได้ 99.199%

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

การสร้างสมการควรคำนึงถึงการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งจะทำให้สมการที่สร้างได้เมื่อนำมาทำนายให้ค่าความแม่นยำของการทำนายสูง

### บรรณานุกรม

- ธงชัย สุวรรณสิขณณ์และปิติพร ฤทธิเรืองเดช. (2552). การวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพ(Qualitative and quantitative analysis).ใน เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในอุตสาหกรรมอาหาร. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิพนธ์ ตั้งคณานูรักษ์. 2547. สเปกโตรสโกปีด้านการวิเคราะห์. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 150.
- มานิชญ์ กุลพฤษี. 2534. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวเคมีบางประการของเปลือกมังคุดที่แห้งตัวเนื่องจากการตกกระทบหลังการเก็บเกี่ยว.ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พัชร ปิริยะวินิตร. 2551. การควบคุมการสุกของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ราไพ อินแก้วพะเนา และ จินตนา ศรีขาว. 2536. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของแรงกดต่อคุณภาพของมังคุด. โครงการงานปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. สถิติปริมาณและมูลค่าของตลาดส่งออกมังคุด. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [www.oae.go.th](http://www.oae.go.th) (10 เมษายน 2553).
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2531. ดัชนีแสดงระดับสีของผลมังคุด. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ
- สถาบันอาหาร. 2550. ข้อมูลการส่งออกมังคุด. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.nfi.or.th/statistic.asp>. (24 มิถุนายน 2553).
- สมโภชน์ น้อยจินดา. 2535. ผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลง ที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา ของผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมศักดิ์ อดัญชี และ สายชล เกตุษา. 2540. การแห้งตัวของเปลือกมังคุดหลังการตกกระทบ. รายงานการประชุมวิชาการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลิตพืชสวนครั้งที่ 4 สำนักงานคณะกรรมการวิจัย. 130 น.
- สมศักดิ์ วรรณศิริ. 2541. มังคุด. ครั้งที่ 4. ฐานเกษตรกรรม, นนทบุรี.
- สมศักดิ์ อดัญชี. 2538. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีบางประการของเปลือกผลมังคุดที่แห้งตัวเนื่องจากการตกกระทบหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายชล เกตษา. 2548. การแข็งของเปลือกมังคุดหลังการตกกระทบ. วารสารราชบัณฑิตสถาน. ปีที่ 30 ฉบับที่ 3 ก.ค.-ก.ย.

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร. 2556. ศูนย์ข้อมูลผลไม้. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา:

[http://www.oae.go.th/fruits/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121](http://www.oae.go.th/fruits/index.php?option=com_content&view=article&id=121). (4 มีนาคม 2557).

\_\_\_\_\_. 2557. ผลพยากรณ์การผลิตมังคุด. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา:

[http://www2.oae.go.th/mis/Forecast/12\\_DEC2556/Thai/situation/sit\\_t\\_20.pdf](http://www2.oae.go.th/mis/Forecast/12_DEC2556/Thai/situation/sit_t_20.pdf). (20 กุมภาพันธ์ 2557).

Abdullah, M. Z., L. C. Guan and B.M.N. Mohd Azemi. 2001. Stepwise discriminant for color grading of oil palm using machine vision system. Transaction of Institute of Chemical Engineering:Part C 79:223-231.

Abdullah, M.Z., L.C. Guan, A.M.D. Mohamed and M.A.M. Noor. 2002. Color vision system for ripeness inspection of oil palm *Elaeis guineensis*. Journal of Food Processing Preservation 26:213-235.

Abdullah, M.Z., L.C. Guan, K.C. Lim and A.A. Karim. 2004. The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. Journal of Food Engineering 61:125-135.

Alfatni, M.S.M., A.R.M. Shariff, O.M.B. Sased and O.M. Eshanta. 2008. Oil palm fruit bunch grading system using red, green and blue digital number. Journal of Applied Sciences 8:1444-1452.

Barbin, D., G. Elmasry, Da-W. Sun, P. Allen. 2012. Near-infrared hyperspectral imaging for grading and classification of pork. Meat Science, 90: 259-268.

Bunsiri, A., S. Ketsa and R.E. Paull. 2003. Phenolic metabolism and lignin synthesis in damaged pericarp of mangosteen fruit after impact. Postharvest Biology and Technology 29:61-71

Chandler, W.H. 1950. Evergreen Orchards. La and Febiger, Philadelphia. 542p.

Dangcham, S., J. Bowen, J. B. Ferguson and S. Ketsa. 2008. Effect of temperature and low oxygen on pericarp hardening of mangosteen fruit stored at low temperature. Postharvest Biology and Technology.

Downey, G. 1994. Qualitative analysis in the Near Infrared region. The Analyst 119: 2367-2375.

- ElMasry, G., A. Iqbal, Da-W. Sun, P. Allen, P. Ward. 2011a. Quality classification of cooked, sliced turkey hams using NIR hyperspectral imaging system. *Journal of Food Engineering*, 103: 333-344.
- ElMasry, G., Da-W. Sun, P. Allen. 2011b. Non-destructive determination of water-holding capacity in fresh beef by using NIRhyperspectral imaging. *Food Research International*. 44: 2624-2633.
- ElMasry, G., Da-W. Sun, P. Allen. 2012. Near-infrared hyperspectral imaging for predicting colour, pH and tenderness of fresh beef. *Journal of Food Engineering*, 110: 127-140.
- Gamal, E., W. Ning, E. Adel and N. Michael. 2007. Hyperspectral imaging for non-destructive determination of some quality attributes for strawberry. *Journal of Food Engineering* 81:98-107.
- Harlan, J.R. 1995. *The Living Field: Our Agricultural Heritage*. 1<sup>st</sup> ed Cambridge University Press, New York
- Hinton, H. R. 1968. Storage of egg, Oliver and Boyd, Ed in burgh, pp 251-261.
- Ismail, W.I.Z., M.Z. Bardie and A.M.A. Hamid. 2000. Optical properties for mechanical harvester of oil palm FFB. *Journal of Oil Palm Research* 12: 38-45.
- Kawano, S., H. Abe and M. Iwamoto, 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. *J. Near Infrared Spectrosc.* 3: 211-218
- Kamruzzaman, M., G. ElMasry, Da-W. Sun, P. Allen. 2011. Application of NIR hyperspectral imaging for discrimination of lamb muscles. *Journal of Food Engineering*. 104: 332-340.
- Kwon, Y.K. & Cho, R.K. (1998). Identification of rice varieties using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 6, A67-A73.
- Lin, H., J. Zhao, L. Sun, Q. Chen, F. Zhou. 2011. Freshness measurement of eggs using near infrared (NIR) spectroscopy and multivariate data analysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12: 182-186.
- Osborne, B.G., T. Fearn, and P. H. Hindle, 1993. *Practical NIR Spectroscopy with applications in food and beverage analysis*. Second Edition. Longman Scientific and Technical, Harlow, Essex, UK. 227 pp.

- Patrick, M. M., C. Yud-Ren, S.K. Moon and E.C. Diane. 2004. Development of hyperspectral image technique for the detection of apple surface defects and contaminations. *Journal of Food Engineering* 61: 67-81.
- Pierna J. A. F., P. Vermeulen, O. Amand, A. Tossens, P. Dardenne, V. Baeten. 2012. NIR hyperspectral imaging spectroscopy and chemometrics for the detection of undesirable substances in food and feed. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, doi:10.1016/j.chemolab.2012.02.004
- Qiang, L. and T. Mingjie. 2012. Detection of Hidden Bruise on Kiwi fruit Using Hyperspectral Imaging and Parallelepiped Classification. *Procedia Environmental Sciences*. 12: 1172 – 1179.
- Schulz, H., H. H. Drews, R. Quilitzsch and H. Krüger, 1998. Application of near infrared spectroscopy for the quantification of quality parameters in selected vegetables and essential oil plants. *J. Near Infrared Spectrosc.* 6: A 125–A 130.
- Singh, C. B., D. S. Jayas, J. Paliwal and N. D. G. White. 2010. Identification of insect-damaged wheat kernels using short-wave near-infrared hyperspectral and digital colour imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*. 73:118-125.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase and K. Kiji, 2011. “Non-destructive prediction of hardening pericarp disorder in intact mangosteen by near infrared transmittance spectroscopy”, *J. Food Eng*, 106: 206-211.
- Tongdee, S.C. and A. Suwanagal. 1989. Postharvest mechanical damage in magosteen. *ASEAN Food J.* 4(4): 151-155.
- Via, B.K., C. SO., L.G. Eckhardt., T.F. SHupe., L.H. Groom and M.Stine. 2008. Response of near infrared diffuse reflectance spectra to blue stain and wood age. *J. Near Infrared Spectrosc*, 16: 71-78.
- Wang, W., C. Li, E. W. Tollner, R. D. Gitaitis, G. C. Rains. 2012. Shortwave infrared hyperspectral imaging for detecting sour skin (*Burkholderia cepacia*)-infected onions. *J. of Food Eng*, 109: 38-48.
- Watada, A.E., R.C. Hermer, A.A. Kader, R.J. Romani and G.L. Staby. 1984. Terminology for the description of developmental stage of horticultural crops. *HortScience* 19: 20-21.

Williams, P., P. Geladi, G. Fox, M. Manley. 2009. Maize kernel hardness classification by near infrared (NIR) hyperspectral imaging and multivariate data analysis. *Analytica Chimica Acta*. 653: 121-130.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติคณะผู้วิจัย

## หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.SontisukTeerachaichayut

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1002-01948-41-2

3. หน่วยงานที่อยู่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 02-3298000 ext. 7267 โทรสาร 02-3298627

E-mail :ktsontis@kmitl.ac.th

## 4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา
ปร.ด.(เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)	2550	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ประเทศไทย
วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี)	2537	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยประเทศไทย
วศ.บ. (วิศวกรรมเกษตร)	2529	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ประเทศไทย

5. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ

ในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

## 5.1 หัวหน้าโครงการวิจัย :

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน.  
นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ, น.ส.จุฑามาศ ผลอุดม, น.ส.วรรณษา เอี่ยมเสถียรพร.2552.การสรางโมเดลของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำมัจคุดจากสเปกตรัมสะท้อนกลับความยาว คลื่นใกล้อินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงสวรรกุล, วารุณี ธนะแพสย.2552.เทคนิคการตรวจสอบเปลือกแข็งในมัจคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการดูดกลืนแสงอินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงสวรรกุล,วารุณี ธนะแพสย.2553.เทคนิคการตรวจสอบยางไหลภายในผลมัจคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัดการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและช่วงไกลอินฟราเรด.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. น.ส.กนกพร แก้วสมนึก น.ส.มาลินี รังษี 2553.การทำนายอาการฟามในผลสมแบบไม่ทำลายโดยไซคาทางไฟฟ้า.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2554. แท่งเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกแห้ว.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการ  
ดูกลิ่นพลังงานแสงในช่วงความ

ยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นแบบทะลุผ่าน.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. การสกัดน้ำสับปะรดและผลิตเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกสับปะรด.

## 5.2 ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

1. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2535. อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ไทย: อะไรคืออะไร. วารสารการวิจัย  
และพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7(1): 67-70.
2. ศรีศักดิ์ ตรังวัชรกุล, ชลิต ชูประทีป, สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2535. โรงงานนำทาง  
ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ วท.วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7(1): 73-82.
3. สนธิสุข ชีระชัยชยติ, คำรงค์ สิทธิสำอางค์, เพ็ญศิริ อนันต์รักสกุล, พรภัทธา ศรีนรคุตร,  
ยุพาภรณ์ ทับนาโคก. 2536. การวิจัยเครื่องเคลือบแบบต่อเนื่องชนิดเคลือบเค็มสำหรับอาหารขบเคี้ยว.  
โครงการวิจัยที่ ภ.32-06, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 36 หน้า
4. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน. วารสารพระจอม  
เกล้าลาดกระบัง 12(2): 39-41.
5. วารุณี ษณะแพทย, สนธิสุข ชีระชัยชยติ, कुमार เกษมสำราญ, and Young Kil Kwon.  
2548. การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้ม โดยวิธีไม่ทำลายด้วยเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่น  
สั้น. สัมมนาวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 3, 10-11 ตุลาคม 2548, หน้า 57.
6. สนธิสุข ชีระชัยชยติ, วารุณี ษณะแพทย, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, कुमार เกษมสำราญ.  
2551. การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลาย โดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคลื่น  
ใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3 พิเศษ): 156-159.
7. 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.
8. 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.
9. Teerachaichayut S., W. Thanapase, K. Shigefugi, T. Otoi, Y. Nitta, S. Saranwong, and  
S. Kawano. 2008. Online Near Infrared Detection of Translucent and Gamboge Mangosteen. Proceeding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of The First Asian NIR Symposium and The 24<sup>th</sup> Japanese NIR Forum, Tsukuba city, Japan, 10-14 November. 158-159.

10. Kasemsumran, S., W. Thanapase, **S. Teerachaichayut**, A. Terdwongworakul, K. Y. Kil, K. Shigefuji, and Y. Nakanishi. 2006. Nondestructive Internal Quality Evaluation of Thai Orange Fruit using Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. Japan-Korea Joint Symposium on Near Infrared Spectroscopy, Hanyang University, Korea, 28-30 June. 284-285.

11. 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 25<sup>th</sup> NIR Forum. Japan, 13-15 May. 31-35.

12. **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.

13. สนธิสุข ชีระชัยชยติ, วารุณี ชนะแพทย, อนุพันธ์ เทอดวงค์วรกุล และ ศุมาพร เกษมสำราญ. 2552. การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 40(1): 55-64.

14. สนธิสุข ชีระชัยชยติ, วารุณี ชนะแพทย และ อนุพันธ์ เทอดวงค์วรกุล. 2552. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดด้วยสเปกตรัมในย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 1(1): 42-48.

15. สนธิสุข ชีระชัยชยติ, อนุพันธ์ เทอดวงค์วรกุล, จุฑามาศ ผลอุดม และวรรณชยา เอื้ออมเสถียรพร. 2553. การทำนายอาการเนื้อแก้วจากน้ำมังคุดโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1 พิเศษ): 385-388.

16. นนินฐา แสงแก้ว และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ, 2553. คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกมังคุดภายหลังการตกกระทบ. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 2(1): 27-35.

17. วารุณี ชนะแพทย, สนธิสุข ชีระชัยชยติ, อนุพันธ์ เทอดวงค์วรกุล, ศุมาพร เกษมสำราญ, อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, ศรินนภา ศรีณย์วงศ์, สุมิโอะ คาวาโน, ยูกิ นิตตะ, คาซุเอกิ ชิชิฟูจิ และ คาซุเอกิ กิจิ. 2553. การคัดแยกเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการวัดการดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1 พิเศษ): 369-372.

18. **Teerachaichayut**, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, K. Saengkaew and R.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Suwapanich. 2010. Feasibility of visible and SW-NIR spectroscopy to detect gamboge disorder in mangosteen fruits. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, China, 15-18 Oct. 81-82.

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

20. **สนธิสุข ชีระชัยขุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศัวรกุล, วารุณี ธนะแพสย์ และ ขนิษฐา แสงแก้ว.** 2554. ความเป็นไปได้ในการคัดแยกผลมังคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์พหุตัวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ): 143-146.

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

22. **สนธิสุข ชีระชัยขุติ.** 2554. การตรวจสอบคุณภาพผลไม้โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า 3(1): 44-52

23. **สนธิสุข ชีระชัยขุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศัวรกุล และวารุณี ธนะแพสย์.** 2554. ความเป็นไปได้ในการประเมินระดับอาการยางไหลในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้สมการหลายตัวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (3 พิเศษ): 173-176.

24. **นารละพี นาคะจันนะ, อนุพันธ์ เทอดวงศัวรกุล, อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, สนธิสุข ชีระชัยขุติ และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์.** 2554. การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้เพื่อทำนายปริมาณเนื้อแก้วในผลมังคุด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ) : 123-126.

25. **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.

26. **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.

27. **สนธิสุข ชีระชัยขุติ.** 2555. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดแบบไม่ทำลาย. วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27 (1): 55-60.

28. **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 3<sup>rd</sup> Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, Thailand, 14-18 May. 120-121.

29. **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.

30. 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.



31. กัญญาพัชร เพชรารภรณ์ และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. ผลกระทบของการเกิดเชื้อราภายในมะเขือเทศต่อคุณสมบัติทางเคมี. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 279-284.
32. ศรัญญา วอขวา และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในมังคุดเปลือกแข็งภายหลังการตกกระทบ. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 285-290.
33. Sompong Nandee and Sontisuk 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.
34. Sineenart Suktanarak and Sontisuk 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.
35. Kanyapat Petcharaporn and Sontisuk 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.
36. 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.
37. Supawan Sukwanit and Sontisuk 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.
38. สนธิสุข ชีระชัยชยติ, จุติพงศ์ ทิพย์แก้ว, ธนกฤต ชุตะรัตน์ และ ชัชคม ลีลับ. 2556. เครื่องวัดความแน่นเนื้อของผลไม้แบบน้ำหนักกด. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2,

30 สิงหาคม 2556, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 185-190.

39. **Kaewsaard, S., Kerdpiboon, S., Peuchkamut, Y., Teerachaichayut, S.** 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.*

40. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. สถานการณ์ระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์ในประเทศไทย.วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 31 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2556: 194-210.

41.ปิยะมาศ จานนอก, อิศยาภรณ์ การรุ่งเรือง, อรวรรณ ทองนาค, อัฐพล จานนอก, ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรง และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. การทำนายความถ่วงจำเพาะของไข่ไก่ด้วยเทคนิค NIRS. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 4 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, 135-139.

42. Siriporn Kaewsaard, Yuporn Peuchkamut, Sontisuk Teerachaichayut, Pramoun Srikalong and Soraya Kerdpiboon. Correlation determination between morphology, chemical compositions and physical properties of sirloin beef steak

43. Sasathorn Srivichien and **Sontisuk Teerachaichayut.** 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.

44. Sasathorn Srivichien and **Sontisuk Teerachaichayut.** 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.

45. Sasathorn Srivichien and **Sontisuk Teerachaichayut.** 2014. Quality classification of pineapple based on nitrate level by Vis-NIRS. Proceeding of The 4<sup>th</sup> Asian NIR Symposium, Daegu, Korea, June 17-20, 130-132.

46. **Sontisuk Teerachaichayut,** Isayapron Kanrungrueng, Orawan Thongnngak, Oattharod Channok, Panuwat Supprung , Piyamart Jannok. 2014. Freshness Prediction of Hen Eggs Using NIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spectroscopy Based on Specific Gravity. Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014), Bali, Indonesia, June 27-29, 585-592.

47. Pattama Supaphon, Soraya Kerdpiboon, Yuporn Peuchkamut, **Sontisuk**

**Teerachaichayut**, Pramoun Srikalong , Panadda Nonthanum. 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.

### ผู้ช่วยวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวศรัญญา วอขวา  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Saranya Workhwa
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-4309-00380-91-9
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

หน่วยงานที่อยู่

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 02 326 4112 โทรสาร 02 326 4091

E-mail: annasesus@yahoo.com

### 4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ/ ประเทศ	ระดับ ปริญญา	อักษรย่อปริญญา และชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2543/ไทย	ตรี	วท.บ.(วิทยาศาสตร์ บัณฑิต)	เทคโนโลยีการอาหาร และโภชนาศาสตร์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
2546/ไทย	โท	วท.ม.(วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต)	วิทยาการหลังการเก็บ เกี่ยว	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ  
หัวหน้าโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศรัญญา วอขวาและวิศรุต ลิงขร อรสา บัวป่า 2550. ผลของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่ออายุการเก็บรักษาเห็ดนางฟ้า. ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการIRPUS. สถานะหัวหน้าโครงการวิจัย

#### ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

ศรัญญา วอขวา นิธิยา รัตนาปนนท์ และคณัย บุญยเกียรติ. 2546. อุณหภูมิลำดับขั้นต่ออาการสะท้อนหนาวของส้มเขียวหวานพันธุ์สีทอง. รายงานการสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/ หลังการผลิตแห่งชาติครั้งที่ 2 โดยเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ ณ โรงแรมเจริญธานีปรีณเชส ขอนแก่น ระหว่างวันที่ 21-22 สิงหาคม 2546

อรธนา ค้วงแพง เมทินี วสุนธราวัฒน์ ศรัญญา วอขวาและศรีสา ทวีแสง 2550. โครงการคิดค้นและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ข้าวของจังหวัดอุดรธานีเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต. ได้รับทุนอุดหนุนจากศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 4ภายใต้โครงการการพัฒนา-กลุ่มอุตสาหกรรมโรงสีข้าว จังหวัดอุดรธานีสถานะผู้ร่วมวิจัย

ชนะชัย บุญเพิ่ม ชลวิษุชัยวิชิตรัชพล สืบพรหม ศรัญญา วอขวา และศรีสา ทวีแสง. 2551. การศึกษาสถานภาพโรงฆ่าสัตว์ในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี จังหวัดหนองบัวลำภูได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีสถานะผู้ร่วมวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้