

การประเมินปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนด้วยระบบเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี  
แบบออนไลน์และออฟไลน์

EVALUATION OF DRY MATTER OF DURIAN PULP (*DURIO ZIBETHINUS CV*  
*MONTHONG*) USING ON-LINE AND OFF-LINE NEAR INFRARED SPECTROSCOPY  
SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-100-164

การประเมินปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนด้วยระบบเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี  
แบบออนไลน์และออฟไลน์

EVALUATION OF DRY MATTER OF DURIAN PULP (*DURIO ZIBETHINUS CV  
MONTHONG*) USING ON-LINE AND OFF-LINE NEAR INFRARED SPECTROSCOPY  
SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-100-164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนด้วยระบบเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี  
แบบออนไลน์และออฟไลน์

EVALUATION OF DRY MATTER OF DURIAN PULP (*DURIO ZIBETHINUS CV  
MONTHONG*) USINS ON-LINE AND OFF-LINE NEAR INFRARED SPECTROSCOPY  
SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-100-164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATION OF DRY MATTER OF DURIAN PULP (*DURIO ZIBETHINUS CV MONTHONG*) USINS ON-LINE AND OFF-LINE NEAR INFRARED SPECTROSCOPY SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2018  
KMITL-2018-EN-M-100-164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนด้วยระบบเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบออนไลน์และออฟไลน์
นักศึกษา	นาย รัชพล จันทร์ศรี
รหัสนักศึกษา	60601143
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.นารัถระพี นาคะวัจนะ

#### บทคัดย่อ

ทุเรียนเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ในธุรกิจการส่งออกทุเรียนมักพบปัญหาความอ่อนแก่ของเนื้อทุเรียนซึ่งยากต่อการตรวจวัด ในการตรวจวัดแบบดั้งเดิมจะต้องทำลายตัวอย่าง และยังใช้เวลานานในการวัดแต่ละครั้ง เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่น่าสนใจและสามารถใช้วัดความอ่อนแก่ของเนื้อทุเรียนได้ด้วยการหาปริมาณเนื้อแห้งโดยที่ไม่ทำลายตัวอย่างและยังใช้เวลาน้อยในการวัด วิธีนี้สามารถทำได้ทั้งแบบออนไลน์และออฟไลน์ โดยแบบออนไลน์สแกนโดยใช้เครื่อง AvaSpec-ULS2048 ทำการสแกนเนื้อทุเรียนบนสายพานลำเลียงและทำการวัดในแบบดูดซับคลื่นและออฟไลน์ทำโดยใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer นำเนื้อทุเรียนมาสแกนแบบหยุดนิ่ง และทำการวัดในแบบดูดซับคลื่น โดยผลจากการทดลองแบบออนไลน์ได้ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.87, ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการทำนาย (Root Mean Squared Error of Calibration; RMSEC) เท่ากับ 2.84 %dry matter เป็นของชุด calibration และ ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.83, RMSEP 4.32 %dry matter และอัตราส่วนของพิสัยควอร์ไทล์ต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (ratio of performance to inter-quartile range; RPIQ) เท่ากับ 3.34 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.25 %dry matter เป็นของชุด Validation และผลจากการทดลองแบบออฟไลน์ได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.89, RMSEC 2.48% เป็นของชุด calibration และ ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.95, RMSEP เท่ากับ 2.18 %dry matter และ RPIQ เท่ากับ 5.74 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ -0.167 %dry matter เป็นของชุด Validation

<b>Thesis</b>	Evaluation of dry matter of durian pulp ( <i>Durio zibethinus</i> cv Monthong) using on-line and off-line near infrared spectroscopy system
<b>Student</b>	Mr. Rashphon Chunsri
<b>Student ID.</b>	60601143
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Agricultural Engineering
<b>Year</b>	2018
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon
<b>Thesis Co-Advisor.</b>	Dr. Natrapee Nakawajana

### ABSTRACT

Durian is a plant that is popular in Thailand and abroad. In durian exporting, there is a problem to identify immature durian pulp and mature durian pulp. For traditional measurement, the specimen must be destroyed and it takes a long time. The NIR spectroscopy is interesting method if it can be used to identify the immature durian pulp and mature durian pulp without destroying the specimen, and also it takes a short time to measure. This measurement can be done both online and offline. Durian pulps on conveyor belt are scanned by the online method using AvaSpec-ULS2048 spectrometer in the absorption mode. and durian pulps which did not move are scanned by the offline method using the FT-NIR spectrometer in absorption mode. The results of the online method showed coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.87 and the root mean square error of the calibration (RMSEC) of 2.84 % dry matter for calibration set and  $R^2$  of 0.83, and RMSEP of 4.32 % dry matter and ratio of performance to inter-quartile range; RPIQ of 3.34 ,the bias of 1.25 % dry matter for the validation set. The results of the offline method showed  $R^2$  of 0.89 and RMSEC of 2.48% for calibration set and  $R^2$  of 0.95, and RMSEP of 2.18 % dry matter, RPIQ of 5.74 the bias of -0.167 % dry matter for the validation set.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ และ ดร.นารณะพี นาคะวัจนะ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีสำหรับผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร (www.nirsresearch.com) และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างในการทดลองและอุปกรณ์เครื่องมือทั้งหมด

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตรสาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นาย รัชพล จันทร์ศรี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทูเรียนฟังก์ชันมอนทง.....	4
2.2 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Spectroscopy).....	7
2.3 หลักการพื้นฐานของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy .....	8
2.4 การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์.....	10
2.5 การเลือกจำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสม.....	12
2.6 การสร้างสมการโดยวิธี partial least square regression (PLS-Regression).....	12
2.7 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ.....	16
2.8 ประโยชน์ของเทคนิค NIR.....	19
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	21
3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง.....	21
3.2 การทดลองเบื้องต้น.....	21
3.3 การสแกนด้วยคลื่นเนียร์อินฟราเรด.....	22
3.4 การหาค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียน.....	24
3.5 การวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม.....	25
3.6 การสร้างสมการในการทำนาย.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	28
4.1 ผลการหาปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง.....	28
4.2 ลักษณะของสเปกตรัม.....	30
4.3 ผลของการทำนายของแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	41
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม.....	41
5.2 สรุปผลการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง.....	41
5.3 ผลจาก Regression coefficient plot และ X-loading plot.....	42
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลองเบื้องต้น.....	46
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดลอง.....	48
ภาคผนวก ค. ตารางกำหนดการดูดซับคลื่นเนียร์อินฟราเรดในช่วงคลื่น ต่างๆ.....	97
ภาคผนวก ง. ตารางผลการวิเคราะห์แบบออนไลน์.....	101
ภาคผนวก จ. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	104
ประวัติผู้เขียน.....	109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่.....	หน้า
2.1 องค์ประกอบของทุเรียน.....	6
2.2 การแปลความหมายของค่า R และ R <sup>2</sup> .....	16
2.3 การอธิบายผลของค่า RPD.....	18
4.1 ค่าทางสถิติของปริมาณปริมาณเนื้อแห้ง (%DM) ของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่วัดโดยวิธีอ้างอิง.....	28
4.2 การสันสะเทือนของพันธะที่พีกเด่นของสเปกตรัมเฉลี่ยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากเครื่อง FT-NIR spectrometer.....	31
4.3 การสันสะเทือนของพันธะที่พีกเด่นของสเปกตรัมเฉลี่ยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer.....	32
4.4 ผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS ของแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออฟไลน์.....	34
4.5 ช่วงคลื่นที่สำคัญจากกราฟ Regression coefficient plot และ X-loading weight plot ของแบบจำลอง สำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออฟไลน์.....	36
4.6 แสดงผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS ของแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออนไลน์.....	38
4.7 ช่วงคลื่นที่สำคัญจากกราฟ Regression coefficient plot และ X-loading weight plot ของแบบจำลอง สำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออนไลน์.....	40

# สารบัญรูปร่างภาพ

ภาพที่.....	หน้า
1.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา.....	3
2.1 การจับตัวของโมเลกุล cellulose.....	6
2.2 ความแตกต่างของทุเรียนอ่อนกับทุเรียนแก่.....	7
2.3 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ.....	9
2.4 ข้อมูลสเปกตรัมและความเข้มข้นในรูปแบบเมทริกซ์.....	13
2.5 Schematicdiagrame for the factorization of the spectral data matrix X.....	14
3.1 ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (ก) ผลทุเรียนก่อนปอกเปลือก (ข) เนื้อทุเรียนที่ใส่ใน ภาชนะปิด.....	21
3.2 การสแกนด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer (AvaSpec-ULS2048-USB2- VA-50,AVANTES, Netherlands) (ก) สแกนขณะอยู่ในกล่องดำ (ข) เนื้อทุเรียน ขณะอยู่บนสายพานลำเลียง.....	23
3.3 การสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR(MPA FT-NIR, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany).....	23
3.4 การหาค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (ก) เนื้อทุเรียนสับ ละเอียด 5 g (ข) เนื้อทุเรียนขณะซึ่งบนเครื่องซึ่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง.....	24
3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองเบื้องต้น.....	26
3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองเพื่อสร้างแบบจำลอง.....	27
4.1 ค่าสถิติความถี่ของค่าปริมาณเนื้อแห้งได้จากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงสำหรับชุดตัวอย่าง calibration ของการสแกนแบบออฟไลน์.....	28
4.2 ค่าสถิติความถี่ของค่าปริมาณเนื้อแห้งได้จากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงสำหรับชุดตัวอย่าง validation ของการสแกนแบบออฟไลน์.....	29
4.3 ค่าสถิติความถี่ของค่าปริมาณเนื้อแห้งได้จากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงสำหรับชุดตัวอย่าง calibration ของการสแกนแบบออนไลน์.....	29
4.4 ค่าสถิติความถี่ของค่าปริมาณเนื้อแห้งได้จากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงสำหรับชุดตัวอย่าง validation ของการสแกนแบบออนไลน์.....	30

## สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

ภาพที่.....	หน้า
4.5 สเปกตรัมเฉลี่ยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากเครื่อง FT-NIR spectrometer.....	31
4.6 สเปกตรัมเฉลี่ยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จากเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrometer.....	32
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีอ้างอิงกับค่าที่ทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Calibrationแบบออฟไลน์.....	33
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีอ้างอิงกับค่าที่ทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Validation แบบออฟไลน์.....	34
4.9 กราฟ Regression coefficient plot ของแบบจำลองสำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออฟไลน์.....	35
4.10 กราฟ X-loading weight plot ของแบบจำลองสำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออฟไลน์.....	35
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าที่วัดปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีอ้างอิงกับค่าทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Calibration แบบออนไลน์.....	37
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าที่วัดปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีมาตรฐานกับค่าทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Validation แบบออนไลน์.....	38
4.13 กราฟ Regression coefficient plot ของแบบจำลองสำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออนไลน์.....	39
4.14 กราฟ X-loading weight plot ของแบบจำลองสำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออนไลน์.....	39

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีรายได้หลักส่วนหนึ่งมาจากการส่งออกสินค้าทางการเกษตรและทุเรียนเป็นสินค้าส่งออกที่มีความสำคัญเป็นลำดับต้นๆของประเทศซึ่งได้จากปริมาณการส่งออกทุเรียนแช่แข็งในปี 2560 ซึ่งมีประมาณ 19.436 ล้านตัน ซึ่งมีมูลค่าประมาณ 2555 ล้านบาท [1] เนื่องจากทุเรียนของไทยมีรสชาติดีและเนื้อทุเรียนมีคุณภาพดี ทำให้ผู้บริโภคชาวต่างชาตินิยมรับประทานและเป็นที่ยอมรับ แต่ด้วยการเก็บทุเรียนในช่วงก่อนฤดูเก็บเกี่ยวมักจะมีปัญหาการเก็บทุเรียนอ่อน จะส่งผลทำให้เกิดการส่งออกทุเรียนอ่อน จึงเกิดความเสียหายต่อการส่งออกทุเรียนแช่แข็งของไทย ซึ่งมีปัญหาจากการคัดแยกทุเรียนอ่อน กับทุเรียนแก่ ที่จะต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญในการคัดแยก ซึ่งเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy, NIRS) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการวัดคุณภาพภายในของผลไม้ ซึ่งสามารถสแกนเนื้อทุเรียนได้โดยไม่ทำให้เนื้อทุเรียนเกิดความเสียหาย และการศึกษาวิจัยปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียน ซึ่งสามารถใช้ประมาณความอ่อนแก่ของทุเรียนได้ เนื่องจากความอ่อนแก่จะถึงอยู่กับปริมาณเนื้อแห้งในเนื้อทุเรียน ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการคัดแยกเนื้อทุเรียนเพื่อการส่งออกได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาที่จะหาปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีโดยการตรวจวัดการดูดกลืนแสงของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ผ่านการปอกเปลือกแล้ว เพื่อนำมาพัฒนาสมการเปรียบเทียบความแม่นยำกับการหาค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยวิธีการอบด้วยเครื่องเทคนิคการอบแห้งแบบลมร้อน ซึ่งจะเป็นการพัฒนาการตรวจสอบค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยวิธีไม่ทำลายตัวอย่าง

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการประเมินปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยสร้างแบบจำลองที่สามารถใช้ในการตรวจวัดสายการผลิตและในห้องปฏิบัติการ

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้เนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง
2. การวิจัยนี้ใช้ความยาวคลื่นเนียร์อินฟราเรดระหว่าง 700-2500 nm
3. สแกนแบบออนไลน์ในช่วง 700-1000 nm และออฟไลน์ในช่วง 800-2500 nm

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

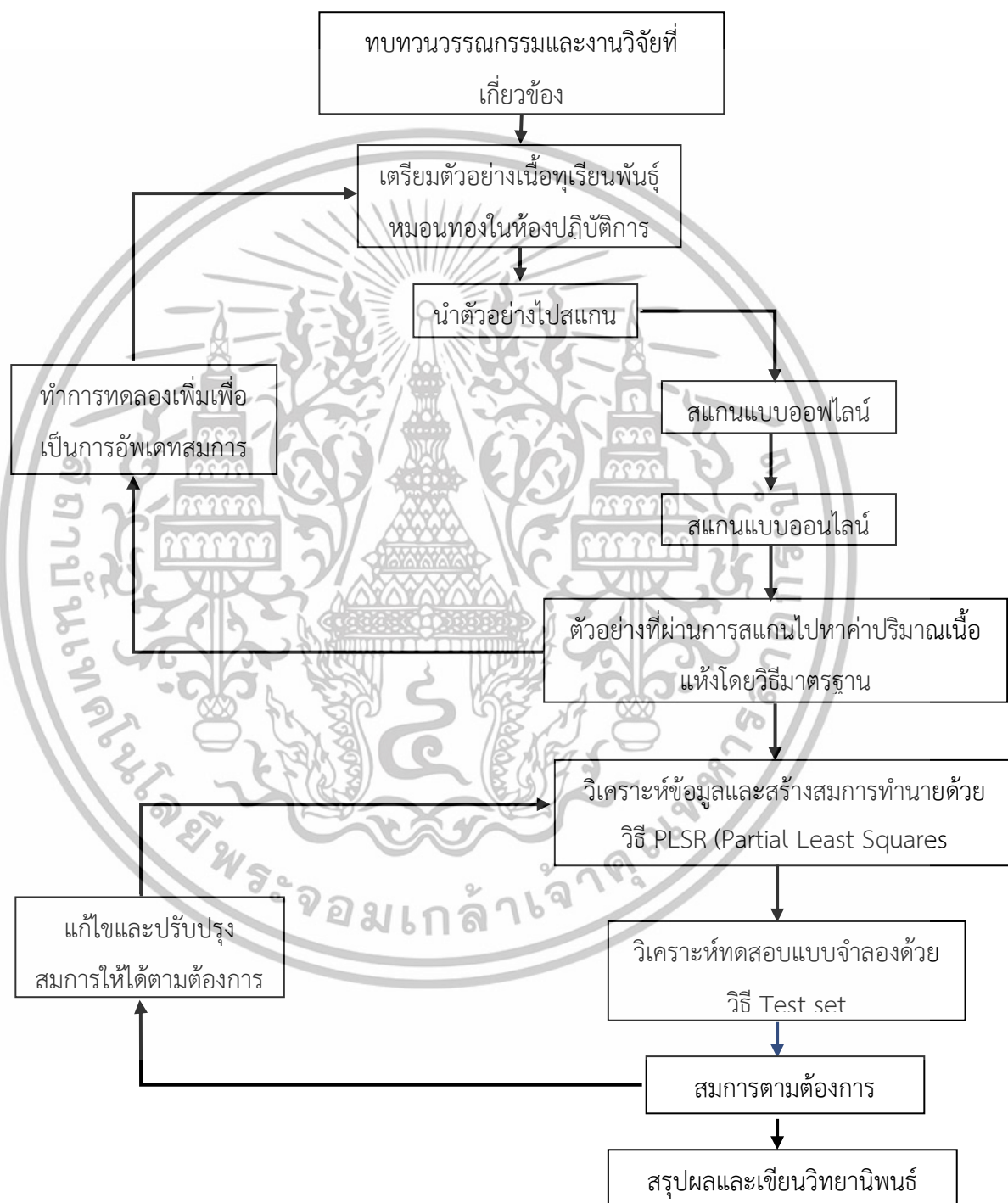
1. สามารถใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีประเมินปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองได้
2. สามารถสร้างโมเดลทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter) ของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง แบบออนไลน์และออฟไลน์
3. สามารถประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีวัดค่าปริมาณเนื้อแห้งในเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการส่งออก ได้
4. สามารถคัดแยกเนื้อทุเรียนอ่อนแก่ได้

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ศึกษาการหาค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีมาตรฐาน
2. ศึกษาวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเกี่ยวกับการสแกนด้วย NIR spectrometer และการสร้างแบบจำลองทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงงาน
3. เตรียมตัวอย่างเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองในห้องปฏิบัติการ
4. นำตัวอย่างเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองหลังจากเตรียมทันทีเข้าสู่สแกนด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer (AVANTES, Netherlands) แบบออนไลน์ในช่วงคลื่น 200-1100 nm และเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) แบบออฟไลน์ในช่วงคลื่น 800-2500 nm
5. นำตัวอย่างที่ผ่านการสแกนไปหาค่าปริมาณเนื้อแห้ง โดยวิธีดั้งเดิมตามมาตรฐานด้วยเครื่องตุ๋นลมร้อน (ULM 260. Memmert, Schwabach, Germany)
6. สร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณเนื้อแห้งโดยวิธี Partial least square regression (PLSR) และใช้โปรแกรม OPUS version 7.0.129 ทั้งนี้ใช้ข้อมูลเชิงแสง (สเปกตรัม) ที่ไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นและมีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น
7. นำทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ได้จากสวนมาเตรียมที่ห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำซ้ำข้อ 4-6
9. วิเคราะห์ผล
- 10.สรุปผลและเขียนวิทยานิพนธ์



ภาพที่ 1.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทูเรียนพันธุ์หมอนทอง[2]

เป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุด ขายได้ราคาดีกว่าพันธุ์ชะนี ปลูกง่าย โตเร็ว ผลขนาดใหญ่ ยาวประมาณ 30 ซม. เนื้อหนา สีเนื้อเหลืองอ่อนแต่ไม่ถึงกับขาวซีด รสหวานมัน พูหนึ่งๆ มี 5-6 ยวง เมล็ดค่อนข้างเล็ก มีลักษณะที่ดีคือ ทนทานต่อฝนในระยะผลแก่เนื้อจะไม่แฉะหรือใส่ซิม หรือใส่แข็ง เพราะฝนตก เก็บไว้ได้นานไม่ละ แต่มีข้อเสียคือ ให้ผลไม่ดกมาก ผลผลิตต่อต้นน้อยกว่าพันธุ์ชะนี และที่สำคัญไม่ทนทานต่อโรครากเน่าโคนเน่า[2]

#### 2.1.1 ความเป็นมา[2]

ทูเรียนมีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ บริเวณประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย ไทย และหมู่เกาะบอเนียว และมีการแพร่กระจายไปยังประเทศฟิลิปปินส์ ปาปัวนิวกินี อินเดีย ศรีลังกา พม่า เวียดนาม จนกระทั่งปัจจุบันมีการนำไปปลูกทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และ ประเทศต่างๆที่อยู่ในเขตร้อนของโลก[2]

พันธุ์ทูเรียนที่ปลูกในประเทศไทยมีประมาณ 200 กว่าพันธุ์ แต่มีเพียง 60-80 พันธุ์ ที่มีชื่ออยู่ในวงการค้า สาเหตุที่มีจำนวนพันธุ์ทูเรียนเป็นจำนวนมากเนื่องจากการขยายพันธุ์ทูเรียนในระยะเริ่มแรก อาศัยการเพาะเมล็ดทำให้ต้นที่ได้มีลักษณะแตกต่างไปจากพ่อแม่ และมีการตั้งชื่อใหม่หรือเติมชื่อของผู้เพาะพันธุ์ใหม่ได้ลงไปด้วย[2]

#### 2.1.2 การเก็บเกี่ยว[3]

1. สังเกตก้านผล ก้านผลจะแข็งและมีสีเข้ม ขึ้น เมื่อลูบจะรู้สึกสากมือ เมื่อจับก้านผลแล้วแกว่งผล ทูเรียน จะรู้สึกวก้านผลทูเรียนยืดหยุ่นมากขึ้น ก้านผลบริเวณปากปลิงจะบวมโต เห็นรอยต่อชัดเจน
2. สังเกตหนาม ปลายหนามแห้ง มีสีน้ำตาลเข้ม เปราะและหักง่าย ดังนั้น เมื่อมองจากด้านบนของผล จะเห็นหนามเป็นสีเข้ม หนามมีลักษณะกว้างออก ร่องหนามห่าง เวลาบีบปลายหนามเข้าหากันจะรู้สึกว่ายืดหยุ่น
3. สังเกตรอยแยกกระหว่างพู ผลทูเรียนที่แก่จัดจะสังเกตเห็นรอยแยกบนพูได้อย่างชัดเจน ยกเว้นบางพันธุ์ที่ปรากฏไม่เด่นชัด เช่น พันธุ์ก้านยาว
4. การชิมปลิง ผลทูเรียนที่แก่จัด เมื่อตัดขั้วผลหรือปลิงออก จะพบน้ำใสซึ่งไม่ข้นเหนียวเหมือนในทูเรียนอ่อน และเมื่อใช้ลิ้นแตะชิมดูจะมีรสหวาน

5. การเคาะเปลือกหรือกรีดหนาม เมื่อเคาะ เปลือก ผลทุเรียนที่แก่จัดจะมีเสียงดังหลวม ๆ เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเปลือกและ เนื้อภายในผล เสียงหนักหรือเบาแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับพันธุ์และอายุของต้นทุเรียน
6. การปล่อยให้ทุเรียนร่วง ปกติดอกทุเรียนแต่ละรุ่นในแต่ละต้นจะบานไม่พร้อมกันและมีช่วงต่างกันไปไม่เกิน 10 วัน ดังนั้น เมื่อมีผลทุเรียนในต้นเริ่มแก่ สุก และร่วง ก็เป็นสัญญาณเตือนว่า ผลทุเรียนที่เหลือในรุ่นนั้นแก่แล้วสามารถเก็บเกี่ยวได้
7. การนับอายุ โดยนับอายุผลเป็นจำนวนวัน หลังดอกบาน เช่น พันธุ์ชะนี ใช้เวลา 100 - 105 วัน เป็นต้น การนับวันหรืออายุของผลจะแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละปี และในแต่ละท้องถิ่น ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ เช่น ถ้าปีใดมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูง ผลทุเรียนจะแก่เร็วกว่าปีที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า

### 2.1.3 คุณค่าทางอาหาร[4]

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีรูปร่าง สี สีสัน และรสชาติค่อนข้างแปลก ส่วนใหญ่จะรับประทานแบบผลสด แต่ก็ยังมีการนำไปทำผลไม้แปรรูปที่ขึ้นชื่อมากคือ ทุเรียนกวนในประเทศไทยนิยมทำทุเรียนกวนกันมากแถบบริเวณปลูกทุเรียนในภาคใต้และทางจังหวัดจันทบุรี เพราะทุเรียนแถบนี้ส่วนใหญ่แล้วเป็นทุเรียนพันธุ์พื้นเมืองหรือเรียกว่า “ทุเรียนนอก” มีขนาดผลเล็ก เนื้อน้อย เมล็ดโต ให้ผลดกแต่ไม่เป็นที่ยอมรับของตลาด เมื่อเหลือจากส่งเป็นสินค้าส่งออก จึงทำทุเรียนกวนซึ่งสามารถเก็บไว้ได้นาน

ในประเทศอินโดนีเซีย นอกจากจะรับประทานเนื้อทุเรียนสดแล้ว ยังใช้ปรุงเป็นอาหารทั้งคาวและหวาน ทำเครื่องชูรสอาหาร ส่วนเมล็ดใช้เผา ต้ม หรือทอดรับประทานเป็นอาหารว่าง ผลแก่ที่ยังไม่สุก ขำทำเป็นผัก ลำต้นใช้ทำเป็นวัสดุก่อสร้างหรือเครื่องใช้ในบ้าน[4]

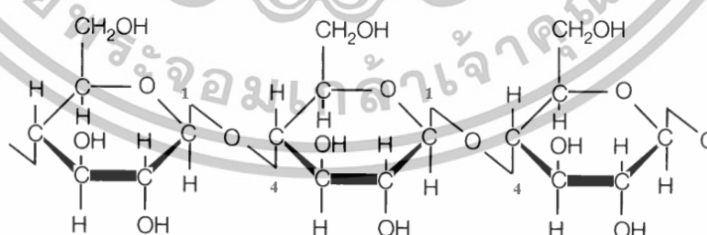
นอกจากนี้เนื้อทุเรียนยังมีคุณค่าทางอาหารสูง ทั้งในด้านไขมันที่ให้พลังงานความร้อน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ร่างกาย[4]

## ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของทุเรียน[4]

คุณค่าทางอาหารของทุเรียน (100 กรัม)	
พลังงาน	144 calorie
โปรตีน	25 g
แป้งและน้ำตาล	30.4 g
แคลเซียม	9 mg
ฟอสฟอรัส	0.44 mg
เหล็ก	0.9 mg
วิตามินเอ	30 unit
โทมิน	0.24 mg
โรโบฟลาวิน	0.2 mg
ไนซิน	0.7 mg
แอสคอบิกแอซิด	24 mg

### 2.1.4 cellulose[5]

เซลลูโลส (cellulose) เป็นคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ชนิดพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประเภทโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช เช่น ผลไม้, ผัก และเมล็ดธัญพืช เซลลูโลสจัดเป็นเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ และไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ และสัตว์กระเพาะเดียว[5]



ภาพที่ 2.1 การจับตัวของโมเลกุล cellulose[5]

### 2.1.5 แป้งในเนื้อทุเรียน[6]

ในการส่งออกทุเรียนที่มีคุณภาพได้มีข้อกำหนดไว้ว่า เนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองจะต้องมีเปอร์เซ็นต์แป้งไม่ต่ำกว่า 32% ตามที่กรมวิชาการเกษตรทำการศึกษา วิเคราะห์ วิจัย และสรุปกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานให้เกษตรกร พ่อค้าและประชาชนทั่วไปนำไปใช้ปฏิบัติในการตัด และจำหน่ายทุเรียนพันธุ์หมอนทองตามเกณฑ์นี้[6]

### 2.1.6 การแยกระดับความอ่อนแก่ทุเรียน[7]

ในการแยกระดับความอ่อนแก่ของทุเรียนถูกแบ่งออกเป็น 6 ระดับคือ 1. ระดับความแก่ 50% คือ ผลอ่อนมากและไม่สามารถสุกได้ตามปกติ 2. ระดับความแก่ 60% คือ ผลอ่อน สามารถสุกได้แต่ใช้เวลานานมีรสชาติไม่ดี 3. ระดับความแก่ 70% คือ ผลแก่ระดับต่ำสุดสามารถจำหน่ายต่างประเทศโดยขนส่งทางเรือ สุกได้ใน 7-10 วัน รสชาติยอมรับได้ 4. ระดับความแก่ 80% คือ ผลแก่ สามารถจำหน่ายภายในหรือต่างประเทศโดยขนส่งทางเครื่องบิน สุกได้ใน 4-6 วัน รสชาติดี 5. ระดับความแก่ 90% คือ ผลแก่มาก สุกได้ใน 2-3 วัน รสชาติดี 6. ระดับความแก่ 100% ผลแก่มากที่สุด รับประทานได้หรือ สุกได้ใน 1 วัน รสชาติดี ซึ่งลักษณะของเนื้อภายในผลทุเรียนดูได้จากภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ความแตกต่างของทุเรียนอ่อนกับทุเรียนแก่[7]

## 2.2 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Spectroscopy)[8]

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการอันตรกิริยา (Interaction) เมื่อคลื่นเนียร์อินฟราเรด (ความยาวคลื่นระหว่าง 700-2500 nm) ที่ส่องไปยังวัสดุ เช่น ผลผลิตทางเกษตรและอาหาร ทำให้พันธะทางเคมีภายในวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธะ O-H, C-H และ N-H ของวัสดุ ดูดซับคลื่นและทำให้เกิดอาการสั่นสะเทือนของพันธะ โดยการเปลี่ยนระดับพลังงานข้ามชั้นมากกว่า 1 ชั้น (Overtone) หรือเกิดจากการสั่นสะเทือนข้าม 1 ชั้น (Fundamental vibration) พร้อมกันของพันธะตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป ทำให้ได้ผลรวมของการสั่น (Combination vibration) เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ซึ่งมีแหล่งแสงที่ใช้ช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด ปกติเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten halogen) ตัวตรวจวัด (Detector) ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำจากสารต่างๆ ไม่เหมือนกันขึ้นกับช่วงคลื่นที่ต้องการตรวจวัด เช่น ช่วงคลื่น 350-1100 nm ใช้ Si (Silicon) ช่วง 1100-2500 nm ใช้ PbS (Lead sulphide) หรือ InGaAs (Indium Gallium Arsenide) ช่วงแสงที่มองเห็นได้และช่วงเนียร์อินฟราเรด (400-2600

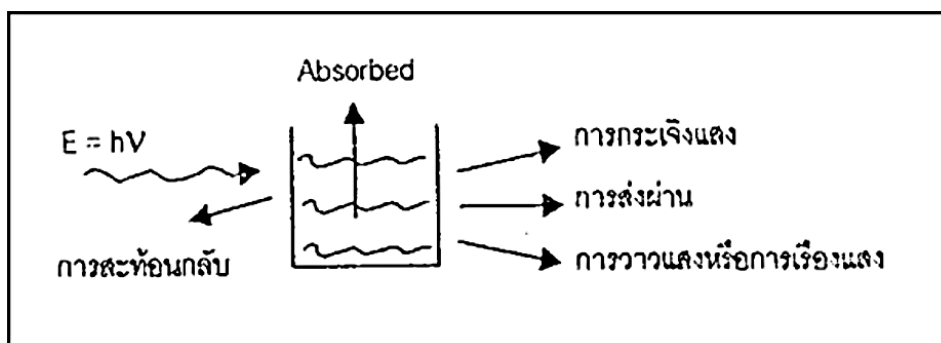
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

nm) ใช้ PbS ควบคู่ (Sandwiched) กับ Silicon photodiodes วิธีการจัดวางตัวอย่างเพื่อการสแกนด้วยสเปกโตรมิเตอร์ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีสะท้อน (Reflectance) เป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดวางตัวอย่าง เมื่อแสงส่องไปยังวัตถุแล้วแพร่ลงไปใต้อัตถุบางส่วนแล้วสะท้อนกลับขึ้นมาสู่ตัวตรวจวัด บางทีเรียกว่า การสะท้อนแบบแพร่ (Diffused reflectance) โดยมีแหล่งแสงและตัวตรวจวัดอยู่ด้านล่าง ในปัจจุบันเนื่องจากมีความสะดวกในการใช้สายไฟเบอร์ออปติก การวัดสะท้อนจากวัตถุจึงเป็นแบบ Interactance ซึ่งมีสายไฟเบอร์ออปติกที่เป็นตัวนำคลื่นที่สะท้อนจากวัตถุกลับไปยังตัวตรวจวัด ซึ่งอยู่ใกล้กัน เรียกว่า Interactance-Reflectance ได้ วิธีส่องผ่านคลื่นไปในตัวอย่าง ก่อนที่จะรับแสงที่ผ่านออกมาวิเคราะห์ เรียกว่า วิธีส่องผ่าน (Transmittance) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กับของเหลว นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับของแข็ง เช่น กล้วยของผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ Diode array at short wavelength (FQA-NIR Gun, Fantec, Japan) ซึ่งปกติเป็นแบบสะท้อนให้เป็นวิธีส่องผ่าน โดยใช้ Gold cup นอกจากนี้ยังมีการวัดแบบส่องผ่านสะท้อน (Transflectance) เป็นการส่งคลื่นผ่านตัวอย่าง ซึ่งโดยปกติเป็นของเหลวที่อยู่ในภาชนะที่ทำด้วยอะลูมิเนียมที่มีความลึกลงๆ เมื่อคลื่นกระทบพื้นอะลูมิเนียมจะสะท้อนผ่านตัวอย่างขึ้นมาเข้าสู่ตัวตรวจวัด

เนื่องจากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมจะมีค่าพิค ส่วนใหญ่เป็นพิคกว้าง (Broad spectrum) บางทีมีพิคกว้างที่มีความเข้มสูง เนื่องจากการซ้อนทับกัน (Overlapping bands) บางทีอาจจะเห็นพิคที่คมชัด (แต่น้อย) สเปกตรัมของวัสดุเกษตรและอาหาร ส่วนใหญ่มีพิคของน้ำเป็นพิคใหญ่และกว้างที่บริเวณ 760, 970, 1450 และ 1940 nm ลักษณะของสเปกตรัมเช่นนี้ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้หลักทางเคมีเมตริก (Chemometric) มาใช้ โดยต้องทำสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบทางเคมีหรือสมบัติทางกายภาพหรือสมบัติอื่นที่ต้องการวิเคราะห์ (เช่น ไขมันในปลา ความหวานของผลไม้ สมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร ปริมาณเนื้อเยื่อของน้ำยาง เป็นต้น) กับข้อมูลของสเปกตรัม ซึ่งเรียกว่าข้อมูลเชิงแสง (Optical data) เพื่อประมาณค่าองค์ประกอบหรือสมบัติที่ต้องการ

## 2.3 หลักการพื้นฐานของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy[8]

หลักการของสเปกโตรสโกปี คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ จะมีแสงบางส่วนที่จะถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (transmitted) บางส่วน เกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (fluorescence or phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง (scattered) ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ[8]

สเปกโทรสโกปีมีกฎของการดูดกลืนแสงที่สำคัญที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กฎ คือ

1. กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) กล่าวว่า “เมื่อแสงสีเดียว (monochromatic light) คือ แสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว (homogeneous) เป็นสัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้ โดยไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงเริ่มต้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”

2. กฎของเบียร์ (Beer's law) กล่าวว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียวสัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

ในทางปฏิบัติปริมาณความเข้มชั้นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงส่องผ่าน จึงต้องรวมกฎทั้งสองเข้าด้วยกันเรียกว่า กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$A = \frac{I_0 - I}{I_0} = \epsilon bc$$

เนื่องจาก T (Transmittance) เท่ากับ

$$T = \frac{I}{I_0}$$

เพราะฉะนั้น

$$x = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc = \log \frac{1}{T}$$

เมื่อ  $I$  = ความเข้มของแสงความยาวคลื่นเดียวที่ส่งผ่านออกมา

$\epsilon$  = สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง ปกติเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น และอุณหภูมิ

$I_0$  = ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลางเมื่อ  $b=0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**b** = ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

**c** = ความเข้มข้นของสารในหน่วย โมล/ลิตร

**A** = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

โมเลกุลของสารแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเนื่องจากการ จัดเรียง โครงสร้างของโมเลกุลต่างกัน นอกจากนี้ในแต่ละโมเลกุลจะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นมากกว่า 1 ช่วง เช่นโมเลกุลของน้ำ (H<sub>2</sub>O) ที่มีมากในผลิตภัณฑ์อาหาร มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น 4 ช่วง คือ 760, 970, 1450 และ 1940 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าทำการทดสอบที่ช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวจะสามารถ หาความสัมพันธ์ของน้ำภายในตัวอย่างได้

## 2.4 การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์[8]

### 2.4.1 smoothing

การหาค่าเฉลี่ยโดยการสร้างสมการ Polynomial สำหรับจุดต่างๆ ในสเปกตรัม แล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วง โดยใช้สมการที่สร้างขึ้น

### 2.4.2 Multiple Scatter Correction (MSC) แบบ Full MSC

เป็นการหาสเปกตรัมใหม่ที่ใช้แก้ปัญหาการเลื่อนขึ้น (Baseline shift) ของสเปกตรัมและปัญหาหามุมเอียงที่ไม่เท่ากันของสเปกตรัมที่เกิดขึ้น เนื่องจากการกระเจิงของแสง (Scatter effect) หรือความไม่เสถียรของเครื่องกำเนิดแสง (ปัญหาจากเครื่องมือ/อุปกรณ์ หรืออุณหภูมิห้อง)

$$X = \frac{x - a}{b}$$

เมื่อ **X** คือ ค่าจุดใหม่

**x** คือ ค่าจุดเดิม

**a** คือ ค่าคงที่ ที่ใช้แก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัม

**b** คือ ค่าคงที่ ที่ใช้แก้ปัญหาหามุมเอียงที่ไม่เท่ากันของสเปกตรัม

### 2.4.3 Standard Normal Variate (SNV)

เป็นวิธีการกำจัดผลของการกระเจิงของแสง (Scatter effect) เหมือนวิธี MSC โดยใช้สมการ โดยแต่ละค่าในแถวของข้อมูลจะถูกแปลงดังสมการต่อไปนี้

$$X = \frac{x - \bar{x}}{SD}$$

เมื่อ **X** คือ ค่าจุดใหม่

**x** คือ ค่าจุดเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\bar{x}$  คือ ค่าเฉลี่ย

$SD$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 2.4.4 Derivative

เป็นการแก้ปัญหาค่าการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัมด้วยปัจจัยทางกายภาพ เป็นการหาสเปกตรัมใหม่จากการหา Slope ของสเปกตรัมเดิม

1<sup>st</sup> Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 1

2<sup>nd</sup> Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2

#### 2.4.5 Normalization

คือการจัดการทางคณิตศาสตร์ด้วยค่าคงที่ ซึ่งมี 3 วิธี คือ

- Mean Normalization

$$X_{(i,k)} = \frac{x_{(i,k)}}{|\text{Mean}(x_{(i,*)})|}$$

- Max Normalization

$$X_{(i,k)} = \frac{x_{(i,k)}}{\text{Max}|(x_{(i,*)})|}$$

- Range Normalization

$$X_{(i,k)} = \frac{x_{(i,k)}}{\text{Max}(x_{(i,*)}) - \text{Min}(x_{(i,*)})}$$

เมื่อ  $x$  คือ ค่าตัวแปรที่ตำแหน่งใดๆ

$i$  คือ หมายเลขตัวอย่าง

$k$  คือ ความยาวคลื่น ณ ตำแหน่งนั้น

\* คือ ความยาวคลื่นทุกๆ ความยาวคลื่นในสเปกตรัม

#### 2.4.6 Baseline offset

เป็นการแก้ปัญหาค่าการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัม ซึ่งจะขยับสเปกตรัมให้เลื่อนมาอยู่ ณ จุดๆหนึ่ง ซึ่งเป็นไปตามสมการดังนี้

$$f(x) = x - \text{Min}(X)$$

เมื่อ  $x$  คือ ค่าของตัวแปรใดๆ ในสเปกตรัม

$X$  คือ ค่าของตัวแปรทั้งหมดในสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การเลือกจำนวนแฟคเตอร์ที่เหมาะสม[8]

ใน PLS regression ข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลความเข้มข้นจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบของ เมทริกซ์และลดลงเป็นแฟคเตอร์จำนวนไม่มาก จำนวนแฟคเตอร์ ในแบบจำลองเคมิมेटริกจะถูกเรียกว่า “rank” การหาจำนวน rank มีความสำคัญกับคุณภาพในการวิเคราะห์ การเลือกจำนวนแฟคเตอร์ที่น้อยเกินไปจะนำไปสู่การอธิบายที่ไม่เพียงพอเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงในข้อมูลสเปกตรัมและความเข้มข้น (“under fitting”) มีเพียงความสัมพันธ์เพียงเล็กน้อย ระหว่างสองชุดข้อมูลและผลจากการวิเคราะห์จากแบบจำลองนี้จะไม่เพียงพอ ถ้าเลือกแฟคเตอร์จำนวนมากเกินไปแบบจำลองจะพยายามที่จะคิดรวมแม้การเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในชุดข้อมูลเช่นสัญญาณ รบกวนในสเปกตรัม (“over fitting”) วิธีนี้ข้อมูลสเปกตรัมที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวอย่างจะถูกรวมอยู่ในแบบจำลอง แบบจำลองเหล่านี้จะมีคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์ ดังนั้นทุกๆแบบจำลอง PLS มีจำนวนแฟคเตอร์ที่เหมาะสมซึ่งรับประกันว่ามีคลาดเคลื่อนพลาดน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ในการวิเคราะห์ มีแนวทางหลายอย่างทีนำไปสู่การหาจำนวนแฟคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองบางอย่าง เป็นค่าเฉลี่ยของคลาดเคลื่อนของการทำนาย ( RMSECV ของการพิสูจน์แบบไขว้หรือ RMSEP ของการพิสูจน์แบบชุดทดสอบ) ต้องมีค่าต่ำสุดจึงจะได้จำนวนแฟคเตอร์ที่เหมาะสม ในทางตรงข้ามค่าของ สัมประสิทธิ์ของการพิจารณา  $R^2$  มีค่าสูงสุด ดังนั้นจำนวนแฟคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองสามารถหาได้อย่างง่ายดายคือค่าของ  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนาย จากนั้นพล็อตค่าเหล่านี้โดยให้แกนนอนเป็นจำนวนแฟคเตอร์ จำนวนแฟคเตอร์ที่เหมาะสมเมื่อมีค่าตามที่กล่าวมามีค่าที่เหมาะสม (น้อยสุด) และ / หรือจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีจำนวนแฟคเตอร์สูงขึ้น ถ้ามี จำนวนแฟคเตอร์ที่มากและได้ผลการทำนายที่ดีเหมือนกับที่มีจำนวนแฟคเตอร์น้อย จะแนะนำให้เลือกแบบจำลองที่มีจำนวนแฟคเตอร์น้อยสุด

ข้อควรระวังการพิสูจน์วิธีการเป็นไปได้เฉพาะการใช้สเปกตรัมของชุดตัวอย่างที่เป็นอิสระ นั่นคือ สเปกตรัมต้องไม่เป็นส่วนหนึ่งของชุดข้อมูลคาลิเบรชัน ซึ่งถ้าเป็นการพิสูจน์แบบไขว้ตัวอย่างทั้งหมดที่ถูก วัดแต่ละตัวอย่างจะถูกดึงออกจากชุดคาลิเบรชัน “leave-out spectra” ในกรณีของการพิสูจน์แบบชุด ทดสอบตัวอย่างใหม่จะถูกวัดเพื่อเป็นชุดทดสอบ

## 2.6 การสร้างสมการโดยวิธี partial least square regression (PLS-Regression)[8]

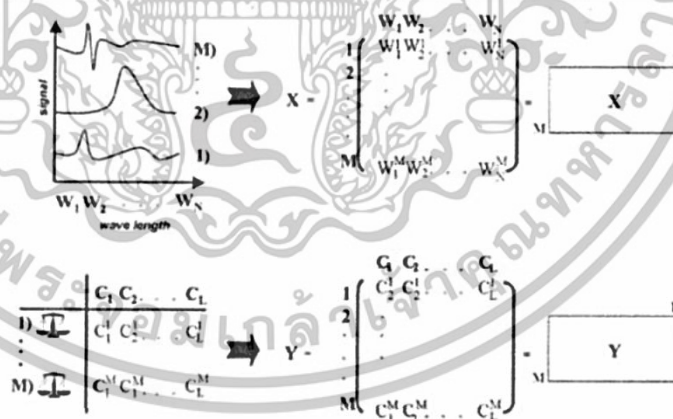
การเปรียบเทียบวิธีการทางเคมิมेटริกที่ใช้ในเคมีวิเคราะห์สามารถพบได้ในอัลกอริธึมของ PLS ถูกสร้างขึ้นเป็นวิธีหนึ่งที่น่านิยมใช้มากที่สุด ดังนั้นจะอธิบายวิธีนี้เท่านั้น เนื่องจากขอบเขตและความซับซ้อน ทางคณิตศาสตร์ของคำอธิบายทั้งหมดจะไม่ได้แสดงไว้ให้อ่านเพิ่มเติม

เพื่อที่จะทำ PLS-Regression ของระบบใดๆ ข้อมูลของสเปกตรัมของสารต้องถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มข้นของสารนั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งในโครงสร้างข้อมูลทั้งสองต้องได้รับการยอมรับและมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

สำหรับวัตถุประสงค์นี้จำเป็นต้องวัดตัวอย่างจำนวนมาก สำหรับการแสดงผลทางคณิตศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงทั้งในชุดข้อมูลทั้งสองจะต้องเขียนเมทริกซ์ของข้อมูลและไอเกนเวกเตอร์ ของข้อมูลเหล่านั้นจะถูกสร้างขึ้น ไอเกนเวกเตอร์เหล่านี้เรียกว่าแฟคเตอร์หรือองค์ประกอบเบื้องต้น ซึ่งสามารถใช้สำหรับการทำนายความเข้มข้นแทนสเปกตรัมดั้งเดิมเนื่องจากมันมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของระบบที่ ศึกษา

การลดตัวแปรนี้มีประโยชน์อย่างชัดเจน ข้อมูลที่เกี่ยวข้องเชิงการวิเคราะห์จากชุดข้อมูลขนาดใหญ่ได้ ถูกบีบอัดเป็นแฟคเตอร์ซึ่งจะถูกใช้สำหรับการคาลิเบรชัน

ในกรณีของคาลิเบรชัน PLS ไอเกนเวกเตอร์จะถูกเก็บโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย แฟคเตอร์ แรกบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงหลักของสเปกตรัม มีความสำคัญที่มากที่สุดสำหรับแบบจำลองคาลิเบรชัน และเมื่อจำนวนแฟคเตอร์เพิ่มขึ้นแม้แต่การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในโครงสร้างข้อมูลก็ถูกบ่งชี้ ซึ่งมีผลสำคัญที่ตามมาของการประเมินสเปกตรัม นั่นคือจำนวนแฟคเตอร์ที่น้อยลงส่วนใหญ่จะบ่งชี้การ เปลี่ยนแปลงที่สำคัญของโครงสร้างของสเปกตรัม ขณะที่จำนวนแฟคเตอร์ที่สูงขึ้นส่วนใหญ่จะแสดงถึงส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนของสเปกตรัม



ภาพที่ 2.4 ข้อมูลสเปกตรัมและความเข้มข้นในรูปแบบเมทริกซ์[8]

ในตัวอย่างนี้มีตัวอย่างคาลิเบรชัน M ตัวอย่างที่วัดและ - ในขั้นตอนที่สอง -N ความยาวคลื่นทั้งหมดของผลสเปกตรัมจะถูกเขียนในแถว (M, N) เมทริกซ์ เมทริกซ์นี้จะเทียบเท่ากับข้อมูลสเปกตรัม เมทริกซ์ X. ในทางเดียวกันค่าองค์ประกอบทั้งหมด L จะเขียนลงไปใน (M, L) เมทริกซ์ของข้อมูลความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกจำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสมเป็นมีสำคัญมาก สำหรับคุณภาพของแบบจำลอง PLS ถ้ามีจำนวนแพคเตอร์น้อยเกินไปโครงสร้างสเปกตรัมจะไม่ถูกรับรู้เพียงพอ regression ที่เกี่ยวข้องจึงไม่สามารถนำไปสู่การวิเคราะห์ที่น่าพอใจนั่นคือแบบจำลอง “underfitting”

ถ้าจำนวนแพคเตอร์มีมากการวิเคราะห์ก็จะไม่ดีเนื่องจากมีสัญญาณรบกวนเชิงสเปกตรัมหลาย ส่วนมากเกินไป (Overfitting)

ใน PLS regression ข้อมูลสเปกตรัมเมทริกซ์ X และข้อมูลความเข้มข้นเมทริกซ์ Y ถูกลดลงเหลือ เพียง 2-3 แพคเตอร์ เมทริกซ์ดั้งเดิมจึงแสดงเป็นผลรวมของ A ผลคูณของสิ่งที่เรียกว่า scores vector  $t_i$  กับ loading vector  $p_i$  หรือ  $q_i$  ตามลำดับ

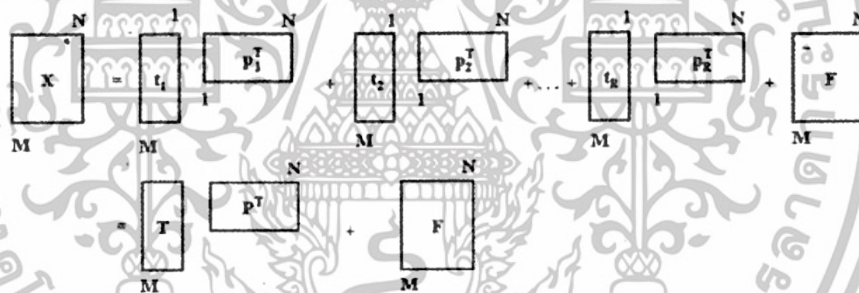
ข้อมูลสเปกตรัม

$$X = t_1 p_1^T + t_2 p_2^T + t_3 p_3^T + \dots + t_R p_R^T + F$$

ข้อมูลความเข้มข้น

$$Y = t_1 q_1^T + t_2 q_2^T + t_3 q_3^T + \dots + t_R q_R^T + G$$

ในทุกกรณี score และ loading จะแสดงเป็น vector



ภาพที่ 2.5 Schematicdiagram for the factorization of the spectral data matrix X[8]

ค่า R แสดงถึง จำนวน factor และ T หมายถึง Transpose ของแต่ละ loading vector F และ G คือ เมทริกซ์ของ error (Residual metrics) ของข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลความเข้มข้นตามลำดับ ค่าเหล่านี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของข้อมูล ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงในการสร้างแพคเตอร์ (factorization)

โดยทั่วไปจำนวนสำหรับค่าการดูดซับที่ได้จากการวัดจะมากเกินไปกว่าตัวเลขขององค์ประกอบที่ แสดงให้เห็น ดังนั้นระบบนี้คือ “over-determined” และจึงสามารถไม่เพียงแต่จะสร้างความสัมพันธ์กับ จุดของข้อมูลสเปกตรัมจุดเดียว (เช่น จุดสูงสุดของการคาลิเบรชันแบบตัวแปรเดียว) แต่ยังมีความสัมพันธ์ กับโครงสร้างข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมด ข้อมูลชุดคาลิเบรชันด้วยวิธีนี้จะมีค่าข้อมูลที่ ได้มากกว่าการคาลิเบรชันด้วยวิธีตัวแปรเดียวมาก นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้ที่จะหาตัวแปรที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดปกติในระหว่างการวิเคราะห์ และสามารถตัดสินใจได้ว่าองค์ประกอบของสิ่งรบกวนที่ไร้รู้ค่า ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับชุดของข้อมูลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมตรงข้ามกับการคาลิเบรชันแบบตัวแปรเดียว เป็นไปได้ที่จะใช้ข้อมูลเชิงสเปกตรัมของด้านข้างของพีค ซึ่งสามารถวิเคราะห์สเปกตรัมได้โดยโครงสร้างของสเปกตรัมเอง ด้วยเหตุนี้แถบการดูดซับที่ซ้อนทับกัน (overlapping bands) สามารถที่จะแยกออกจากกันได้ ในสเปกตรัมตราบใดที่มีความแปรปรวนในรูปร่างของสเปกตรัมน้อยในทำนองเดียวกันสามารถ รับรู้ถึงโครงสร้างของสเปกตรัมบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนมากได้ ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงการทำนายความเข้มข้นสารให้แม่นยำ

ใน PLS regression เบื้องต้นข้อมูลจะถูกทำให้เป็นองค์ประกอบหลัก (Principal Components) แล้วจะคำนวณหา scores vectors จากข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลความเข้มข้น ซึ่งวิธีการจะครอบคลุม (Robust) ต่อความไม่ถูกต้องของค่าการวัดค่าอ้างอิงและการวัดค่าตัวอย่าง

ความสำคัญพิเศษของ PLS regression สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเกิดจากการสร้างแฟคเตอร์ (Factorization) ของข้อมูล X และ Y โดยไม่เป็นอิสระต่อกันและเกิดขึ้นพร้อมกันเมื่อประเมินสเปกตรัมของการดูดซับสามารถที่จะประมาณว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลสเปกตรัมมีต้นกำเนิดจากความแปรปรวนของความเข้มข้นที่สอดคล้องกันนั้นหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลสเปกตรัมควรจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันของสเปกตรัม เพราะฉะนั้น scores vectors ของเมทริกซ์ของข้อมูลความเข้มข้นและข้อมูลสเปกตรัมควรจะเหมือนกัน อย่างไรก็ตามในกรณีของตัวอย่างจริง ถ้าเมทริกซ์นั้นถูกลดขนาดลงโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์อย่างบริสุทธิ์ (นั่นคือเป็นอิสระ) ค่าคลาดเคลื่อนในการเตรียมตัวอย่างและในวิธีอ้างอิงที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มข้นและการเกิดดริฟท์ (Drift) ของเครื่องวัดและสัญญาณรบกวนในสเปกตรัมจะก่อให้เกิดความแตกต่างของ scores vectors ดังนั้นในวิธี PLS จะสมมุติว่า scores vectors ที่เหมือนกัน (Identical) สำหรับชุดข้อมูลทั้งสองที่จำนวน แฟคเตอร์ใดๆซึ่งจะถูกเลือกเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเริ่มต้นมีค่าน้อยที่สุด เป็นการประนีประนอมระหว่างความเหมาะสมของแฟคเตอร์ที่ใช้ในการอธิบายตัวอย่างและความสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างชุดข้อมูล

อัลกอริธึมที่มีชื่อว่า PLS1 เพียงแค่นำค่าความเข้มข้นของเพียงหนึ่งองค์ประกอบทางเคมีมาพิจารณา ข้อมูลอื่นๆทั้งหมดจะถูกตีความว่าเป็นสิ่งรบกวน นั่นคือ Y-เมทริกซ์ของข้อมูลความเข้มข้นเป็นเวกเตอร์เดียว ส่วนในอัลกอริธึม PLS2 ความเข้มข้นขององค์ประกอบทุกอย่างในระบบจะถูกนำมาพิจารณาในการคาลิเบรชัน สำหรับการทำนายตัวอย่างใหม่แบบจำลองนี้นำไปสู่การวิเคราะห์องค์ประกอบทุกอย่างในเวลาเดียวกันตรงกันข้ามกับการคาลิเบรชันแบบ PLS1 ข้อมูลทั้งหมดของเมทริกซ์ ความเข้มข้นจะถูกนำสัมพันธ์กันกับข้อมูลสเปกตรัมเมทริกซ์ โดยทั่วไปแล้วการทำนายแบบ PLS2 จะให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีเท่ากับการทำนายแบบ PLS1 จากเหตุผลดังกล่าวโดยทั่วไปจึงแนะนำให้ใช้

อัลกอริธึม PLS1 ในการวิเคราะห์ระบบที่มีหลายองค์ประกอบ อัลกอริธึมแบบนี้ก็สามารถถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างประสบความสำเร็จในทุกองค์ประกอบ ดังนั้นแบบจำลองนี้ใช้สำหรับทุกองค์ประกอบที่ถูกสร้างขึ้น เช่นเดียวกับแบบอัลกอริธึม PLS2

## 2.7 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างความสมการ[8]

### 2.7.1 สัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination, $R^2$ )

แสดงสัดส่วนของความแปรปรวนในข้อมูล X ที่สามารถอธิบายโดยความแปรปรวนในข้อมูล Y ค่าของ  $R^2$  จะเป็นบวกเสมอเช่น ถ้า  $R = 0.99$  แล้ว  $R^2 = 0.982$  หมายความว่า 98.2% ของความแปรปรวน ในข้อมูล X และ 1.8 % ของความแปรปรวนในข้อมูล X เกิดขึ้นจากตัวแปรอื่น เช่นการเตรียมตัวอย่าง วิธีการทดลองอ้างอิง และอื่นๆ ค่า  $R^2$  เป็นบวกเสมอโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของ R ในทางปฏิบัติ  $R^2$  ให้ ข้อมูลมากกว่า R และใช้กันมากกว่า R การแปลความหมายของค่า R และ  $R^2$  แสดงดังตารางที่ 2.2  $R^2$  คำนวณได้จาก

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_1^n (Y_i^{meas} - Y_i^{pred})^2}{\sum_1^n (Y_i^{meas} - \bar{Y})^2} \right] \times 100$$

เมื่อ  $Y_i^{meas}$  คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี  
 $Y_i^{pred}$  คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วย NIRS  
 $n$  คือ จำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 2.2 การแปลความหมายของค่า R และ  $R^2$  [9]

R	$R^2$	ความหมาย
ถึง +/-0.5	ถึง 0.25	ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration
+/-0.51-0.70	0.26-0.49	เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดีควหาเหตุผล
+/-0.71-0.80	0.50-0.64	OK สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) อย่างหยาบๆ
+/-0.81-0.90	0.66-0.81	OK สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ
+/-0.91-0.95	0.83-0.90	ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่รวมถึงการวิจัย
+/-0.96-0.98	0.92-0.96	ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่รวมถึงการประกันคุณภาพ
+/-0.99+	0.98+	ดีเยี่ยมใช้ได้กับทุกการประยุกต์ใช้

## 2.7.2 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (root mean squared error of cross validation; RMSECV)

Cross-validation สามารถใช้ตัวอย่างชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการทำการ พิสูจน์แบบจำลอง (Validation) สิ่งนี้ทำโดยชักตัวอย่างออกหนึ่งตัวอย่าง หรือกลุ่มของหลายตัวอย่างจาก ชุดสร้างแบบจำลองและสร้างแบบจำลองด้วย ตัวอย่างที่เหลืออยู่แล้วทำนายตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไป และบันทึกค่าคลาดเคลื่อนแล้วนำตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไปนั้นกลับมาแล้วชักตัวอย่างอื่นออกไป และ ทำซ้ำกระบวนการจนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง และทำนายจะไม่มีตัวอย่างที่ถูกทำนายถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองซึ่งได้ใช้ในการทำนาย ถ้าเอาออกเพียงทีละ 1 ตัวอย่างจะ เรียกว่า “Full” หรือ “One-out” cross-validation ถ้านำชุดตัวอย่าง (จำนวนหลายตัวอย่าง) ออกจะ เรียกว่า “Segmented” cross-validation ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าที่ถูก ทำนายโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงของชุดสร้าง แบบจำลองคือ RMSECV วิธีพิสูจน์นี้เหมาะที่จะใช้กับข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างน้อยๆ เช่น น้อยกว่า 100 ตัวอย่าง RMSECV คำนวณได้จากสมการ

$$RMSECV = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^{meas} - Y_i^{pred})^2}$$

เมื่อ  $Y_i^{meas}$  คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี

$Y_i^{pred}$  คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วย NIRS

$n$  คือ จำนวนตัวอย่าง

## 2.7.3 อัตราส่วนระหว่าง SEP กับ SD (Ratio of SEP to the SD, RPD)

RPD ย่อมาจาก Ratio of (Standard error of) Prediction (Validation) to (Standard) Deviation แต่เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) กับอัตราส่วนของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานการทำนาย (SEP) ของข้อมูลของค่าอ้างอิงของชุดทำนาย ค่า SEP ควรต่ำกว่า SD มากๆซึ่งอัตราส่วนควรเท่ากับ 5 หรือมากกว่าบางกรณีตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมากค่า SD จึงไม่สูงซึ่ง RPD อาจจะไม่สูง ดังนั้น RPD เท่ากับ 2.5-3.0 ก็อาจแสดงถึงการวิเคราะห์ที่แม่นยำถ้า SD มีค่าเพียง 0.4-0.5 ซึ่งสามารถดูได้จากตารางที่ 2.3

อัตราส่วนของพิสัยควอร์ไทล์ต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (ratio of performance to inter-quartile range; RPIQ) ใช้ในกรณีที่ชุดตัวอย่างมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอสามารถเปรียบเทียบกับค่า RPD ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธี cross validation สามารถหาค่า RPIQ ได้จากสมการ

$$RPIQ = \frac{Q_3 - Q_1}{RMSECV}$$

เมื่อ  $RPIQ$  = อัตราส่วนของพิสัยควอร์ไทล์ต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการพิสูจน์แบบไขว้

$Q_3$  = ค่าทำนายที่ควอร์ไทล์ที่ 3

$Q_1$  = ค่าทำนายที่ควอร์ไทล์ที่ 1

$RMSECV$  = ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการพิสูจน์แบบไขว้

สำหรับแบบจำลองสร้างด้วยวิธี test set สามารถหาค่า RPIQ ได้จากสมการ

$$RPIQ = \frac{Q_3 - Q_1}{RMSEP}$$

เมื่อ  $RPIQ$  = อัตราส่วนของพิสัยควอร์ไทล์ต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการพิสูจน์แบบไขว้

$Q_3$  = ค่าทำนายที่ควอร์ไทล์ที่ 3

$Q_1$  = ค่าทำนายที่ควอร์ไทล์ที่ 1

$RMSEP$  = ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการทำนาย

### ตารางที่ 2.3 การอธิบายผลของค่า RPD [9]

RPD	ความหมาย	การประยุกต์ใช้
0.0-1.9	ไม่ดีเลย	ไม่แนะนำ
2.0-2.4	ไม่ดี	ใช้คัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) แบบหยาบๆ
2.5-2.9	พอใช้	ใช้คัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) ได้
3.0-3.4	ดี	ใช้ควบคุมคุณภาพได้
3.5-4.0	ดีมาก	ใช้ควบคุมกระบวนการได้
4.1+	ดีเยี่ยม	ได้ทุกการประยุกต์ใช้

#### 2.7.4 คลาดเคลื่อน (Bias)

เมื่อทำนายค่าตัวแปรที่ต้องการของข้อมูลในชุดตัวอย่างทดสอบแบบจำลอง ( Validation set) ค่า Bias หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงและค่าที่ทำนายโดยเทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและเป็นการวัดความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง ( Calibration model) ในโลกความเป็นจริงของทางการค้าและอุตสาหกรรม Bias เป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญมากในทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติ Bias สามารถเกิดขึ้นได้แม้เมื่อค่าสถิติสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์และ SEP ที่แสดงว่าแบบจำลองนั้นดีเยี่ยม

## 2.8 ประโยชน์ของเทคนิค NIR

Osborne. B.G. et al. [10] ได้กล่าวว่าเครื่องมือแต่ละประเภทต่างก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน แต่เครื่อง NIR มีประโยชน์ และข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางเคมี หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIR ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีประโยชน์มากมาย เช่น

1. ใช้เวลารวดเร็วในการวัด
2. สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากในการปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ หรือต้องได้รับการฝึกฝนโดยเฉพาะ สามารถปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานได้ทันที
3. ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง ไม่จำเป็นต้องชั่งตัวอย่างก่อนนำมาวัดค่า
4. การตรวจสอบเป็นแบบไม่ทำลาย ทำให้ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบสามารถจำหน่าย ส่งออก หรือบริโภคต่อได้ เป็นการประหยัดต้นทุนของผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่ง
5. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ลดต้นทุนในการดูแลรักษาสภาพแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี
6. ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี และเครื่องแก้วทำให้สามารถลดต้นทุนในเรื่องสารเคมี และอุปกรณ์ เครื่องแก้ว
7. เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นประโยชน์เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมอื่นที่สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ได้

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Neamsorn and Terdwongworakul et al. [11] ได้ประยุกต์ใช้วิธีตรวจสอบคุณภาพทุเรียน โดยการวัดความแข็งแรงของก้านทุเรียนด้วยเครื่องมือบีบก้านที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะร่วมกับ การวัดเสียงเคาะเพื่อนำมาหาความสัมพันธ์และนำเนื้อทุเรียนมาอบแห้งเพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งสำหรับใช้เป็นค่าอ้างอิงความแก่ การวิเคราะห์สถิติเพื่อศึกษาความสัมพันธ์พบว่า ในการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณโดยเลือกตัวแปรทำนายเข้าโมเดลแบบขั้นพื้นฐานที่ได้กราฟแรงกดกับระยะยุบตัว และความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง ที่ค่า correlation coefficient (r) เท่ากับ 0.844

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timkhum and Terdwongworakul et al. [12] ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีช่วงความยาวคลื่นจาก 350-750 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ เพื่อวิเคราะห์ความสุกแก่ของทุเรียนโดยการวัดสเปกตรัมที่หนาม ให้ความถูกต้องสูงสุด 94.7% โดยแบ่งอายุการเก็บออกเป็น 4 กลุ่ม ตั้งแต่ 113 ถึง 134 วันหลังดอกบาน กรณีนี้จะเห็นว่าแบบจำลองยังไม่สามารถคัดทุเรียนที่อาจมีอายุน้อยกว่า 113 วัน ที่อาจปะปนมาได้

Lourdes et al. [13] ที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบออนไลน์โดยการหาค่า focal distance และ integration time ที่ดีที่สุดในการสแกนมะกอก โดยได้ผลการทดลองดังนี้ ค่า focal distance เท่ากับ 13 มิลลิเมตร และค่า integration time เท่ากับ 5 วินาที

Kuson and Terdwongworakul et al. [14] ศึกษาการใช้ electrical impedance spectroscopy (EIS) เพื่อหาความถี่ที่เหมาะสมที่สุดที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับจำนวนวันหลังดอกบานของทุเรียน พบว่า ความต้านทานที่ความถี่ 141 และ 200 kHz สามารถนำมาใช้จำแนกกลุ่มทุเรียนแก่จากกลุ่มทุเรียนอ่อนด้วยความถูกต้อง 83.3%

Miralbes et al. [15] วิจัยการใช้เทคโนโลยี NIR spectroscopy วัดความชื้นของแป้งสาลี โดยนำตัวอย่างแป้งสาลีจากโรงสีต่างๆกันมาวัดสเปกตรัมแบบ NIR transmittance ที่ช่วงคลื่น 850-1048 nm ทุกๆ 2 nm ค่าจากแบบจำลองให้ค่าทำนายค่าความชื้นค่อนข้างดี โดยค่า  $R^2 = 0.99$  RMSECV=0.13% SEP=0.15 และ อัตราส่วนระหว่าง SEP กับความเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดทำนาย (Ratio between standard deviation of prediction set to SEP) (RPD) = 4.9 ทั้งนี้สรุปได้ว่าการทดสอบตัวอย่างแป้งโดยการส่งผ่าน NIR สามารถให้ข้อมูลทั้งทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของตัวอย่างแป้งมีศักยภาพที่ดีสำหรับการควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรม

Camps et al. [16] ได้พัฒนา NIR spectroscopy เพื่อตรวจสอบ ความชื้นในแป้งแห้งของใบ Artemisia annua (A.annua) โดยมีตัวอย่าง 60 ตัวอย่างใช้สำหรับสร้างแบบจำลองแบบ PLS และ อีก 40 ตัวอย่างสำหรับพิสูจน์แบบจำลอง แบบจำลองความชื้นทำนายได้แม่นยำมีค่า  $R = 0.99$  RMSECV และ RMSEP 0.8% และ 1.4% ตามลำดับ

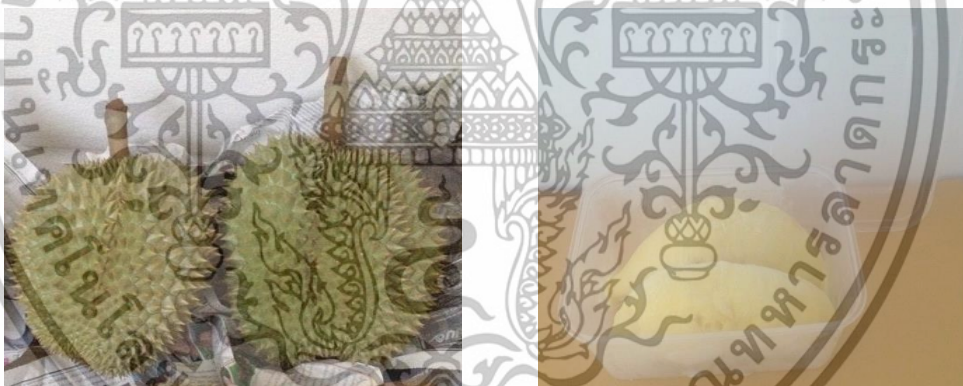
Onsawai and Sirisomboon et al. [17] ศึกษาการประเมินค่าน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยการดูดกลืนแสง NIR ซึ่งมีความแม่นยำที่ดี ( $r^2 = 0.89$  และ RMSEP = 3.60 %dry matter) โดยใช้เครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ช่วงจำนวนคลื่น 12500-3600  $\text{cm}^{-1}$  สแกนในโหมดสะท้อนแบบแพร่

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

#### 3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง

นำทุเรียนมาจากจังหวัดชุมพรและจังหวัดนครศรีธรรมราช ประเทศไทยที่ระดับความสุกเมื่อเก็บเกี่ยวเชิงการค้า ในวันที่ 18 , 21, 25, 27, 28 กันยายน 2560 และ 7, 8 กุมภาพันธ์ 2561 ถูกนำไปยังศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของผลผลิตทางการเกษตรและอาหารภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หลังจากนำลูกทุเรียนมายังศูนย์วิจัยจะทำการปอกเปลือกแล้วนำเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองเก็บในกล่องพลาสติกปิดเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นและในการทดลองจะทำทุเรียนที่ละ 1 ลูก ประมาณ 3-4 ตัวอย่าง ได้ตัวอย่างเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ทั้งหมด 269 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างสำหรับการสแกนแบบออฟไลน์ และในตัวอย่างเดียวกันจำนวน 160 ตัวอย่างเป็นตัวอย่างสำหรับการสแกนแบบออนไลน์ โดยตัวอย่างทั้งหมดจะทำอยู่ในห้องทดลองที่ควบคุมอุณหภูมิที่  $25 \pm 2$  °C ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (ก) ผลทุเรียนก่อนปอกเปลือก (ข) เนื้อทุเรียนที่ใส่ในภาชนะปิด

#### 3.2 การทดลองเบื้องต้น

3.2.1. การสแกนของการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาการทำทวนซ้ำ (repeatability) และการทำซ้ำ (reproducibility) ของการสแกน และการทวนซ้ำ (repeatability) ของวิธีอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณาสูงสุดของวิธีอ้างอิง (maximum coefficient of determination)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำทวนซ้ำของการสแกนด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี คือการสแกนตัวอย่างในตำแหน่งเดิม 10 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของการดูดซับแสง โดยเลือกมา 3 ความยาวคลื่น (970, 1440, 1900 นาโนเมตร) จาก 10 สเปกตรัมและหาค่าเฉลี่ย

การทำซ้ำของการสแกนด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี หากจากการสแกนตัวอย่างเดิม 10 ครั้ง แต่ทำการ reload ทุกครั้งแล้วนำมาหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและทำการเลือกความยาวคลื่นมา 3 ความยาวคลื่นจาก 10 สเปกตรัม และหาค่าเฉลี่ย

การทำทวนซ้ำของวิธีอ้างอิง (Rep) เป็นตัวชี้วัดความสามารถในการทำซ้ำจากการวัดด้วยวิธีการอ้างอิง ค่านี้ถูกกำหนดโดยการคำนวณค่า SD ของความแตกต่างสูงสุดในการทำซ้ำของตัวอย่างเดียวกันของตัวอย่างทั้งหมด

ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณาสูงสุด ( $R^2_{max}$ ) จะมีค่าสูงสุดได้จะต้องไม่มีข้อผิดพลาดจากการสแกนเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ และมีแต่ข้อผิดพลาดจากการทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น สำหรับความถูกต้องของการทดลองในห้องปฏิบัติการตามที่ Dardenne (2009)[18] ได้กล่าวไว้  $R^2_{max}$  สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$R^2_{Max} = \frac{SD_y^2 - Rep^2}{SD_y^2}$$

เมื่อ  $SD_y$  คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลชุด calibration set

### 3.3 การสแกนด้วยคลื่นเนียร์อินฟราเรด

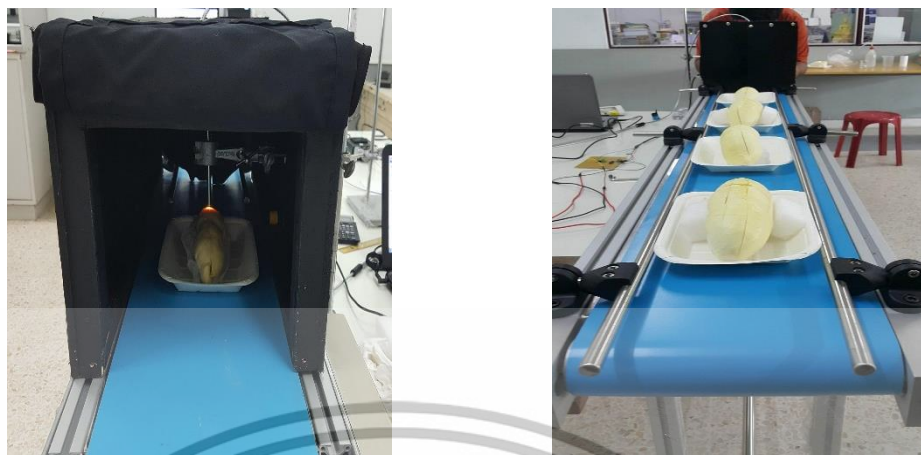
#### อุปกรณ์

1. เครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)
2. เครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer (AvaSpec-ULS2048-USB2-VA-50, AVANTES, Netherlands)
3. สายพานลำเลียง

#### 3.3.1 การวัดแบบออนไลน์

นำเนื้อทุเรียนมาสแกนแบบออนไลน์บนสายพานลำเลียงด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer (AvaSpec-ULS2048-USB2-VA-50, AVANTES, Netherlands) ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 200-1100 นาโนเมตร โดยใช้การสแกนในโหมด absorbance โดยใช้เทฟลอนเป็นวัสดุอ้างอิง โดยตั้งค่าเวลาในการสแกน 4.5 มิลลิวินาที ที่ค่าเฉลี่ย 200 ครั้ง ซึ่งสแกนตัวอย่างระยะ 8 เซนติเมตร เฉลี่ยเป็น 1 สเปกตรัมที่ความเร็วสายพาน 0.1 เมตรต่อวินาที ระยะหัววัดไฟเบอร์ออฟติกห่างจากตัวอย่างประมาณ 1-3 เซนติเมตร โดยการสแกนจะทำในกล่องดำเพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก ดังภาพที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



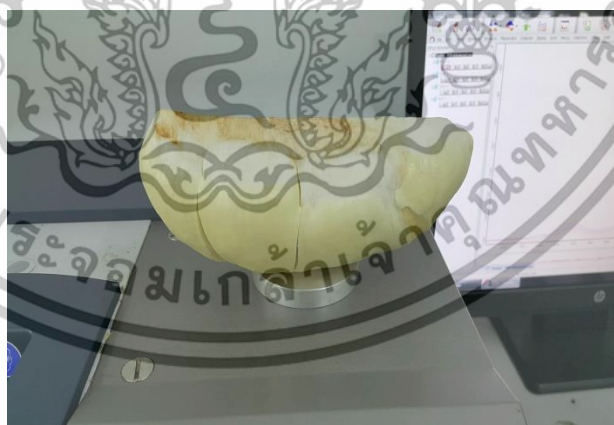
ก

ข

ภาพที่ 3.2 การสแกนด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer (AvaSpec-ULS2048-USB2-VA-50, AVANTES, Netherlands) (ก) สแกนขณะอยู่ในกล่องดำ (ข) เนื้อทุเรียนขณะอยู่บนสายพานลำเลียง

### 3.2.2 การวัดแบบออฟไลน์

นำตัวอย่างเนื้อทุเรียนที่สแกนแบบออนไลน์เสร็จแล้วมาสแกนแบบออฟไลน์ด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA FT-NIR, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany) ที่ความยาวคลื่น 12500-4000 เซนติเมตร<sup>-1</sup> (800-2500 นาโนเมตร) ที่ความละเอียด 16 เซนติเมตร<sup>-1</sup> โดยใช้แผ่นทองเป็นวัสดุอ้างอิง และสแกน 32 ครั้งเฉลี่ยเป็น 1 สเปกตรัม สแกนในโหมดสะท้อนแบบแพร่ ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA FT-NIR, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การหาค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียน

#### อุปกรณ์

1. เครื่องอบลมร้อน (UF 260, Memmert, Germany)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า (New Classic MF model : JS1203C, Mettler Toledo, Switzerland)
3. มีด
4. กระจกป้องกันละออง
5. เขียง
6. กระดาษทิชชู
7. โถดูดความชื้น

หลังจากการสแกนแล้วนำเนื้อทุเรียนมาตัดบริเวณตำแหน่งที่สแกนแบ่งออกเป็น 5 g และสับละเอียด ใส่ในกระป๋องอลูมิเนียมแล้วนำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อน (UF 260, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 60°C จนกว่าจะมีน้ำหนักคงที่ ดังภาพที่ 3.4 และจึงนำไปหาค่าปริมาณเนื้อแห้ง (DM) โดยใช้สมการ

$$DM(\%) = \frac{W2}{W1} \times 100$$

โดย W1 คือ น้ำหนักก่อนการอบ (g),

W2 คือ น้ำหนักหลังการอบ (g)



ก

ข

ภาพที่ 3.4 การหาค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (ก) เนื้อทุเรียนสับละเอียด 5 g (ข) เนื้อทุเรียนขณะชั่งบนเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม

การวิเคราะห์สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) จากวัดค่าการดูดซับคลื่นในช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง 12500-4000  $\text{cm}^{-1}$  (800-2500 nm) ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer, UV-VIS-NIR spectrometer (200-1100 nm) ของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จะวิเคราะห์จากแถบการดูดซับคลื่นที่ปรากฏในสเปกตรัม โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับองค์ประกอบที่มีในของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

### 3.6 การสร้างสมการในการทำนาย

การสร้างสมการทำนายของชุดข้อมูลออฟไลน์ ชุดข้อมูลออนไลน์ ทั้งนี้ใช้ขั้นตอนเดียวกัน ทำโดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงแสง (optical data) กับปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยวิธี Partial least squares regression (PLSR)

แบบออฟไลน์ใช้โปรแกรม (OPUS version 7.0.129) โดยสเปกตรัมที่ใช้ยังไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นจากเครื่อง MPA FT-NIR, (Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany) และนำสเปกตรัมมาทำการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นด้วยวิธี constant offset elimination, straight line subtraction, vector normalization (SNV), min- max normalization, multiplicative scattering correction, first derivative, second derivative, first derivative + straight line subtraction, first derivative + vector normalization (SNV) และ first derivative + MSC

แบบออนไลน์ใช้โปรแกรม The Unscrambler X ใช้กับข้อมูลที่สแกนด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer (AvaSpec-ULS2048-USB2-VA-50, AVANTES, Netherlands) ทั้งนี้ใช้ข้อมูลเชิงแสง (สเปกตรัม) ที่ไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นหรือที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นโดยวิธี Savitzky-Golay Smoothing (11 Points), Normalization, Baseline Corrections, First Derivatives (11 Points), Second Derivatives (11 Points), Multiplicative Scatter Correction (MSC), Standard Normal Variate (SNV) และ Detrending

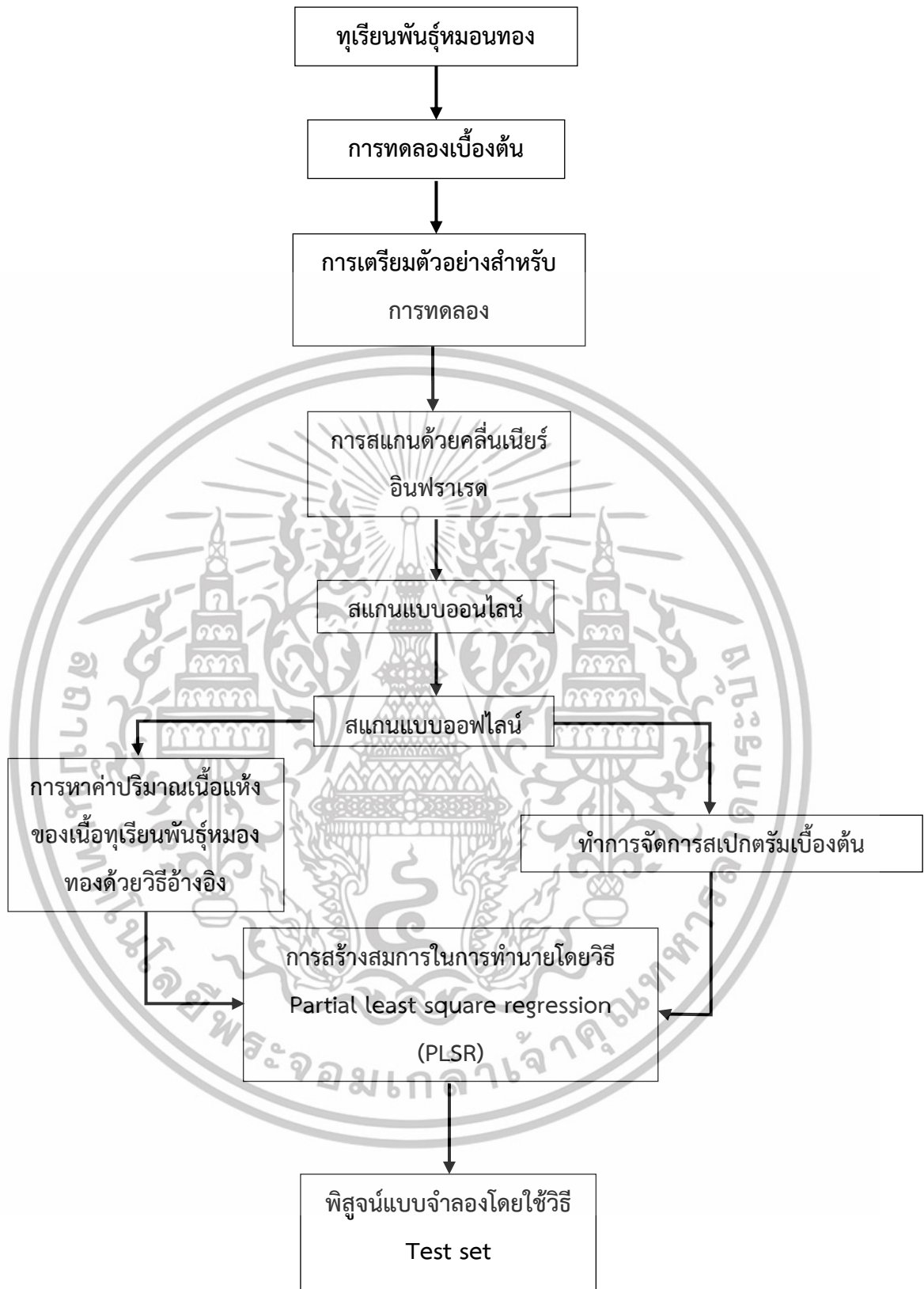
พิสูจน์แบบจำลองโดยใช้วิธี Test set เพื่อได้แบบจำลองที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of Determination;  $R^2$ ) ควรมีค่าสูง ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการประมาณค่า (root mean squares error of calibration; RMSEC) ควรมีค่าต่ำ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการทำนาย (Root Mean Squared Error of Prediction; RMSEP) ควรมีค่าต่ำที่สุด อัตราส่วนระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทำนายและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Ratio of Standard Error of Validation to Standard Deviation; RPD) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนสำหรับ

การทำนาย (Standard deviation of Error of Prediction; SEP) และ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (bias) ควรมีค่าต่ำที่สุด



ภาพที่ 3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองเพื่อสร้างแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

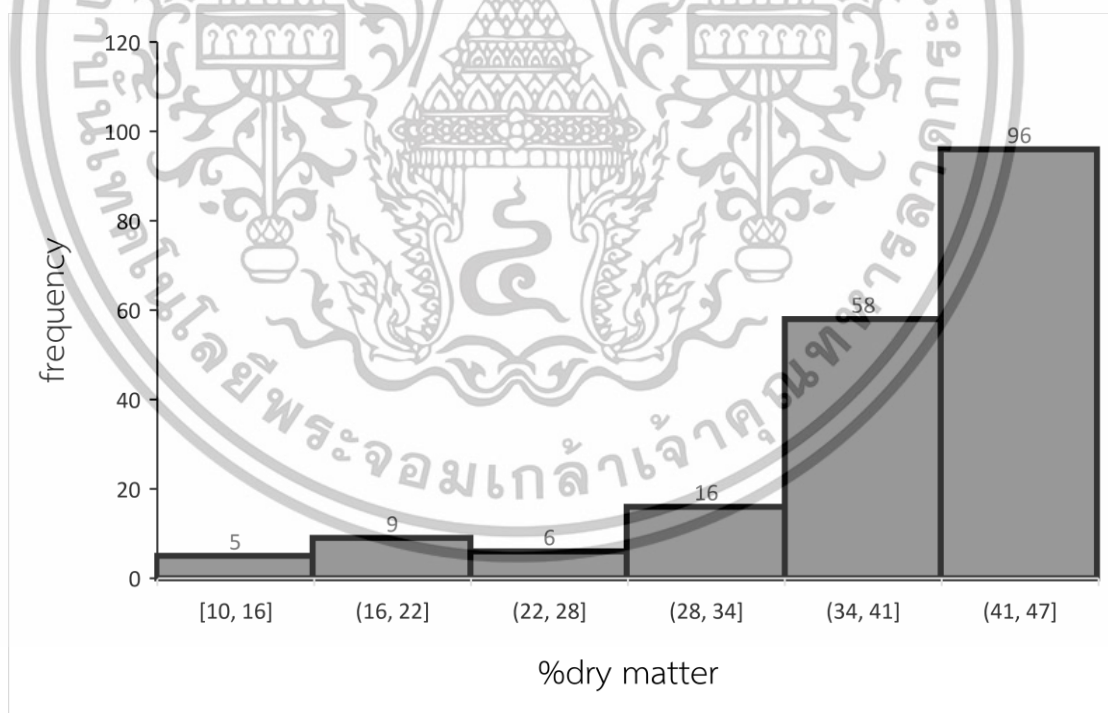
### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการหาปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณเนื้อแห้ง (% DM) ของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่วัดโดยวิธีอ้างอิงจากการทดลองเป็นข้อมูลชุดออนไลน์และออฟไลน์

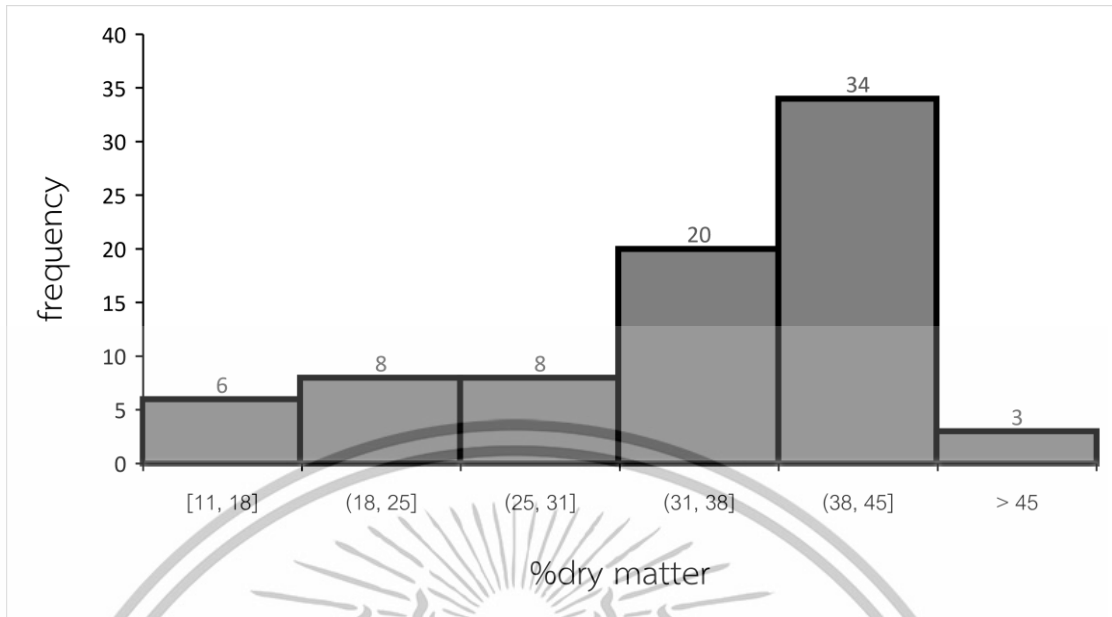
ตารางที่ 4.1 ค่าทางสถิติของปริมาณเนื้อแห้ง (%DM) ของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่วัดโดยวิธีอ้างอิง

ชุดข้อมูล	Set	จำนวนตัวอย่าง	Max	Min	Mean	SD
ออนไลน์	Calibration	109	45.94	9.84	36.81	8.16
	Prediction	49	44.43	10.96	32.72	10.49
ออฟไลน์	Calibration	190	46.69	9.84	40.57	7.43
	Prediction	79	45.98	10.96	37.41	9.50

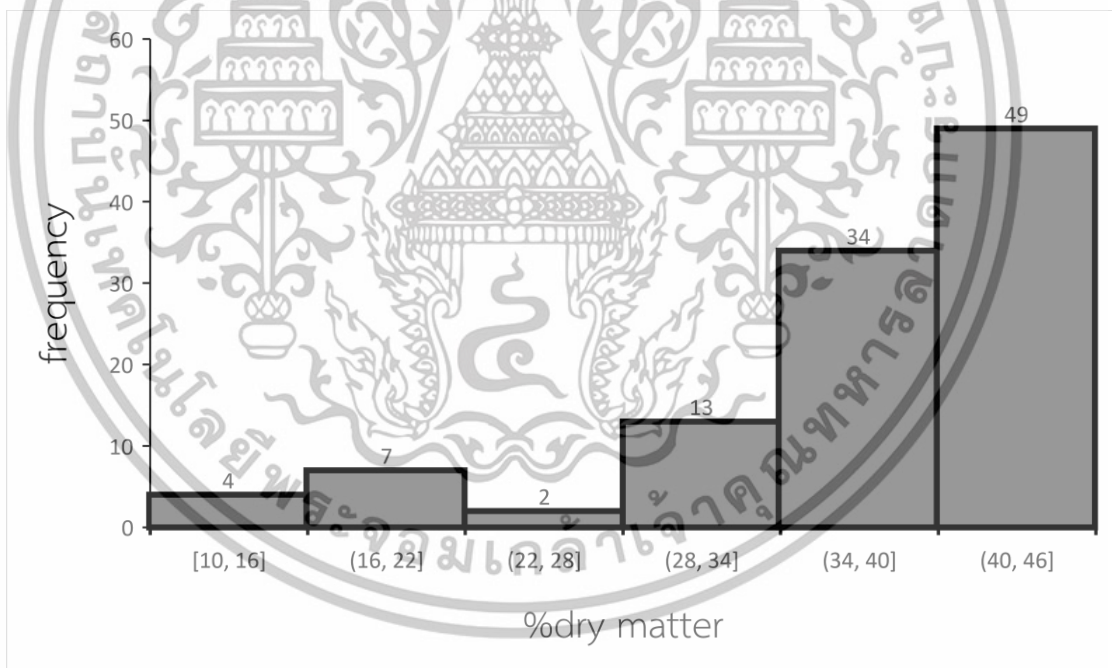


ภาพที่ 4.1 ค่าสถิติความถี่ของค่าปริมาณเนื้อแห้งได้จากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงสำหรับชุดตัวอย่าง calibration ของการสแกนแบบออฟไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

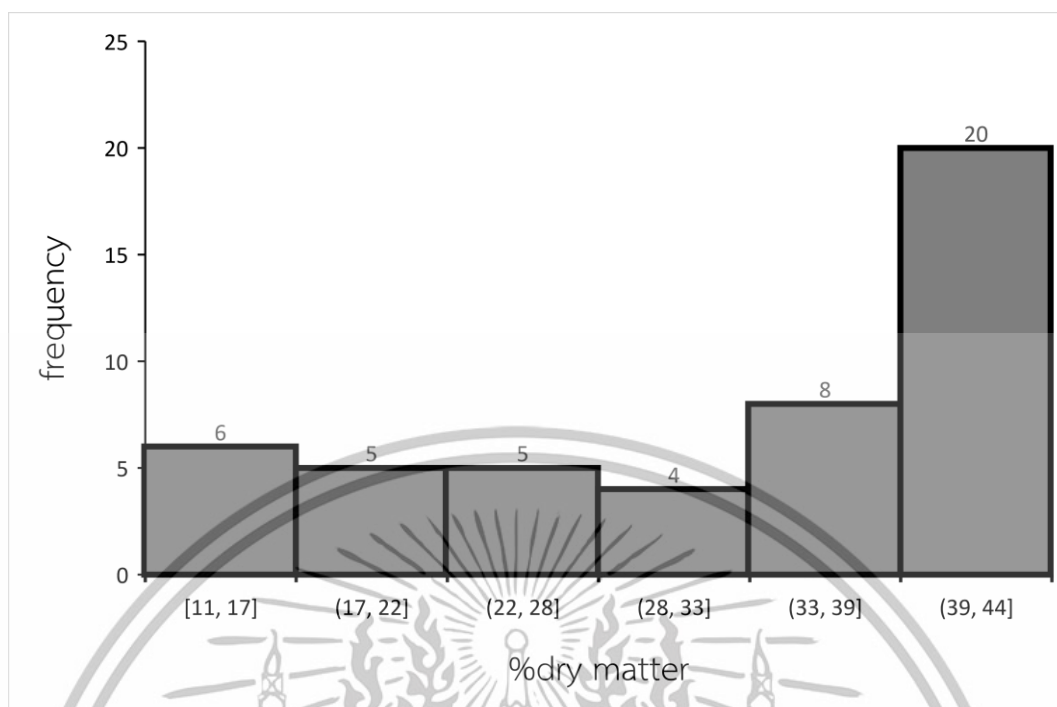


ภาพที่ 4.2 ค่าสถิติความถี่ของค่าปริมาณเนื้อแห้งได้จากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงสำหรับชุดตัวอย่าง validation ของการสแกนแบบออฟไลน์



ภาพที่ 4.3 ค่าสถิติความถี่ของค่าปริมาณเนื้อแห้งได้จากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงสำหรับชุดตัวอย่าง calibration ของการสแกนแบบออนไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

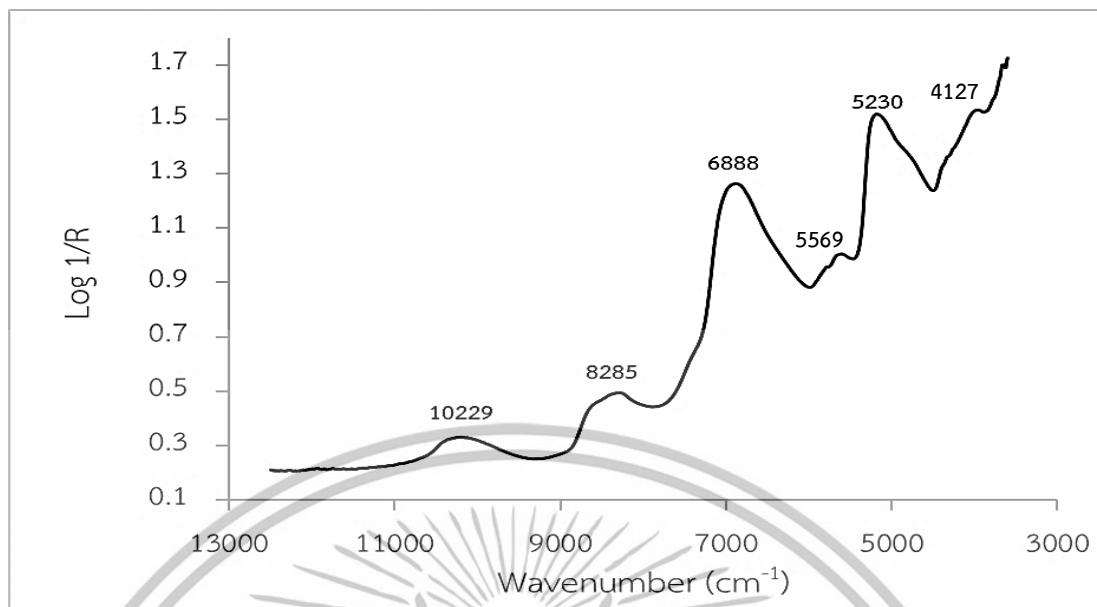


ภาพที่ 4.4 ค่าสถิติความถี่ของค่าปริมาณเนื้อแห้งได้จากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงสำหรับชุดตัวอย่าง validation ของการสแกนแบบออนไลน์

## 4.2 ลักษณะของสเปกตรัม

### 4.2.1 สเปกตรัมเฉลี่ยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากเครื่อง FT-NIR spectrometer

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมเฉลี่ยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จากเครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA FT-NIR, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany) โดยการสแกนที่ผิวเนื้อทุเรียนโดยตรง ที่ Wavenumber ระหว่าง  $12500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$  ใช้ตัวอย่างทั้งหมด 269 ตัวอย่าง มีสเปกตรัมเฉลี่ยแสดงในภาพที่ 4.1 โดยมีช่วงคลื่นที่เด่นชัด ได้แก่ช่วงคลื่นที่  $10229\text{ cm}^{-1}$ ,  $8285\text{ cm}^{-1}$ ,  $6888\text{ cm}^{-1}$  และ  $5230\text{ cm}^{-1}$  โดยช่วงคลื่นที่  $10229\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ O-H str., ช่วงคลื่นที่  $8285\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ C-H str., ช่วงคลื่นที่  $6888\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ O-H str. และ ช่วงคลื่นที่  $5230\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ O-H str. ดังแสดงในตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.5 สเปกตรัมเฉื่อยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากเครื่อง FT-NIR spectrometer

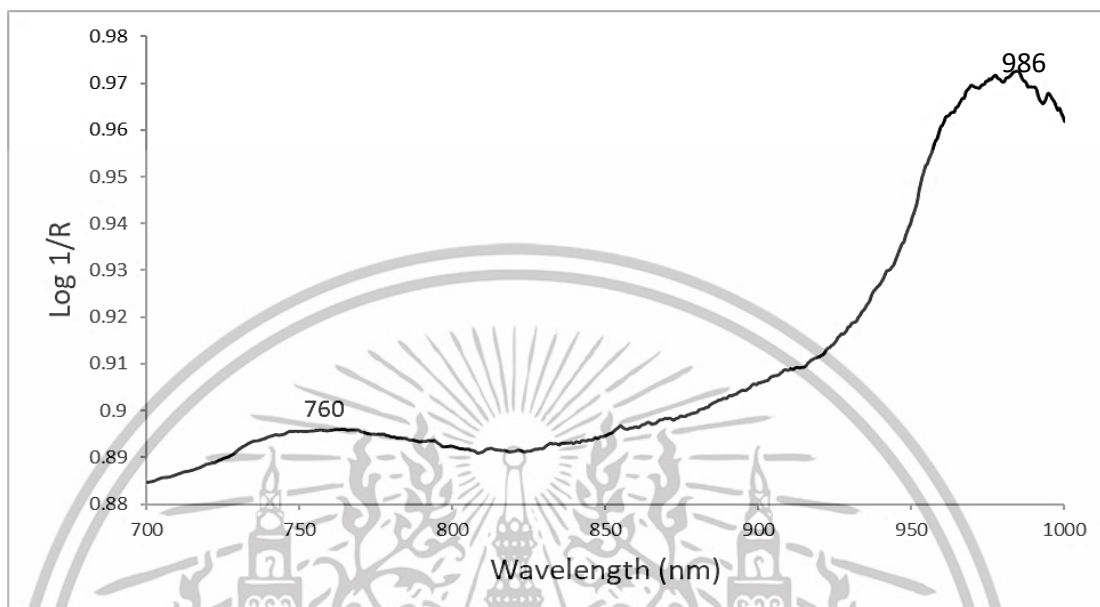
ตารางที่ 4.2 การสันเสเทียบของพันธะที่พิกัดของสเปกตรัมเฉื่อยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากเครื่อง FT-NIR spectrometer

Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Wavelength (nm)	Cited wavelength (nm) [10]	Bond vibration	Structure
10229	977	970	O-H str. Second overtone	ROH, H <sub>2</sub> O
8285	1207	1215	C-H str. Second overtone	CH <sub>2</sub>
6888	1451	1450	O-H str. First overtone	Starch, H <sub>2</sub> O
5569	1795	1780	C-H str. First overtone	cellulose
5230	1912	1908	O-H str. First overtone	POH
4127	2423	2461	C-H str. + C-C str.	Starch

#### 4.2.2 สเปกตรัมเฉื่อยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมเฉื่อยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer (AvaSpec-ULS2048-USB2-VA-50, AVANTES, Netherlands) โดยการสแกนในกล้องดำ บนสายพานลำเลียง ที่ Wavelength ระหว่าง 700–1000 nm ใช้ตัวอย่างทั้งหมด 160 ตัวอย่าง มีสเปกตรัมเฉื่อยแสดงในภาพที่ 4.6 โดยมีพิกัดที่เด่นชัด ได้แก่ช่วงคลื่นที่ 760 nm และ 986

nm โดยช่วงคลื่นที่ 760 nm เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ O-H str. ช่วงคลื่นที่ 986 nm เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ O-H str. ดังแสดงในตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.6 สเปกตรัมเฉลี่ยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จากเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer

ตารางที่ 4.3 การสั่นสะเทือนของพันธะที่พิกัดเด่นของสเปกตรัมเฉลี่ยของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง จากเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer

Wavelength (nm)	Cited wavelength (nm) [10]	Bond vibration	Structure
760	760	O-H str. third overtone	H <sub>2</sub> O
986	940	O-H str. Second overtone	H <sub>2</sub> O
986	990	O-H str. Second overtone	Starch

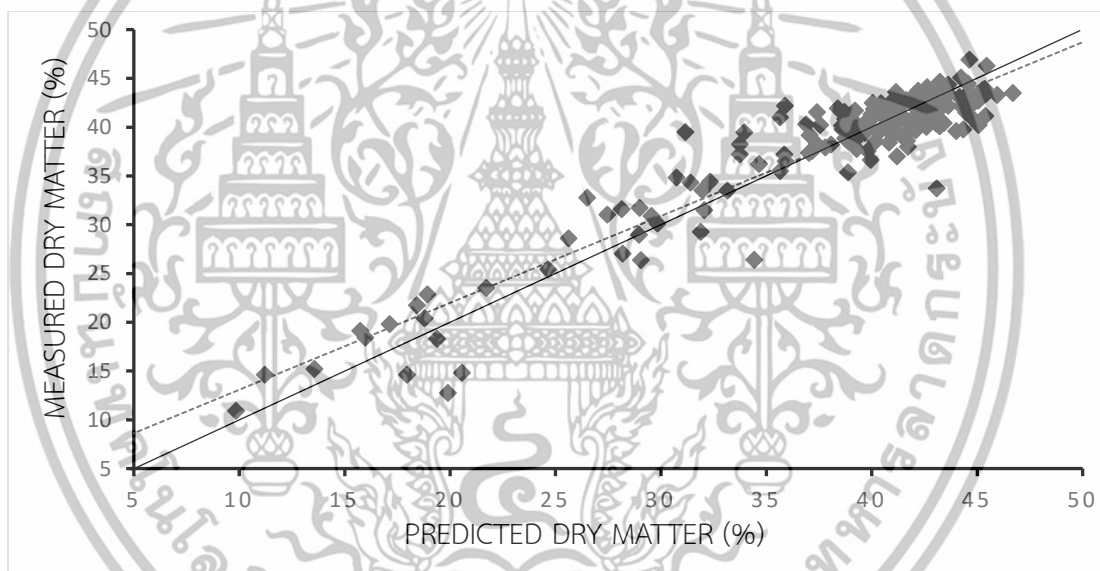
### 4.3 ผลของการทำนายของแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

#### 4.3.1 ผลการทำนายของแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมจากเครื่อง FT-NIR spectrometer แบบออฟไลน์

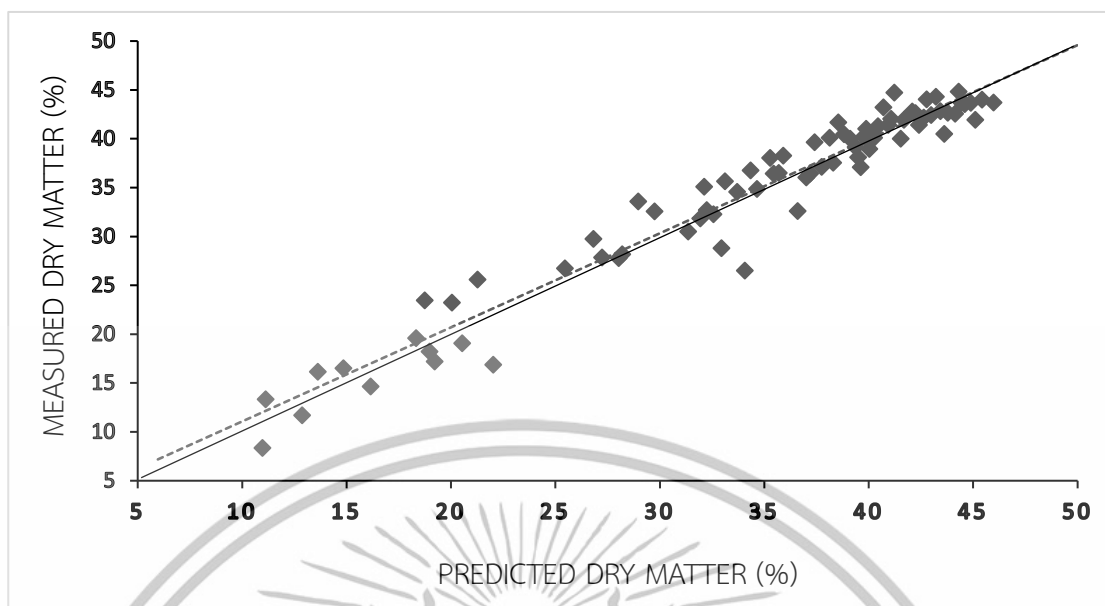
จากชุดข้อมูลแบบออฟไลน์ซึ่งได้สเปกตรัมจากเครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA FT-NIR, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany) สร้างแบบจำลองด้วยวิธี PLSR (Partial Least Squares Regression) และพิสจูจน์แบบจำลองแบบ Test set ภาพที่ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดด้วยวิธีอ้างอิงกับค่าทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calibration ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา  $R^2 = 0.89$ . ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของแบบจำลอง (root mean squares error of calibration; RMSEC) 2.48%DM (ตารางที่ 4.4) ดัง และภาพที่ 4.8 แสดง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดด้วยวิธีอ้างอิงกับค่าที่ทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Validation ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา  $R^2 = 0.94$  ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการทำนาย (root mean squares error of prediction; RMSEP) 2.18% อัตราส่วนระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทำนายและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Ratio of Standard Error of Validation to Standard Deviation; RPD) 4.34 ค่าอัตราส่วนของพิสัยควอร์ไทล์ต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (ratio of performance to inter-quartile range; RPIQ) 5.74 ค่าความคลาดเคลื่อน (Bias) -0.167%DM ดัง (ตารางที่ 4.4)



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ด้วยวิธีอ้างอิงกับค่าที่ทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Calibration แบบออฟไลน์



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ด้วยวิธีอ้างอิงกับค่าที่ทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Validation แบบออฟไลน์

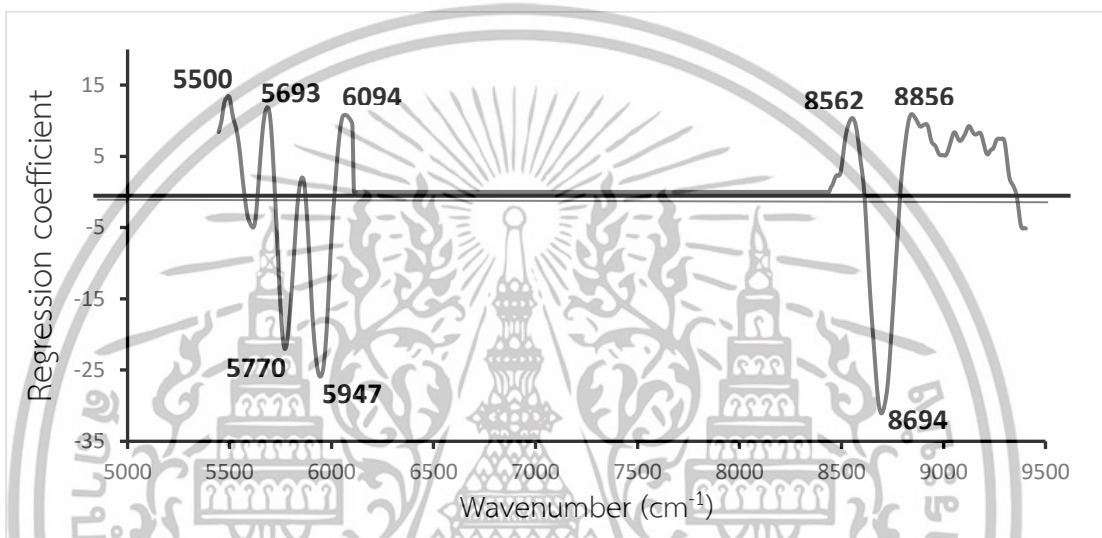
ตารางที่ 4.4 ผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS ของแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออฟไลน์

ชุดข้อมูล	Regions ( $\text{cm}^{-1}$ )	PLS Factor	$R^2$	RMSEC (%DM)	RPD	RPIQ	RMSEP (%DM)	Bias (%DM)
Calibration	9403.8- 5446.3	4	0.89	2.48	-	-	-	-
Validation	9403.8- 5446.3	4	0.94	-	4.34	5.74	2.18	-0.167

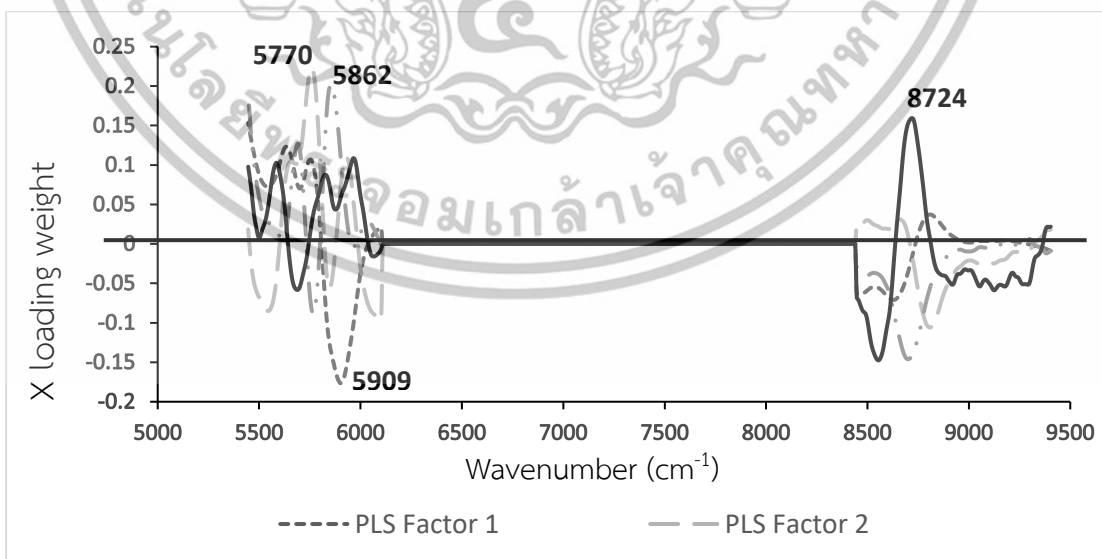
จากภาพที่ 4.9 และ 4.10 แสดงค่า Regression coefficient และค่า X-loading weight ของแบบจำลองสำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองได้ และตารางที่ 4.5 แสดงการสั่นสะเทือนของพันธะทางเคมีของพีดเด่นของ Regression coefficient plot และ X-loading weight plot โดยค่า Regression coefficient ที่มากที่สุดอยู่ที่ช่วงคลื่น  $8694 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นสะเทือนพันธะทางเคมีของพันธะ C-H str. Second overtone. และค่า X-loading weight ที่สูงที่สุดของ PLS Factor 1 อยู่ที่ช่วงคลื่น  $5909 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ C-H str. First

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

overtone. ค่า X-loading weight ที่สูงที่สุดของ PLS Factor 2 อยู่ที่ช่วงคลื่น  $5770\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ C-H str. First overtone. และ ค่า X-loading weight ที่สูงที่สุดของ PLS Factor 3 อยู่ที่ช่วงคลื่น  $5862\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ C-H str. First overtone. ค่า X-loading weight ที่สูงที่สุดของ PLS Factor 4 อยู่ที่ช่วงคลื่น  $8724\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นสะเทือนพันธะทางเคมีของพันธะ  $2 \times \text{C-H str.} + \text{C-H def.}$  ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการสั่นสะเทือนของ C-H มีผลต่อการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง



ภาพที่ 4.9 กราฟ Regression coefficient plot ของแบบจำลองสำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออฟไลน์



ภาพที่ 4.10 กราฟ X-loading weight plot ของแบบจำลองสำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออฟไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

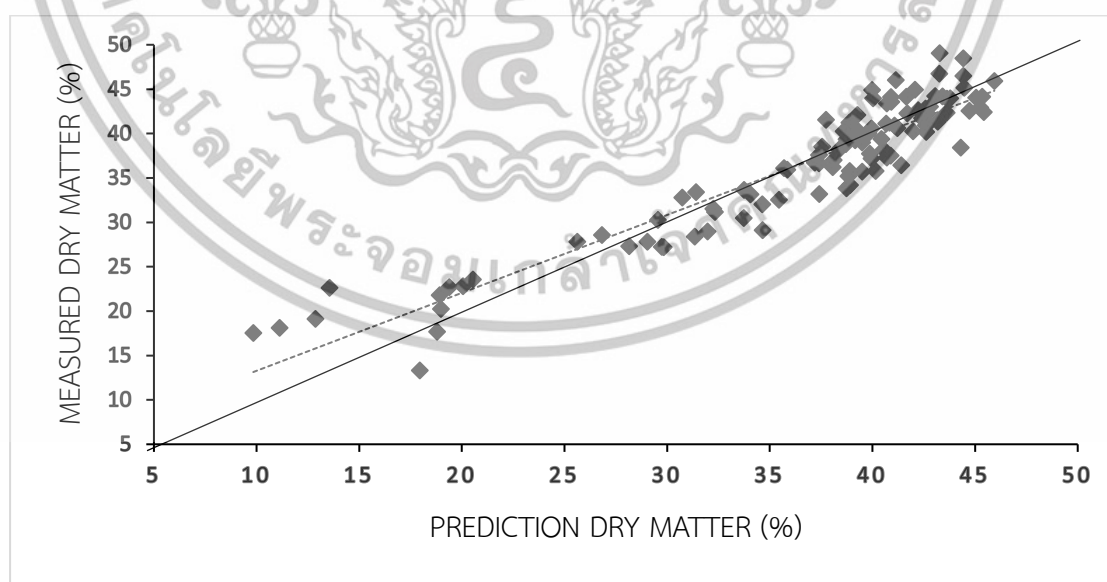
**ตารางที่ 4.5** ช่วงคลื่นที่สำคัญจากกราฟ Regression coefficient plot และ X-loading weight plot ของแบบจำลอง สำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง แบบออฟไลน์

Regression Coefficient					
Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Wavelength (nm)	Cited wavelength (nm) [10]	Bond vibration		Structure
8694	1150	1152	C-H str. Second overtone		CH <sub>3</sub>
5947	1681	1685	C-H str. First overtone		aromatic
5770	1733	1728	S-H str. First overtone		CH <sub>3</sub>
5500	1818	1820	O-H str. +2 x C-O str.		cellulose
5693	1756	1765	C-H str. First overtone		CH <sub>2</sub>
6094	1640	1645	C-H str. First overtone		R-CH-CH-O
8562	1167	1170	C-H str. Second overtone		HC=CH
8856	1129	1143	C-H str. Second overtone		aromatic
X-loading Weight					
Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Wavelength (nm)	Cited wavelength (nm) [10]	PLS latent variable	Bond vibration	Structure
5770	1733	1725	2	C-H str. First overtone	CH <sub>2</sub>
5862	1705	1705	3	C-H str. First overtone	CH <sub>3</sub>
5909	1692	1695	1	C-H str. First overtone	CH <sub>3</sub>
8724	1143	1146	4	2 x C-H str. + C-H def.	aromatic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

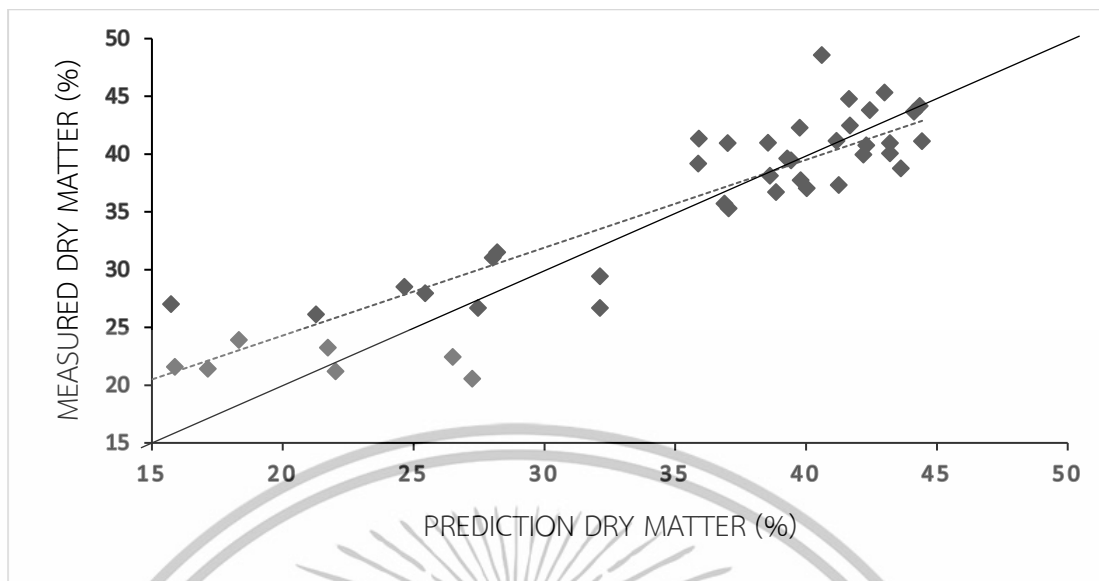
### 4.3.2 ผลการทำนายของแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมจากเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer แบบออนไลน์

แบบจำลองจากชุดข้อมูลแบบออนไลน์ซึ่งได้สเปกตรัมจากเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer (AvaSpec-ULS2048-USB2-VA-50, AVANTES, Netherlands) สร้างด้วยวิธี PLSR (Partial Least Squares Regression) และพิสูจน์แบบจำลองแบบ Test set ภาพที่ 4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดด้วยวิธีอ้างอิงกับค่าทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Calibration ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา  $R^2 = 0.87$ . ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการประมาณค่า (root mean squares error of calibration; RMSEC) 2.84%DM ดัง (ตารางที่ 4.6) และภาพที่ 4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดด้วยวิธีอ้างอิงกับค่าที่ทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Validation ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา  $R^2 = 0.83$  ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการประมาณค่า (root mean squares error of prediction; RMSEP) 4.32%DM อัตราส่วนระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทำนายและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Ratio of Standard Error of Validation to Standard Deviation; RPD) 2.38% และค่าอัตราส่วนของพิสัยควอร์ไทล์ต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (ratio of performance to inter-quartile range; RPIQ) 3.34% ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทำนาย (standard error of prediction; SEP) 4.18% ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Bias) 1.249%DM ดัง (ตารางที่ 4.6)



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าที่วัดปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีอ้างอิงกับค่าทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Calibration แบบออนไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าที่วัดปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยวิธีมาตรฐานกับค่าทำนายด้วยแบบจำลองของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของชุด Validation แบบออนไลน์

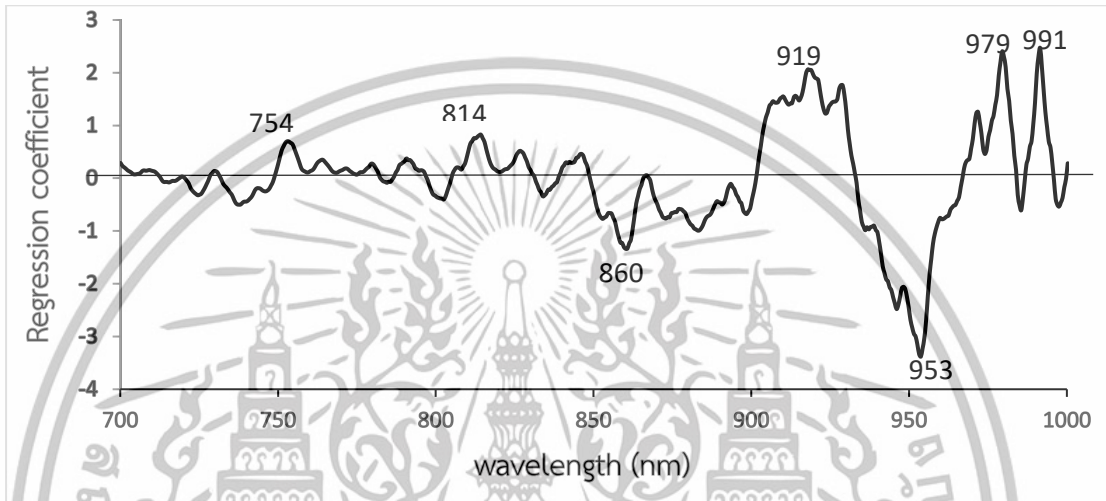
ตารางที่ 4.6 แสดงผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS ของแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออนไลน์

ชุดข้อมูล	Regions (nm)	PLS Factor	R <sup>2</sup>	RMSEC (%DM)	RPD	RPIQ	SEP	RMSEP (%DM)	Bias (%DM)
Calibration	700-1000	5	0.87	2.84	-	-	-	-	-
Validation	700-1000	5	0.83	-	2.38	3.34	4.19	4.32	1.25

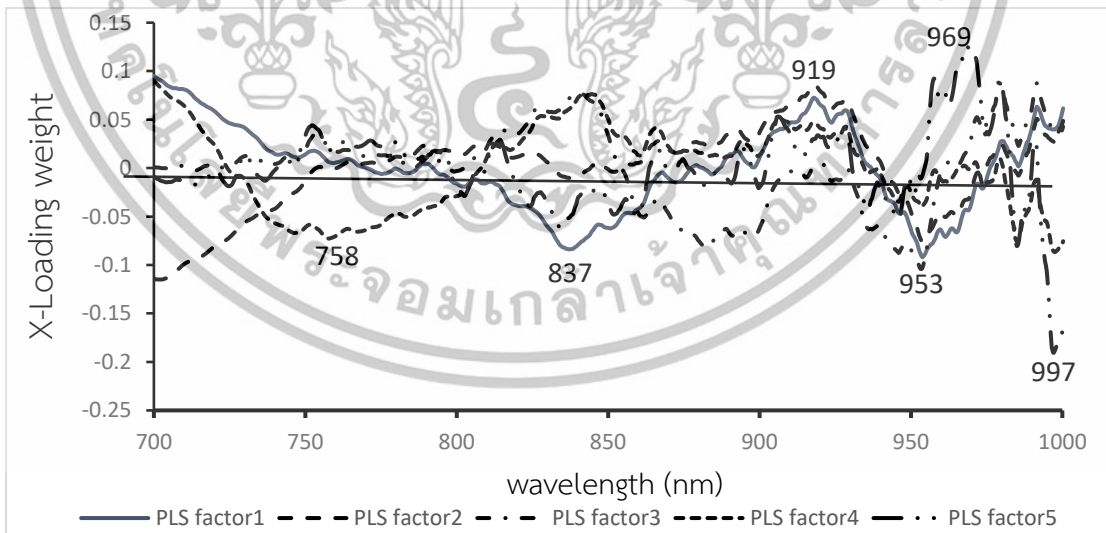
ภาพที่ 4.13 และ 4.14 แสดงค่า Regression coefficient และค่า X-loading weight ของแบบจำลองสำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง และตารางที่ 4.7 แสดงการสันสะเทือนของพันธะทางเคมีของพีคเด่นของ Regression coefficient และ X-loading weight plot โดยค่า Regression coefficient ที่มากที่สุดอยู่ที่ช่วงคลื่น 953 nm เป็นการสันสะเทือนพันธะทางเคมีของพันธะ O-H str. Second overtone. และค่า X-loading weight ที่สูงที่สุดของ PLS Factor 1 อยู่ที่ช่วงคลื่น 837 nm เป็นการสันสะเทือนพันธะ 3x-C-H str. +2x-C-C str. และค่า X-loading weight ที่สูงที่สุดของ PLS Factor 2 อยู่ที่ช่วงคลื่น 919 nm เป็นการสันสะเทือนพันธะ C-H str. third overtone. และค่า X-loading weight ที่สูงที่สุดของ PLS Factor 3 อยู่ที่ช่วงคลื่น 953

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

nm เป็นการสั่นสะเทือนพันธะ O-H str. Second overtone. และค่า X-loading weight ที่สูงที่สุดของ PLS Factor 4 อยู่ที่ช่วงคลื่น 758 nm เป็นการสั่นสะเทือนพันธะ O-H str. third overtone. และค่า X-loading weight ที่สูงที่สุดของ PLS Factor 5 อยู่ที่ช่วงคลื่น 997 nm เป็นการสั่นสะเทือนพันธะ O-H str. third overtone. ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการสั่นสะเทือนของ O-H และ C-H มีผลต่อการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง



ภาพที่ 4.13 กราฟ Regression coefficient plot ของแบบจำลองสำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออนไลน์



ภาพที่ 4.14 กราฟ X-loading weight plot ของแบบจำลองสำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออนไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ช่วงคลื่นที่สำคัญจากกราฟ Regression coefficient plot และ X-loading weight plot ของแบบจำลอง สำหรับการประเมินค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออนไลน์

Regression Coefficient				
Wavelength (nm)	Wavelength (nm) referred form reference[10]	Bond vibration		Structure
754	760	O-H str. third overtone		H <sub>2</sub> O
814	815	N-H str. third overtone		RNHR'
860	874	C-H str. third overtone		benzene
919	913	C-H str. third overtone		CH <sub>2</sub>
953	970	O-H str. Second overtone		ROH, H <sub>2</sub> O
979	970	O-H str. Second overtone		ROH, H <sub>2</sub> O
991	990	O-H str. Second overtone		starch
X-loading Weight				
Wavelength (nm)	Wavelength (nm) referred form reference[10]	PLS latent variable	Bond vibration	Structure
758	760	4	O-H str. third overtone	H <sub>2</sub> O
837	840	1	3xC-Hstr. +2xC-C str.	benzene
919	913	2	C-H str. third overtone	CH <sub>2</sub>
953	970	3	O-H str. Second overtone	ROH, H <sub>2</sub> O
969	970	5	O-H str. Second overtone	ROH, H <sub>2</sub> O
997	990	5	O-H str. Second overtone	starch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย

### 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม

จากการสังเกตสเปกตรัมดั้งเดิม (raw spectrum) ที่เกิดจากการดูดกลืนคลื่นของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ช่วง wavenumber 9400–5400  $\text{cm}^{-1}$  เป็นพีคของน้ำและสตาร์ชเด่นชัดและด้วย UV-VIS-NIR spectrometer (AvaSpec-ULS2048-USB2-VA-50, AVANTES, Netherlands) ที่ช่วง 700–1000 nm พบว่า สเปกตรัมดั้งเดิมเกิดพีคการดูดกลืนคลื่นของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่เป็นพีคของน้ำและสตาร์ชเช่นกัน

### 5.2 สรุปผลการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

จากการทดลองพบว่าแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยแบบออนไลน์มีลักษณะดังนี้ เลือกใช้ช่วงคลื่นที่ 9403.8–5446.3  $\text{cm}^{-1}$  ใช้ Factor จำนวน 4 factor โดยข้อมูลชุด Calibration มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.89 ค่า RMSEC เท่ากับ 2.48% dry matter และค่า RPD เท่ากับ 3.02 และข้อมูลชุด Validation ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.95 ค่า RMSEP เท่ากับ 2.18% dry matter Bias เท่ากับ -0.167% dry matter และ RPIQ เท่ากับ 5.74 ส่วนแบบออนไลน์มีลักษณะดังนี้ เลือกใช้ช่วงคลื่นที่ 700–1000 nm ใช้ Factor จำนวน 5 factor โดยข้อมูลชุด Calibration มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.87 ค่า และค่า RMSEC เท่ากับ 2.84% dry matter และข้อมูลชุด Validation ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.83 ค่า RMSEP เท่ากับ 4.32% dry matter Bias เท่ากับ 1.25% dry matter และ RPIQ เท่ากับ 3.34 และแบบออนไลน์ ใช้ได้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่รวมถึงการประกันคุณภาพเนื่องจากค่า  $R^2$  ของชุด Validation อยู่ในช่วง 0.92–0.96 และ RPIQ ของชุด Validation อยู่ในช่วง 4.1+ ส่วนแบบออนไลน์ ยอมรับได้ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่รวมถึงการวิจัยใช้ควบคุมคุณภาพได้ เนื่องจากค่า  $R^2$  ของชุด Validation อยู่ในช่วง 0.83–0.90 และ RPIQ ของชุด Validation อยู่ในช่วง 3.0–3.4

### 5.3 ผลจาก Regression coefficient plot และ X-loading plot

จาก Regression coefficient plot และ X-loading plot พบว่ากรณีของ FT-NIR spectrometer ซึ่งเป็นแบบออฟไลน์ใช้ ความยาวคลื่นทั้งช่วงคลื่นสั้นและช่วงคลื่นยาว ( 700-2500 nm) การดูดซับคลื่นที่ 1450 nm ( $6897\text{ cm}^{-1}$ ) ซึ่ง เป็นการสั่นสะเทือนของน้ำและสตาร์ช มีผลต่อการทำนายปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองสูงที่สุด ในกรณีของ UV-VIS-NIR spectrometer ซึ่งมีช่วงคลื่นสั้น (700 – 1000 nm) มีการดูดซับคลื่นที่ 760 nm และ 986 nm ตามลำดับเป็นการสั่นสะเทือนของน้ำและสตาร์ช มีผลต่อการทำนายปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองสูงที่สุด

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการสร้างแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออฟไลน์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิจัยและประกันคุณภาพได้ ถ้าหากต้องการความแม่นยำที่มากกว่านี้ควรมีการเพิ่มตัวอย่าง และมีการตัดตัวอย่างนอกกลุ่มออก เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุด และแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบออนไลน์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ หากต้องการความแม่นยำที่มากขึ้น ควรมีการคัดเลือกขนาดของตัวอย่าง ก่อนการสแกนและเพิ่มตัวอย่างและตัดตัวอย่างนอกกลุ่มออก

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics. 2017. “Statistics of fresh durian export Data source”: (Accessed on January 18.2017.) [Online]. Available; [http://www.oae.go.th/oae\\_report/export\\_import/export\\_result.php](http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php).
- [2] ชินวัฒน์ ยั้ววัฒนพันธ์ “ทุเรียน” ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน พิมพ์ครั้งแรกปี พศ. 2551 โรงพิมพ์ เอช เอ็น กรู๊ป จำกัด 496 ซอยโชคชัย งามจำเริญ ถนน สาธุประดิษฐ์ บางโพงพาง ยานนาวากรุงเทพฯ โทรศัพท์ 022295-35446
- [3] หนังสือสารานุกรมไทย สำหรับเยาวชน เล่ม 28 (2547) “การเก็บเกี่ยว”, ศูนย์วิจัยพืชสวน จันทบุรี
- [4] บรรณ บวรณะชนบท. สวนทุเรียน.”คุณค่าทางอาหาร” พิมพ์ครั้งที่ 6. นนทบุรี : ศูนย์ผลิต ตำราเกษตรเพื่อชนบท 2542.
- [5] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์,เกียรติคุณและนิธิยา รัตนานนท์ 2010 - 2018 Food Network Solution Co., Ltd. ”Cellulose” ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร [Online].Available: (<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0612/cellulose>)
- [6] โอกาส ขอบรส 2560 หัวหน้ากลุ่มงานส่งเสริมพัฒนาผลผลิต สำนักงานเกษตร”เปอร์เซ็นต์แป้งไม่ต่ำกว่า 32%” จ.ตราด [Online]. Available; <http://www.77jowo.com/contents/12319>
- [7] โมไนย ไกรฤกษ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การสัมมนาในหัวข้อ “การพัฒนาและส่งเสริมเทคโนโลยีการตรวจสอบย้อนกลับ” วันที่ 18 มีนาคม 2554 โรงแรมสยามซิตี
- [8] ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, 2556. “เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร”. [Online].Available: [www.nirsresearch.com](http://www.nirsresearch.com).
- [9] Williams, P. 2007. “Near-infrared Technology-Getting the Best Out of Light.” PDK Grain, Nanaimo, British Columbia, and Winnipeg, Manitoba, Canada.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] B.G. Osborne, T. Fearn and P.H. Hindle. “**Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis**”. Second edition. Longman Singapore Publishers. 1993.
- [11] Neamsorn, N. , Terdwongworakul, A. , 2004. “**Nondestructive Maturity Measurement of “Montong” Durian Using Stem Strength and Resonant Frequency**”. Engineering KKU. 33, 555-563.
- [12] Timkhum P., Terdwongworakul A. 2012. “**Non-destructive classification of durian maturity of ‘Monthong’ cultivar by means of visible spectroscopy of the spine.**” Journal of Food Engineering, 112(4), 263-267
- [13] Osborne B.G. and Fearn T. “**Near infrared spectroscopy in food analysis**”. 1st Ed. Longman Science & Technical. UK, Inc. 1986.
- [14] Kuson P., Terdwongworakul A. 2013. “**Minimally-destructive evaluation of durian maturity based on electrical impedance measurement**”. Journal of Food Engineering, 116(1), 50-56.
- [15] Miralbes C., 2004. “**Quality control in the milling industry using near infrared transmittance spectroscopy.**” Food Chemistry of Analytical, Nutritional and Clinical Methods, 88: 621-628.
- [16] Camps C., Toussirot M., Quennoz M., Simonnet X. 2011. “**Determination of artemisinin and moisture content of Artemisia annua L. dry powder using a handheld near infrared spectroscopy device.**” J. Near Infrared Spectroscopy, 19: 191–198.
- [17] Onsawai, S., Sirisomboon, P., 2015. “**Determination of dry matter and soluble solids of durian pulp using Diffuse reflectance near infrared spectroscopy**”. JOURNAL OF NEAR INFRARED SPECTROSCOPY 23, 167-179.
- [18] Dardenne P., "Some considerations about NIR spectroscopy": Closing speech at NIR-2009" (2009). [Online]. Available ;<https://www.impublications.com/content/some-consideration-about-nir-spectroscopy>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลองเบื้องต้น

ตารางแสดงค่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter) ของวิธีอ้างอิงในการทำการทดลองเบื้องต้น

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)					MC(%)	DM(%)
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4	5		
1	1	15.3199	19.661	4.3411	16.9057	16.876	16.8609	16.8506	16.8348	65.10331483	34.89668517
	2	15.1982	19.8366	4.6384	16.9851	16.9318	16.9096	16.8961	16.8766	63.81510866	36.18489134
2	1	15.3297	20.0166	4.6869	17.1587	17.0782	17.0524	17.0387	17.0194	63.94845207	36.05154793
	2	15.1823	19.8309	4.6486	17.0824	17.0368	17.0133	16.9986	16.9781	61.36901433	38.63098567
3	1	15.3326	19.8697	4.5371	17.0469	17.0137	16.9989	16.9893	16.9763	63.77201296	36.22798704
	2	14.5272	18.5264	3.9992	16.0219	15.9993	15.9864	15.9775	15.9657	64.03030606	35.96969394

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

ตารางแสดงค่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter) ของวิธีอ้างอิงของวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2560

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	15.4392	19.4494	4.0102	17.2272	17.2236	17.2196	17.2183	55.635629	44.364371	44.5553
	2	15.5455	19.7769	4.2314	17.4452	17.4422	17.4397	17.4389	55.25358	44.74642	
2	1	15.5303	20.2227	4.6924	17.5627	17.5593	17.5536	17.5516	56.923962	43.076038	43.0626
	2	15.5264	21.0761	5.5497	17.9254	17.9208	17.9177	17.9155	56.950826	43.049174	
3	1	14.8411	19.9190	5.0779	17.0918	17.0864	17.0807	17.0793	55.922724	44.077276	44.2993
	2	15.7712	20.8757	5.1045	18.0543	18.0501	18.0452	18.0438	55.478499	44.521501	
4	1	15.4427	20.6710	5.2283	17.7300	17.7236	17.7183	17.7161	56.517415	43.482585	43.6187
	2	15.1338	20.7791	5.6453	17.6224	17.6147	17.6071	17.6039	56.245018	43.754982	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
5	1	14.9505	19.3283	4.3778	16.8255	16.8216	16.818	16.816	57.387272	42.612728	42.8019
	2	15.4715	19.7547	4.2832	17.3217	17.3173	17.3131	17.3129	57.008778	42.991222	
6	1	15.6253	21.1292	5.5039	18.1386	18.1338	18.1291	18.1265	54.55586	45.44414	45.3470
	2	15.8167	20.8355	5.0188	18.0963	18.0911	18.0881	18.0877	54.750139	45.249861	
7	1	17.0398	22.7657	5.7259	19.6145	19.6084	19.6022	19.5986	55.311829	44.688171	44.4353
	2	15.1094	20.9203	5.8109	17.6919	17.685	17.6799	17.6768	55.817515	44.182485	
8	1	14.8562	20.3599	5.5037	17.2974	17.292	17.2852	17.283	55.906027	44.093973	44.1294
	2	15.2187	20.6651	5.4464	17.634	17.6296	17.6257	17.6241	55.835047	44.164953	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
9	1	15.2346	20.672	5.4374	17.5427	17.5374	17.5316	17.5294	57.796005	42.203995	42.4401
	2	14.9915	19.8176	4.8261	17.0607	17.0564	17.0533	17.0511	57.323719	42.676281	
10	1	15.5566	20.9632	5.4066	17.84884	17.8439	17.8405	17.839	57.78493	42.21507	42.0779
	2	15.209	21.1469	5.9379	17.7096	17.7053	17.6996	17.6994	58.059247	41.940753	
11	1	18.0244	22.8454	4.8210	20.1388	20.1333	20.1288	20.1286	56.353454	43.646546	43.6261
	2	15.3721	20.7542	5.3821	17.7304	17.7247	17.7212	17.719	56.394344	43.605656	
12	1	15.4344	21.5314	6.0970	18.0186	18.012	18.0078	18.004	57.854683	42.145317	42.4320
	2	15.0257	20.1602	5.1345	17.2293	17.2247	17.2208	17.2191	57.281137	42.718863	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
13	1	14.738	20.1922	5.4542	17.1198	17.1145	17.1117	17.1097	56.516079	43.483921	43.6156
	2	15.9051	21.8938	5.9887	18.5363	18.5312	18.526	18.525	56.252609	43.747391	
14	1	14.6989	20.6127	5.9138	17.3907	17.3814	17.3742	17.3699	54.834455	45.165545	44.7260
	2	15.2113	20.3106	5.0993	17.486	17.4775	17.4723	17.4696	55.713529	44.286471	
15	1	14.9258	19.4821	4.5563	16.8063	16.8028	16.7994	16.7983	58.903057	41.096943	41.1354
	2	15.3405	20.8515	5.5110	17.621	17.6167	17.6111	17.6096	58.825984	41.174016	
16	1	15.3789	20.4681	5.0892	17.57	17.5655	17.5596	17.5565	57.21135	42.78865	42.6827
	2	14.9838	20.5683	5.5845	17.3753	17.3693	17.3635	17.3615	57.423225	42.576775	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
17	1	15.7956	20.4544	4.6588	17.736	17.7326	17.728	17.7267	58.549412	41.450588	41.7005
	2	15.5147	21.215	5.7003	17.9165	17.9114	17.9069	17.906	58.049576	41.950424	
18	1	14.7954	20.085	5.2896	16.9904	16.9822	16.9778	16.974	58.813521	41.186479	41.2435
	2	15.3519	20.8557	5.5038	17.6392	17.6334	17.6275	17.625	58.699444	41.300556	
19	1	15.003	20.8311	5.8281	17.5932	17.5896	17.5831	17.5827	55.736861	44.263139	44.4806
	2	15.076	21.0051	5.9291	17.737	17.7322	17.727	17.7262	55.301816	44.698184	
20	1	15.8705	21.0022	5.1317	18.1457	18.1393	18.1343	18.131	55.95027	44.04973	43.7881
	2	14.5841	20.3268	5.7427	17.0963	17.0912	17.0844	17.0837	56.473436	43.526564	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
21	1	15.5283	21.0746	5.5463	18.0966	18.0894	18.0818	18.0815	53.965707	46.034293	45.9409
	2	18.3885	23.5687	5.1802	20.7767	20.7713	20.7649	20.7635	54.152349	45.847651	
22	1	15.691	21.0383	5.3473	18.0082	18.0014	17.997	17.9948	56.916575	43.083425	43.0036
	2	16.0317	21.7192	5.6875	18.4845	18.4798	18.4743	18.473	57.076044	42.923956	
23	1	15.0337	20.7265	5.6928	17.3172	17.3132	17.3088	17.3077	60.054806	39.945194	39.9499
	2	15.546	21.3676	5.8216	17.8817	17.8758	17.8722	17.872	60.045348	39.954652	
24	1	15.3773	20.4064	5.0291	17.6099	17.604	17.6002	17.5981	55.841005	44.158995	44.4239
	2	14.5644	19.859	5.2946	16.9414	16.9355	16.9321	16.9305	55.311072	44.688928	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
25	1	15.6125	21.693	6.0805	18.2753	18.2678	18.2619	18.2585	56.483842	43.516158	43.4184
	2	15.5558	21.2893	5.7335	18.0538	18.0484	18.0417	18.0396	56.679166	43.320834	
26	1	15.124	20.8932	5.7692	17.7064	17.704	17.6999	17.6985	55.375095	44.624905	44.6536
	2	15.2069	21.1824	5.9755	17.8867	17.8825	17.878	17.8769	55.317547	44.682453	
27	1	15.3929	20.1018	4.7089	17.5266	17.5224	17.5178	17.516	54.913037	45.086963	45.4215
	2	14.6995	19.5205	4.8210	16.9191	16.9127	16.907	16.9054	54.243933	45.756067	
28	1	15.6919	20.9503	5.2584	17.8792	17.8732	17.8677	17.8643	58.687053	41.312947	41.6404
	2	15.3677	20.8252	5.4575	17.6685	17.6634	17.6607	17.6581	58.032066	41.967934	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
29	1	15.3729	20.7254	5.3525	17.8162	17.8125	17.8093	17.8083	54.499766	45.500234	45.2481
	2	16.011	20.8972	4.8862	18.2159	18.2142	18.2099	18.2096	55.003889	44.996111	
30	1	14.8853	20.3771	5.4918	17.3719	17.3645	17.3587	17.3561	55.009287	44.990713	45.0524
	2	15.7016	21.3149	5.6133	18.2469	18.2409	18.2364	18.234	54.885718	45.114282	
31	1	15.4784	20.6779	5.1995	17.7994	17.7954	17.7921	17.7908	55.526493	44.473507	44.5894
	2	18.1616	23.2252	5.0636	20.4326	20.4289	20.426	20.4253	55.294652	44.705348	
32	1	14.9772	19.8867	4.9095	17.1702	17.1669	17.1633	17.162	55.498523	<b>44.50148</b>	44.3385
	2	15.9224	21.6201	5.6977	18.4498	18.444	18.4414	18.4394	55.82428	<b>44.17572</b>	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
33	1	14.6694	20.506	5.8366	17.1601	17.1556	17.1509	17.1488	57.519789	42.48021	42.5930
	2	15.5359	20.8066	5.2707	17.7957	17.7921	17.7893	17.7868	57.294098	42.7059	
34	1	15.2976	20.8862	5.5886	17.8831	17.8775	17.8756	17.8746	53.888273	46.11173	45.4420
	2	14.898	19.7865	4.8885	17.0954	17.0915	17.0884	17.0867	55.227575	44.77243	

ตารางแสดงค่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter) ของวิธีอ้างอิงของวันที่ 21 กันยายน พ.ศ. 2560

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	15.7317	20.911	5.1793	18.3867	17.9697	17.9697		56.789528	43.210472	43.2739
	2	14.6687	19.3748	4.7061	17.0456	16.7105	16.7082		56.662629	43.337371	
2	1	15.5037	20.5331	5.0294	17.9843	17.7357	17.7357		55.620949	44.379051	44.4208
	2	14.9331	19.781	4.8479	17.3869	17.0891	17.0886		55.537449	44.462551	
3	1	15.0841	19.6342	4.5501	17.0064	16.8535	16.8517		61.152502	38.847498	38.8517
	2	15.7708	21.215	5.4442	17.9687	17.8873	17.8862		61.14397	38.85603	
4	1	15.821	21.2812	5.4602	18.3727	18.1927	18.1923		56.571188	43.428812	43.2061
	2	14.4989	19.1223	4.6234	16.5764	16.4871	16.4862		57.016481	42.983519	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
5	1	15.6711	21.3038	5.6327	18.3794	18.0364	18.0356		58.021908	41.978092	42.4102
	2	15.4604	20.8854	5.4250	17.8965	17.7856	17.7846		57.157604	42.842396	
6	1	15.4248	19.5205	4.0957	17.3757	17.1727	17.1709		57.367483	42.632517	43.1841
	2	15.4515	19.7274	4.2759	17.5755	17.3229	17.3216		56.264178	43.735822	
7	1	15.8545	20.5392	4.6847	17.9841	17.8499	17.8493		57.418832	42.581168	42.2357
	2	15.2037	19.6854	4.4817	17.2746	17.0824	17.0811		58.109646	41.890354	
8	1	15.4099	20.394	4.9841	17.5673	17.3217	17.3227		61.621958	38.378042	38.3828
	2	15.1783	19.6498	4.4715	16.9727	16.8954	16.8948		61.612434	38.387566	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
9	1	15.2051	19.8393	4.6342	17.3785	17.0867	17.0858		59.416944	40.583056	40.5410
	2	15.8734	21.2108	5.3374	18.3211	18.0361	18.035		59.500881	40.499119	
10	1	14.939	20.0431	5.1041	17.3176	17.1252	17.1234		57.203033	42.796967	42.6406
	2	15.4136	20.6826	5.2690	17.8178	17.653	17.6521		57.515658	42.484342	
11	1	17.8754	22.6456	4.7702	20.0043	19.8991	19.8987		57.584588	42.415412	42.3067
	2	15.3409	20.5556	5.2147	17.7854	17.5423	17.5414		57.801983	42.198017	
12	1	15.3778	20.7012	5.3234	17.8556	17.6051	17.6047		58.167712	41.832288	20.9161
	2	15.5129	21.462	5.9491	18.2641	18.0458	18.0446		57.443983	42.556017	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
13	1	15.5003	20.5205	5.0202	17.7521	17.5441	17.5438		59.29445	40.70555	40.7054
	2	15.5602	20.5507	4.9905	17.7329	17.592	17.5916		59.29466	40.70534	

ตารางแสดงค่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter) ของวิธีอ้างอิงของวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2560

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	15.0242	20.6087	5.5845	17.3166	17.311	17.3109		59.052735	40.947265	40.7023
	2	15.559	21.2393	5.6803	17.8636	17.8578	17.8571		59.54263	40.45737	
2	1	15.5827	20.9075	5.3248	17.7251	17.7218	17.7204		59.853891	40.146109	39.9519
	2	15.5982	20.7303	5.1321	17.6428	17.6388	17.6386		60.242396	39.757604	
3	1	15.8306	21.5723	5.7417	17.9848	17.9816	17.9809		62.549419	37.450581	37.5456
	2	14.5546	20.2442	5.6896	16.7008	16.6962	16.6962		62.359393	37.640607	
4	1	15.5922	20.8702	5.2780	17.766	17.7628	17.7628		58.874574	41.125426	40.8857
	2	18.1024	23.8823	5.7799	20.4554	20.4525	20.4517		59.353968	40.646032	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
5	1	17.0333	22.8577	5.8244	19.3481	19.3428	19.3419	60.363299	39.636701	39.7932	
	2	15.7047	21.3075	5.6028	17.9477	17.9437	17.943	60.050332	39.949668		
6	1	18.3224	23.6946	5.3722	20.5035	20.4965	20.4959	59.541715	40.458285	40.6747	
	2	15.2507	20.1053	4.8546	17.2392	17.2358	17.2358	59.108886	40.891114		
7	1	14.6981	20.4093	5.7112	17.0082	17.0041	17.0008	59.680978	40.319022	40.038	
	2	15.5439	20.4258	4.8819	17.4885	17.4848	17.4848	60.242938	39.757062		
8	1	15.3794	21.116	5.7366	17.6135	17.608	17.6076	61.158177	38.841823	38.7335	
	2	15.3624	20.544	5.1816	17.3663	17.3649	17.3638	61.374865	38.625135		

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
9	1	15.2473	20.9477	5.7004	17.5118	17.5078	17.5075		60.350151	39.649849	39.5039
	2	14.9728	19.8826	4.9098	16.9098	16.9056	16.9052		60.641981	39.358019	
10	1	15.9684	21.7929	5.8245	18.2436	18.239	18.239		61.016396	38.983604	38.9006
	2	15.8041	21.9902	6.1861	18.2165	18.2106	18.2054		61.182328	38.817672	
11	1	14.6888	20.3407	5.6519	16.7907	16.7869	16.7829		62.948743	37.051257	37.1866
	2	15.5126	20.5816	5.0690	17.4127	17.4064	17.40445		62.678043	37.321957	
12	1	15.5286	21.5457	6.0171	17.8476	17.8422	17.8407		61.574513	38.425487	39.1034
	2	16.0228	22.1425	6.1197	18.4632	18.4594	18.4573		60.218638	39.781362	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
13	1	18.4342	23.4043	4.9701	20.2851	20.2817	20.2749	62.964528	37.035472	37.0023	
	2	14.918	19.8743	4.9563	16.7586	16.7552	16.7503	63.03089	36.96911		
14	1	17.9906	22.9445	4.9539	20.1389	20.1359	20.1316	56.781526	43.218474	43.2118	
	2	15.0893	19.72	4.6307	17.0962	17.0924	17.09	56.794869	43.205131		
15	1	18.2791	22.5137	4.2346	20.0827	20.0788	20.0779	57.521372	42.478628	42.5991	
	2	15.0071	20.4814	5.4743	17.3556	17.3508	17.3457	57.280383	42.719617		
16	1	15.1039	20.101	4.9971	17.2589	17.2546	17.2526	57.001061	42.998939	43.2607	
	2	14.7241	20.0409	5.3168	17.0475	17.0425	17.0381	56.47758	43.52242		

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
17	1	15.0099	20.5733	5.5634	17.3757	17.3707	17.3683		57.608657	42.391343	41.6713
	2	15.422	20.6404	5.2184	17.5673	17.5629	17.559		59.048751	40.951249	
18	1	15.4086	20.5342	5.1256	17.4546	17.4513	17.4488		60.19588	39.80412	40.1545
	2	14.86	20.0537	5.1937	16.9705	16.9675	16.9637		59.495158	40.504842	
19	1	14.9775	19.4396	4.4621	16.8215	16.8184	16.8176		58.76157	41.23843	41.2098
	2	15.0526	19.7618	4.7092	16.9994	16.9961	16.9919		58.818908	41.181092	
20	1	15.928	20.3572	4.4292	17.8116	17.8086	17.8062		57.595051	42.404949	42.6247
	2	15.5781	20.2193	4.6412	17.5718	17.5681	17.5666		57.155477	42.844523	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
21	1	15.3974	20.028	4.6306	17.3345	17.3276	17.3273	58.322896	41.677104	41.6532	
	2	15.264	20.0258	4.7618	17.2505	17.2481	17.2463	58.370784	41.629216		
22	1	18.1406	23.2496	5.1090	20.2546	20.2534	20.2507	58.698375	41.301625	41.1606	
	2	15.334	20.0988	4.7648	17.2927	17.2899	17.2885	58.98044	41.01956		

ตารางแสดงค่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter) ของวิธีอ้างอิงของวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2560

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	15.4289	20.8551	5.4262	17.644	17.5772	17.5757	60.4364012	39.5635988	39.7576	
	2	15.1981	20.4492	5.2511	17.3591	17.2975	17.296	60.0483708	39.9516292		
2	1	15.2897	20.6219	5.3322	17.5736	17.4867	17.4848	58.833127	41.166873	40.9023	
	2	15.3823	20.1215	4.7392	17.3891	17.3092	17.3082	59.3623396	40.6376604		
3	1	15.1851	19.7726	4.5875	17.1311	17.06	17.059	59.1520436	40.8479564	40.4418	
	2	15.4746	20.7394	5.2648	17.6626	17.5837	17.5824	59.9642911	40.0357089		
4	1	15.7313	20.5659	4.8346	17.8406	17.7724	17.7714	57.8020932	42.1979068	41.9862	
	2	15.5237	20.4693	4.9456	17.6628	17.5912	17.5897	58.2254934	41.7745066		

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
5	1	15.9665	20.5994	4.6329	17.8197	17.7622	17.7616	61.2532107	38.7467893	38.5899	
	2	14.9421	19.4515	4.5094	16.7322	16.6764	16.6752	61.566949	38.433051		
6	1	15.901	20.6528	4.7518	17.8518	17.7937	17.7921	60.2024496	39.7975504	39.9877	
	2	15.6571	20.4727	4.8156	17.6594	17.5933	17.5919	59.8222444	40.1777556		
7	1	15.4347	20.4836	5.0489	17.7006	17.6023	17.6005	57.1035275	42.8964725	42.6219	
	2	17.7995	22.2973	4.4978	19.767	19.7054	19.7042	57.6526302	42.3473698		
8	1	15.2155	20.232	5.0165	17.2109	17.1517	17.1502	61.4332702	38.5667298	39.275	
	2	14.7068	19.5811	4.8743	16.7311	16.6567	16.6557	60.0168229	39.9831771		

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
9	1	15.4949	19.9705	4.4756	17.3261	17.2729	17.2713	60.3092323	39.6907677	39.7034	
	2	15.2532	19.5789	4.3257	17.0212	16.9723	16.9712	60.2838847	39.7161153		

ตารางแสดงค่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter) ของวิธีอ้างอิงของวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2560

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	15.0933	20.1478	5.0545	16.9575	16.9567			63.133841	36.866159	37.044
	2	15.7116	20.6947	4.9831	17.5669	17.5664			62.77819	37.22181	
2	1	15.4428	19.9977	4.5549	17.0471	17.0465			64.791763	35.208237	35.85
	2	15.4442	20.0466	4.6024	17.1244	17.1237			63.50817	36.49183	
3	1	15.8017	20.4154	4.6137	17.533	17.5298			62.544162	37.455838	37.4023
	2	14.9754	20.0227	5.0473	16.8608	16.8605			62.651319	37.348681	
4	1	14.5806	20.1328	5.5522	16.5627	16.5618			64.316847	35.683153	35.9038
	2	15.3303	20.7654	5.4351	17.295	17.2937			63.87555	36.12445	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
5	1	14.5913	19.1725	4.5812	16.4631	16.4625			59.154807	40.845193	40.5965
	2	15.2958	19.9776	4.6818	17.1871	17.1848			59.65227	40.34773	
6	1	15.9503	20.2886	4.3383	17.6382	17.6373			61.1138	38.8862	38.8702
	2	15.5262	20.9045	5.3783	17.6179	17.6159			61.145715	38.854285	
7	1	15.3294	20.7764	5.4470	17.4832	17.4824			60.473655	39.526345	39.1514
	2	15.0235	20.0941	5.0706	16.9913	16.9897			61.223524	38.776476	
8	1	17.0483	22.3784	5.3301	19.2313	19.2294			59.079567	40.920433	40.9269
	2	14.6742	19.8448	5.1706	16.7918	16.7907			59.066646	40.933354	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
9	1	15.5069	20.8558	5.3489	17.6069	17.6064			60.748939	39.251061	39.2048
	2	16.0482	20.8497	4.8015	17.9298	17.9284			60.841404	39.158596	
10	1	15.0929	20.3702	5.2773	17.1369	17.1369			61.268073	38.731927	38.7438
	2	15.2475	20.1655	4.9180	17.155	17.1535			61.244408	38.755592	
11	1	18.1202	23.2761	5.1559	20.0664	20.0649			62.282046	37.717954	37.7382
	2	18.2766	23.6934	5.4168	20.3241	20.3219			62.241545	37.758455	
12	1	15.8052	21.5965	5.7913	18.0969	18.095			60.461382	39.538618	39.8064
	2	15.5775	21.3161	5.7386	17.8798	17.8772			59.925766	40.074234	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
13	1	15.5725	20.9353	5.3628	17.7918	17.79			58.650332	41.349668	41.0797
	2	15.0093	20.2235	5.2142	17.1387	17.1372			59.190288	40.809712	

ตารางแสดงค่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter) ของวิธีอ้างอิงของวันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	15.128	20.777	5.649	16.0289	16.0254	16.0249	84.12285	15.87715	15.97432	
	2	14.8191	20.4477	5.6286	15.7275	15.7242	15.7237	83.92851	16.07149		
2	1	14.6138	19.5571	4.9433	15.604	15.6001	15.6	80.04976	19.95024	20.05004	
	2	14.9986	19.8572	4.8586	15.9815	15.9784	15.9776	79.85016	20.14984		
3	1	15.5293	19.8086	4.2793	16.3517	16.3487	16.3476	80.87771	19.12229	19.38184	
	2	15.4687	20.4602	4.9915	16.4526	16.4495	16.4491	80.35861	19.64139		
4	1	15.1389	19.9958	4.8569	16.0317	16.0291	16.0281	81.69203	18.30797	17.94876	
	2	15.3986	20.5329	5.1343	16.3058	16.3036	16.3017	82.41046	17.58954		

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
5	1	18.2878	23.6356	5.3478	19.3067	19.3034	19.3026	81.02397	18.97603	18.78686	
	2	15.4504	20.3623	4.9119	16.3685	16.3654	16.3639	81.40231	18.59769		
6	1	15.9609	20.0219	4.061	16.8499	16.8449	16.8431	78.27629	21.72371	21.71776	
	2	15.487	19.8473	4.3603	16.436	16.4342	16.4337	78.28819	21.71181		
7	1	15.6488	20.1884	4.5396	16.5387	16.5353	16.5341	80.49828	19.50172	18.97757	
	2	14.9826	19.876	4.8934	15.8894	15.8866	15.8856	81.54657	18.45343		
8	1	15.1354	19.393	4.2576	16.4259	16.4193	16.4179	69.8774	30.1226	29.74148	
	2	16.0928	20.4405	4.3477	17.3762	17.3708	17.3693	70.63965	29.36035		

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
9	1	15.2253	20.1076	4.8823	16.2755	16.2711	16.2702	78.5982	21.4018	22.01928	
	2	15.0107	19.8674	4.8567	16.1158	16.1113	16.1101	77.36323	22.63677		
10	1	15.511	19.7277	4.2167	16.3768	16.3738	16.3729	79.55985	20.44015	20.53915	
	2	16.1063	20.9328	4.8265	17.1052	17.1029	17.1024	79.36186	20.63814		
11	1	15.2202	20.3424	5.1222	16.9604	16.9499	16.9476	66.27621	33.72379	33.73722	
	2	15.5153	20.3398	4.8245	17.1535	17.1458	17.1436	66.24935	33.75065		
12	1	15.4451	20.0908	4.6457	16.7879	16.7825	16.7814	71.23577	28.76423	29.54667	
	2	16.6743	21.6695	4.9952	18.2002	18.1923	18.1893	69.67088	30.32912		

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
13	1	16.118	20.3321	4.2141	17.3752	17.3681	17.3665	70.37327	29.62673	29.83668	
	2	14.7915	19.1241	4.3326	16.1	16.0942	16.0933	69.95338	30.04662		
14	1	15.3704	19.7787	4.4083	16.7992	16.7913	16.789	67.81979	32.18021	32.11725	
	2	14.88	19.3599	4.4799	16.3283	16.3189	16.316	67.94571	32.05429		
15	1	15.4194	19.7337	4.3143	17.0511	17.0406	17.0377	62.48986	37.51014	37.40865	
	2	14.8666	19.1446	4.278	16.4792	16.4666	16.4626	62.69285	37.30715		
16	1	16.5453	21.4828	4.9375	18.1811	18.1709	18.167	67.15544	32.84456	32.5573	
	2	15.1706	20.5	5.3294	16.9018	16.8928	16.8904	67.72995	32.27005		

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
17	1	15.8794	20.7361	4.8567	17.13	17.1233	17.1215		74.42502	25.57498	26.49546
	2	18.202	22.5502	4.3482	19.4023	19.3958	19.3941		72.58406	27.41594	
18	1	15.1562	20.5299	5.3737	17.0657	17.0556	17.053		64.70216	35.29784	35.45052
	2	16.6251	21.6988	5.0737	18.4428	18.4343	18.4315		64.39679	35.60321	
19	1	16.6756	21.4389	4.7633	18.2806	18.2723	18.2697		66.53371	33.46629	34.06234
	2	15.4118	19.9198	4.508	16.9927	16.9774	16.9742		65.34161	34.65839	
20	1	15.7757	20.4255	4.6498	17.0842	17.0772	17.0748		72.06116	27.93884	28.20087
	2	14.996	19.1558	4.1598	16.1863	16.1809	16.18		71.53709	28.46291	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
21	1	15.5316	20.096	4.5644	16.1446	16.1426	16.1424	86.61818	13.38182	13.55986	
	2	16.0462	20.8184	4.7722	16.7046	16.702	16.7018	86.2621	13.7379		
22	1	15.1662	20.3666	5.2004	15.9983	15.9961	15.9956	84.05123	15.94877	15.7294	
	2	14.6542	19.4079	4.7537	15.3945	15.3916	15.3915	84.48998	15.51002		
23	1	17.7883	22.6646	4.8763	19.1305	19.1249	19.1228	72.63294	27.36706	27.23565	
	2	15.5527	20.4678	4.9151	16.8919	16.8867	16.8849	72.89577	27.10423		
24	1	14.8784	20.4098	5.5314	16.4324	16.4264	16.4254	72.0324	27.9676	28.02751	
	2	15.6686	21.2056	5.537	17.232	17.2247	17.2238	71.91259	28.08741		

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
25	1	15.7692	20.4934	4.7242	16.426	16.4234	16.4221	86.17967	13.82033	13.62362	
	2	15.3752	19.7284	4.3532	15.9633	15.9604	15.9597	86.5731	13.4269		
26	1	15.1414	19.5999	4.4585	16.8568	16.8448	16.8415	61.86834	38.13166	37.39764	
	2	15.8405	20.6469	4.8064	17.6154	17.6053	17.6027	63.33638	36.66362		
27	1	15.166	19.4152	4.2492	15.9774	15.974	15.9729	81.01054	18.98946	18.91783	
	2	15.4091	19.9437	4.5346	16.2665	16.2638	16.2637	81.1538	18.8462		
28	1	15.5726	20.6481	5.0755	17.0389	17.0325	17.0298	71.28953	28.71047	29.04562	
	2	15.2664	20.5423	5.2759	16.8246	16.8177	16.8165	70.61923	29.38077		

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
29	1	15.2229	20.4491	5.2262	17.2793	17.2665	17.2624	60.97547	39.02453	38.70265	
	2	15.0495	19.9358	4.8863	16.9362	16.9275	16.9249	61.61922	38.38078		
30	1	17.8326	22.6763	4.8437	18.8671	18.8637	18.8628	78.73114	21.26886	21.2746	
	2	15.0013	20.2343	5.233	16.1181	16.1154	16.1149	78.71966	21.28034		
31	1	18.1805	23.3409	5.1604	19.0622	19.0589	19.0585	82.98582	17.01418	17.13446	
	2	15.11	20.2767	5.1667	16.005	16.0021	16.0015	82.74527	17.25473		
32	1	15.9794	21.1174	5.138	16.5486	16.5474	16.5462	88.96847	11.03153	10.96451	
	2	14.6832	19.9156	5.2324	15.2561	15.2545	15.2534	89.10252	10.89748		

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
33	1	15.474	19.8992	4.4252	16.046	16.0441	16.0441	87.11697	12.88303	12.86548	
	2	15.3552	19.8641	4.5089	15.9364	15.9349	15.9345	87.15208	12.84792		
34	1	14.9962	20.0343	5.0381	16.9764	16.9658	16.9638	60.94559	39.05441	39.42676	
	2	15.0576	20.1748	5.1172	17.1127	17.0975	17.0942	60.20089	39.79911		
35	1	15.2016	19.5705	4.3689	16.8708	16.8651	16.8644	61.94008	38.05992	38.06425	
	2	15.5826	19.94	4.3574	17.2511	17.2434	17.2414	61.93143	38.06857		

ตารางแสดงค่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter) ของวิธีอ้างอิงของวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	16.1658	21.8674	5.7016	16.7972	16.7953	16.795	16.794	88.98204	11.01796	11.21526
	2	15.5534	21.1411	5.5877	16.1953	16.1933	16.192	16.1911	88.58743	11.41257	
2	1	15.4734	20.7551	5.2817	16.8968	16.8875	16.8858	16.8836	73.30026	26.69974	26.81887
	2	15.7487	21.1318	5.3831	17.2216	17.2065	17.2029	17.1988	73.06199	26.93801	
3	1	15.3952	20.2863	4.8911	16.6146	16.606	16.6052	16.6039	75.28777	24.71223	24.65171
	2	14.7451	19.6985	4.9534	15.9725	15.9667	15.9639	15.9632	75.40881	24.59119	
4	1	15.1571	19.2493	4.0922	16.7472	16.7315	16.7274	16.7265	61.64899	38.35101	38.12054
	2	15.2151	19.3489	4.1338	16.8047	16.787	16.7824	16.7814	62.10992	37.89008	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
5	1	14.6906	18.8105	4.1199	15.303	15.2997	15.2988	15.2984	85.24721	14.75279	14.85191
	2	16.3391	20.4231	4.084	16.9548	16.9528	16.9505	16.9497	85.04897	14.95103	
6	1	14.9944	19.1686	4.1742	16.6742	16.6535	16.6496	16.6457	60.44032	39.55968	39.86861
	2	15.0165	19.072	4.0555	16.6793	16.6534	16.6484	16.6459	59.82246	40.17754	
7	1	14.8803	20.4595	5.5792	15.5055	15.5028	15.5022	15.5016	88.86399	11.13601	11.12326
	2	15.2802	20.9595	5.6793	15.9154	15.914	15.9133	15.9112	88.88948	11.11052	
8	1	15.1147	19.8845	4.7698	17.1443	17.1032	17.0958	17.0921	58.54334	41.45666	41.40294
	2	15.4502	20.2515	4.8013	17.4711	17.4448	17.4373	17.4355	58.65078	41.34922	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
9	1	14.9717	19.1081	4.1364	16.6802	16.6527	16.6483	16.6427	59.60255	40.39745	40.02332
	2	15.6122	19.9679	4.3557	17.3737	17.3481	17.3426	17.3392	60.3508	39.6492	
10	1	14.8657	19.0722	4.2065	16.5335	16.504	16.4983	16.494	61.29086	38.70914	38.61559
	2	15.52	20.1602	4.6402	17.3507	17.316	17.3102	17.3075	61.47795	38.52205	
11	1	15.2919	20.7177	5.4258	15.822	15.8212	15.8195	15.8195	90.27609	9.723912	9.839566
	2	15.5474	20.7507	5.2033	16.0679	16.0676	16.0661	16.0654	90.04478	9.955221	
12	1	15.2024	19.5471	4.3447	16.8112	16.7902	16.7859	16.7823	63.63615	36.36385	35.69219
	2	14.9306	19.8757	4.9451	16.6999	16.6702	16.6646	16.6624	64.97947	35.02053	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
13	1	15.5013	20.95	5.4487	17.7177	17.667	17.6593	17.6554	60.4658	39.5342	38.82314
	2	15.8456	21.1329	5.2873	17.9069	17.8672	17.8639	17.8607	61.88792	38.11208	
14	1	15.0131	20.0523	5.0392	16.6123	16.5844	16.5808	16.5764	68.97722	31.02278	30.73624
	2	15.6027	20.0901	4.4874	16.9894	16.9758	16.9734	16.9691	69.5503	30.4497	
15	1	15.0215	19.3537	4.3322	16.7295	16.7049	16.7011	16.7006	61.2414	38.7586	39.2657
	2	17.7112	21.7607	4.0495	19.3519	19.3305	19.3245	19.3218	60.22719	39.77281	
16	1	15.718	20.2169	4.4989	17.5145	17.493	17.4882	17.4844	60.73707	39.26293	39.36722
	2	15.436	20.2572	4.8212	17.3758	17.3476	17.3419	17.339	60.5285	39.4715	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
17	1	15.5493	19.7489	4.1996	17.2519	17.2278	17.2232	17.2194	60.23193	39.76807	39.49416
	2	14.4722	18.553	4.0808	16.1155	16.0802	16.0745	16.0727	60.77975	39.22025	
18	1	15.4107	20.3954	4.9847	17.3559	17.3285	17.3227	17.3169	61.75898	38.24102	38.54755
	2	15.9365	20.3574	4.4209	17.6837	17.6614	17.6563	17.6542	61.14592	38.85408	
19	1	14.9175	20.3667	5.4492	16.4397	16.4255	16.4227	16.4212	72.40512	27.59488	28.1445
	2	15.363	20.5327	5.1697	16.8617	16.8506	16.8473	16.8464	71.30588	28.69412	
20	1	15.105	19.6921	4.5871	16.7861	16.7614	16.7586	16.7572	63.9816	36.0184	35.87788
	2	15.2244	19.4035	4.1791	16.7553	16.7252	16.7202	16.7179	64.26264	35.73736	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
21	1	18.0812	22.8836	4.8024	19.9928	19.9639	19.9578	19.9552	60.97784	39.02216	39.07511
	2	15.3483	19.7592	4.4109	17.1008	17.0794	17.0753	17.0742	60.87193	39.12807	
22	1	18.4584	23.6203	5.1619	20.1435	20.1197	20.1144	20.1113	67.97884	32.02116	32.24391
	2	15.3611	20.5803	5.2192	17.1002	17.0654	17.0604	17.0556	67.53334	32.46666	
23	1	15.0644	20.5233	5.4589	16.0582	16.0489	16.0458	16.0455	82.02751	17.97249	18.32009
	2	14.6669	19.6943	5.0274	15.6156	15.6088	15.6066	15.6054	81.3323	18.6677	
24	1	15.1605	20.3127	5.1522	17.2006	17.1844	17.1811	17.1796	60.81092	39.18908	38.88612
	2	15.3366	20.5736	5.237	17.3754	17.3622	17.3587	17.3572	61.41684	38.58316	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
25	1	14.631	19.4129	4.7819	16.3381	16.3227	16.319	16.3169	64.74414	35.25586	34.64157
	2	15.2338	19.677	4.4432	16.7777	16.7542	16.7497	16.7457	65.97272	34.02728	
26	1	15.5871	20.806	5.2189	16.9559	16.942	16.9392	16.9374	74.12673	25.87327	25.62118
	2	18.1489	23.4932	5.3443	19.524	19.5109	19.5082	19.5047	74.63092	25.36908	
27	1	16.1728	21.6194	5.4466	17.5862	17.5656	17.5653	17.5635	74.46664	25.53336	25.44667
	2	15.467	21.1827	5.7157	16.9343	16.9206	16.9168	16.9165	74.64003	25.35997	
28	1	18.0475	23.4654	5.4179	19.4815	19.4717	19.4697	19.4683	73.77582	26.22418	27.45937
	2	15.8145	21.6853	5.8708	17.5146	17.5018	17.5002	17.4991	71.30544	28.69456	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
29	1	15.2116	20.921	5.7094	17.2209	17.1967	17.1924	17.1897	65.35363	34.64637	33.74122
	2	15.8283	20.8423	5.014	17.5041	17.4819	17.4767	17.4747	67.16394	32.83606	
30	1	15.1331	19.5595	4.4264	16.5706	16.5589	16.556	16.5546	67.88587	32.11413	31.96814
	2	14.6295	19.5638	4.9343	16.2295	16.2058	16.201	16.1997	68.17786	31.82214	
31	1	15.2251	20.4652	5.2401	16.8847	16.8744	16.872	16.8674	68.659	31.341	31.4011
	2	16.298	21.027	4.729	17.7946	17.7887	17.7866	17.7858	68.5388	31.4612	
32	1	15.103	20.6541	5.5511	17.1771	17.147	17.1407	17.139	63.32258	36.67742	36.87868
	2	15.6136	20.8183	5.2047	17.585	17.5532	17.5476	17.5435	62.92005	37.07995	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
33	1	14.8435	20.0212	5.1777	16.5123	16.4792	16.4736	16.4696	68.59416	31.40584	31.3525
	2	17.9556	22.7864	4.8308	19.5004	19.4741	19.4724	19.4676	68.70084	31.29916	
34	1	16.6037	21.3652	4.7615	18.2751	18.2533	18.2484	18.2462	65.50457	34.49543	34.65694
	2	15.0224	19.4755	4.4531	16.60199	16.5798	16.5762	16.5729	65.18156	34.81844	
35	1	14.8942	19.5981	4.7039	16.4533	16.4231	16.4213	16.4188	67.5886	32.4114	32.32617
	2	15.444	20.6253	5.1813	17.1489	17.1216	17.1189	17.1145	67.75906	32.24094	

ตารางแสดงค่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter) ของวิธีอ้างอิงของวันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	15.0933	20.1478	5.0545	16.9575	16.9567			63.133841	36.866159	37.044
	2	15.7116	20.6947	4.9831	17.5669	17.5664			62.77819	37.22181	
2	1	15.4428	19.9977	4.5549	17.0471	17.0465			64.791763	35.208237	35.85
	2	15.4442	20.0466	4.6024	17.1244	17.1237			63.50817	36.49183	
3	1	15.8017	20.4154	4.6137	17.533	17.5298			62.544162	37.455838	37.4023
	2	14.9754	20.0227	5.0473	16.8608	16.8605			62.651319	37.348681	
4	1	14.5806	20.1328	5.5522	16.5627	16.5618			64.316847	35.683153	35.9038
	2	15.3303	20.7654	5.4351	17.295	17.2937			63.87555	36.12445	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	15.0933	20.1478	5.0545	16.9575	16.9567			63.133841	36.866159	37.044
	2	15.7116	20.6947	4.9831	17.5669	17.5664			62.77819	37.22181	
2	1	15.4428	19.9977	4.5549	17.0471	17.0465			64.791763	35.208237	35.85
	2	15.4442	20.0466	4.6024	17.1244	17.1237			63.50817	36.49183	
3	1	15.8017	20.4154	4.6137	17.533	17.5298			62.544162	37.455838	37.4023
	2	14.9754	20.0227	5.0473	16.8608	16.8605			62.651319	37.348681	
4	1	14.5806	20.1328	5.5522	16.5627	16.5618			64.316847	35.683153	35.9038
	2	15.3303	20.7654	5.4351	17.295	17.2937			63.87555	36.12445	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	15.0933	20.1478	5.0545	16.9575	16.9567			63.133841	36.866159	37.044
	2	15.7116	20.6947	4.9831	17.5669	17.5664			62.77819	37.22181	
2	1	15.4428	19.9977	4.5549	17.0471	17.0465			64.791763	35.208237	35.85
	2	15.4442	20.0466	4.6024	17.1244	17.1237			63.50817	36.49183	
3	1	15.8017	20.4154	4.6137	17.533	17.5298			62.544162	37.455838	37.4023
	2	14.9754	20.0227	5.0473	16.8608	16.8605			62.651319	37.348681	
4	1	14.5806	20.1328	5.5522	16.5627	16.5618			64.316847	35.683153	35.9038
	2	15.3303	20.7654	5.4351	17.295	17.2937			63.87555	36.12445	

ตัวอย่าง	จำนวน ซ้ำ	น้ำหนัก(g)			น้ำหนักหลังอบ(g)				MC(%)	DM(%)	
		กระป๋อง	กระป๋อง+ ทุเรียน	ทุเรียน	1	2	3	4			
1	1	15.0933	20.1478	5.0545	16.9575	16.9567			63.133841	36.866159	37.044
	2	15.7116	20.6947	4.9831	17.5669	17.5664			62.77819	37.22181	
2	1	15.4428	19.9977	4.5549	17.0471	17.0465			64.791763	35.208237	35.85
	2	15.4442	20.0466	4.6024	17.1244	17.1237			63.50817	36.49183	
3	1	15.8017	20.4154	4.6137	17.533	17.5298			62.544162	37.455838	37.4023
	2	14.9754	20.0227	5.0473	16.8608	16.8605			62.651319	37.348681	
4	1	14.5806	20.1328	5.5522	16.5627	16.5618			64.316847	35.683153	35.9038
	2	15.3303	20.7654	5.4351	17.295	17.2937			63.87555	36.12445	

ภาคผนวก ค

**ตารางกำหนดการดูดซับคลื่นเหียร์  
อินฟราเรดในช่วงคลื่นต่าง ๆ**

ตารางกำหนดสารเคมีในแถบการดูดซับคลื่นเนียร์อินฟราเรดในช่วงคลื่นต่างๆ[13]

Wavelength (nm)	Bond vibration	Structure
713	C-H str. fourth overtone	Benzene
738	O-H str. third overtone	ROH
740	C-H str. fourth overtone	CH <sub>3</sub>
746	C-H str. fourth overtone	CH <sub>2</sub>
747	O-H str. third overtone	ArOH
760	O-H str. third overtone	H <sub>2</sub> O
762	C-H str. fourth overtone	CH <sub>2</sub>
779	N-H str. third overtone	RNH <sub>2</sub>
790	N-H str. third overtone	ArNH <sub>2</sub>
806	N-H str. third overtone	RNH <sub>2</sub>
808	2 x N-H str. 2 x N-H def.+ 2 x C-N str.	RNHR'
815	N-H str. third overtone	RNHR'
832	2 x N-H str. 2 x N-H def.+ 2 x C-N str.	RNHR'
840	3 x C-H str. + 2 x C-C str.	Benzene
874	C-H str. third overtone	Benzene
880	C-H str. third overtone	CHCl <sub>3</sub>
900	C-H str. third overtone	CH <sub>3</sub>
910	C-H str. third overtone	Protein
913	C-H str. third overtone	CH <sub>2</sub>
928	C-H str. third overtone	Oil
938	C-H str. third overtone	CH <sub>2</sub>
970	O-H str. second overtone	ROH, H <sub>2</sub> O
990	O-H str. second overtone	Starch
1000	O-H str. second overtone	ArOH
1015	2 x C-H str. + 3 x C-H def.	CH <sub>3</sub>
1020	2 x N-H str. + 2 x amide I	Protein
1020	N-H str. second overtone	ArNH <sub>2</sub>
1030	N-H str. second overtone	RNH <sub>2</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wavelength (nm)	Bond vibration	Structure
1037	2 x C-H str. +2 x C-H def. + (CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	Oil
1053	2 x C-H str. +2 x C-H def. + (CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	CH <sub>20</sub>
1060	N-H str. second overtone	RNH <sub>2</sub>
1080	2 x C-H str. + 2 x C-C str.	Benzene
1097	2 x C-H str. + 2 x C-C str.	Cyclopropane
1143	C-H str. second overtone	Aromatic
1152	C-H str. second overtone	CH <sub>3</sub>
1170	C-H str. second overtone	HC=CH
1195	C-H str. second overtone	CH <sub>3</sub>
1215	C-H str. second overtone	CH <sub>2</sub>
1765	C-H str. first overtone	CH <sub>2</sub>
1780	C-H str. first overtone	Cellulose
1820	O-H str. + 2 x C-O str.	Cellulose
1900	O-H str. +2 x C-O str.	Starch
1900	C=O str. second overtone	-CO <sub>2</sub> H
1908	O-H str. first overtone	POH
1920	C=O str. second overtone	CONH
1940	O-H str. +O-H def.	H <sub>2</sub> O
1950	C=O str. second overtone	-CO <sub>2</sub> R
1960	N-H sym. str. +amide II	CONH <sub>2</sub>
1980	N-H sym. str. +amide II	Protein
2000	2 x O-H def. +C-O def.	Starch
2000	N-H sym. str. +amide II	CONH <sub>2</sub> , CONHR
2030	C+O str. second overtone	CONH <sub>2</sub>
2050	N-H sym. str. +amide II	Protein
2050	N-H asym. str. +amide III	CONH <sub>2</sub>
2080	O-H str. +O-H def.	ROH, sucrose
2100	2 x O-H def. +2 x C-O str.	Starch
2110	N-H sym. str. +amide III	CONH <sub>2</sub> , CONHR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wavelength (nm)	Bond vibration	Structure
2132	N-H str. +C=O str.	Amino acid
2140	=C-H str. + C=C str.	HC=CH
2150	2 x amide I +amide III	CONH <sub>2</sub>
2160	2 x amide I +amide III	CONHR
2180	2 x amide I +amide III	Protein
2190	CH <sub>2</sub> asym. str. +C=str.	HC=CH
2200	C-H str. +C=O str.	-CHO
2242	N-H str. +NH; def	Amino acid
2252	O-H str. +O-H def.	Starch
2276	O-H str. + C-C str.	Starch
2280	C-H str. + C-H def.	CH <sub>3</sub>
2294	N-H str. +C=O str.	Amino acid
2310	C-H str. + C-H def.	CH <sub>2</sub>
2323	C-H str. + C-H def.	CH <sub>2</sub>
2336	C-H str. + C-H def.	Cellulose
2347	CH <sub>2</sub> sym. str. += CH <sub>2</sub> def.	HC=CHCH <sub>2</sub>
2352	C-H def. second overtone	Cellulose
2380	O-H def. second overtone	ROH
2461	C-H str. +C-C str.	Starch
2488	C-H str. + C-C str.	Starch
2500	C-H str. + C-C str.	Starch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางผลการวิเคราะห์แบบออนไลน์

ตารางผลการวิเคราะห์วิธีการทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นของการสแกนแบบออนไลน์ที่ความยาวคลื่น 450-1000 nm

Pretreatment	factor	Calibration			Validation				
		R <sup>2</sup>	RMSEC	SEC	R <sup>2</sup>	RMSEP	SEP	bias	RPD
bas_line	7	0.893	2.828	2.841	0.831	4.048	3.894	1.243	2.554186
snv	8	0.953	1.872	1.881	0.869	3.549	3.439	1.006	2.89212
msc	8	0.96	1.722	1.73	0.826	4.096	3.952	1.218	2.5167
1st	4	0.893	2.83	2.844	0.805	4.337	4.198	1.243	2.369223
2nd	3	0.773	4.12	4.139	0.668	5.667	5.723	0.209	1.7379
smoothing 11	8	0.902	2.701	2.714	0.844	3.876	3.738	1.157	2.660781
snv+msc	8	0.96	1.715	1.723	0.828	4.0741	3.932	1.207	2.529502
snv+1st	4	0.934	2.219	2.229	-	111.08	30.217	106.98	0.329152
snv+2nd	4	0.902	2.711	2.723	0.278	8.358	8.444	-0.239	1.177878
msc+1st	3	0.891	2.856	2.869	0.846	3.857	3.858	0.547	2.57802
msc+2nd	8	0.969	1.524	1.531	0.751	4.91	4.96	-0.139	2.005242
msc+snv	8	0.953	1.873	1.882	0.869	3.549	3.439	1.007	2.89212
smoothing+snv	7	0.931	2.278	2.289	0.842	3.906	3.717	1.315	2.675814
smoothing+msc	8	0.929	2.295	2.306	0.806	4.336	4.143	1.411	2.400676

ตารางผลการวิเคราะห์วิธีการทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นของการสแกนแบบออนไลน์ที่ความยาวคลื่น 700-1000 nm

Pretreatment	factor	Calibration			Validation				
		R <sup>2</sup>	RMSEC	SEC	R <sup>2</sup>	RMSEP	SEP	bias	RPD
bas_line	7	0.892	2.672	2.685	0.749	5.193	4.996	1.588	1.990793
snv	5	0.879	2.814	2.827	0.799	4.647	4.541	1.187	2.190266
msc	5	0.879	2.818	2.832	0.281	8.803	8.617	2.185	1.15423
1st	5	0.865	2.979	2.993	0.628	6.328	6.238	1.391	1.594421
2nd	2	0.461	5.963	5.991	0.211	9.221	9.152	1.738	1.086757
smoothing 11	7	0.892	2.662	2.674	0.749	5.193	4.996	1.588	1.990793
snv+msc	5	0.878	2.828	2.841	0.259	8.933	8.749	2.204	1.136816
snv+1st	5	0.849	3.15	3.164	0.633	6.288	6.281	0.954	1.583506
snv+2nd	2	0.486	5.819	5.846	0.263	8.913	8.875	1.519	1.120676
msc+1st	5	0.848	3.164	3.178	0.406	8.004	7.891	1.759	1.260423
msc+2nd	2	0.482	5.841	5.867	0.109	9.803	9.656	2.189	1.030033
msc+snv	5	0.879	2.813	2.826	0.799	4.647	4.541	1.187	2.190266
smoothing+snv	5	0.877	2.839	2.852	0.826	4.319	4.178	1.249	2.380565
smoothing+msc	5	0.877	2.844	2.858	0.622	6.384	6.143	1.95	1.619079

ภาคผนวก จ

**ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่**

Rashphon Chunsri, Panmanas Sirisomboon

Precision Test for Spectral Characteristic of On-line Vis-NIR  
versus Off-line NIR Spectroscopy for Measuring Dry matter of  
Durian (*Durio zibethinus* cv Monthong)

The 10<sup>th</sup> TSAE International Conference

7-9 September 2017

Available online at [www.tsae.asia/2017conf/](http://www.tsae.asia/2017conf/)




TSAE  
2017

การประชุมวิชาการ  
สมาคมวิศวกรรมาจารย์แห่งประเทศไทย  
ระดับชาติ ครั้งที่ 18 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 10  
ประจำปี 2560  
The 18<sup>th</sup> TSAE National Conference and  
The 10<sup>th</sup> TSAE International Conference  
(TSAE 2017)

ณ อินทนิล เมืองทองธานี  
กรุงเทพมหานคร  
7-9 กันยายน 2560

จัดโดย สมาคมวิศวกรรมาจารย์แห่งประเทศไทย  
ร่วมกับ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Precision Test for Spectral Characteristic of On-line Vis-NIR versus Off-line NIR Spectroscopy for Measuring Dry matter of Durlan (*Durio zibethinus* cv Monthong)

Rashphon Churnsi<sup>1\*</sup>, Parmanas Sirisomboon<sup>1</sup>

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

Corresponding author: Rashphon Churnsi. E-mail: seeman.30@gmail.com

### Abstract

Near infrared (NIR) spectroscopy is a rapid and environmental friendly method to evaluate the constituents of fruit and vegetable. The precision and accuracy of the instrument and reference methods is important. The purpose of this paper is to determine the scanning repeatability and reproducibility of UV-VIS-NIR spectrometer (on-line) and NIR spectrometer (off-line) for measuring dry matter of Durlan (*Durio zibethinus* cv Monthong) and compare their measurements with reference method by using hot air oven. The results showed the repeatability and reproducibility of off-line scanning spectrometer was 0.0044 and 0.0110, and for on-line scanning spectrometer was 0.0786 and 0.0831, respectively. The repeatability of reference method was 0.98 and the maximum coefficient of determination ( $R^2_{max}$ ) was 0.941. The error of reference measurement is only 5.9%. This result indicated that it was worth to develop the NIR spectroscopy model.

Keywords: NIRs, Precision test, Spectral characteristic, On-line, Off-line, Dry matter, Durlan.

### 1. Introduction

Thailand is a major exporter in the world agricultural market and durians is important export-product of Thailand. Thailand exports all kinds of durians including fresh durians, frozen durians and processed durian products such as durian paste and durian chips. The export value of frozen durian in 2016 was quantity totaled approximately 19,436 million ton. The export value was 2,029 million bath (Office of Agricultural Economics, 2016). Due to the fact that durian of Thailand is tasty and has high quality so it is acceptable and popular for foreign consumer. Durians harvesting seasonal period is from June to August. But there are problems to consider in durian production between immature durians and mature durians. Immature durians can destroy the reputation durian of Thailand and this problem also decrease demand of export durian. Durian classification requires expert knowledge and experience. However, there are a number of researches which study quality of durian by non-destructive maturity measurement method. In 2004, the quality of durian by measuring strength of durian stem and analyze natural resonant frequency was studied (Niamsorn and Terd Wongvorakul, 2004) and dried durian pulp for measuring its dry matter which is used to be maturity reference. The statistical correlation analysis of various stem

strength related parameters showed that the multiple linear regression analysis indicated that the area under the force-deformation curve and the resonant frequency could be used in linear combination for the best prediction of durian maturity with multiple coefficient of correlation ( $r$ ) = 0.844 and multiple coefficient of determination ( $R^2$ ) = 0.713. (Niamsorn and Terd Wongvorakul, 2012). Furthermore, visible spectroscopy of the spine of durian was investigated for classification of maturity. Partial least squares discriminant analysis was performed to model the classification. The model using absorbance spectra transformed by the standard normal variate achieved the best accuracy of classification (94.7%) into four maturity classes ranging from 113 to 134 days after anthesis. The classification was attributable to the absorbance of chlorophylla, carotenoids and anthocyanins in the spine. Orsawai and Sirisomboon (2015) evaluated the dry matter of durian by using diffuse reflectance near infrared spectroscopy. Near infrared (NIR) spectroscopy is used as a non-invasive technique and a rapid and environmental friendly method to evaluate the constituents of fruit and vegetable which has high precision and accuracy.



This experiment studied the repeatability and reproducibility of scanning to find the precision of NIR spectrometer and repeatability of reference method for measurement of dry matter of durian pulp to find its overall precision. In addition, the maximum coefficient of determination was also determined to be the indicator whether it is appropriate to develop a model or not.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Samples

Durian "Monthong" (3 fruits) from Chumphon, Southern Thailand, are transported by train to King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand on July 5, 2017. All samples was opened for durian pulp and the pulp was kept in a plastic box at room temperature ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

### 2.2 NIR scanning

FT-NIR spectrometer.

The durian pulp sample was measured for spectral data at the middle of the lobe using an FT-NIR spectrometer (MPA, Bruker, Ettlingen, Germany) in reflection mode at  $12,500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$  ( $1800\text{--}2500\text{ nm}$ ) with a resolution of  $16\text{ cm}^{-1}$ , accumulating 32 scans per 1 averaged spectrum and using gold as a reference material. All experiments were performed at  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Fiber-optic Spectrometer.

For on-line measurements, Fiber-optic Spectrometer (AvaSpec-2048-USB2-VA-S01, The Netherlands) in absorbance mode at wavelength range of  $350\text{--}1100\text{ nm}$  using spectralon as reference material was used. The pulp was conveyed for scanning on the belt conveyor. This was done at  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ .

### 2.3 Reference test for Dry matter measurement.

After scanning, durian pulp without seed from the scanned position of each lobe was cut, chopped and mixed. The moisture content of a 5 g durian mash sample was analysed in duplicate using a hot air oven (UF 260, Memmert, Germany) at a temperature of  $60^\circ\text{C}$  until a constant weight was reached. The moisture content (MC) was calculated from following equation.

$$\text{MC}(\%) = \frac{(W1-W2)}{W1} \times 100$$

Where W1 is the original weight (g), and W2 is the oven-dried weight (g)

The dry matter (DM) was calculated from MC using the below equation.

### 2.4 Repeatability, reproducibility and maximum coefficient of determination.

Repeatability.

Repeatability of NIR scanning was determined by scanning the same sample at the same location 10 times, then find the standard deviation (SD) of the absorption of each wavelength for 3 wavelengths (970, 1440, 1900 nm) and averaged.

Repeatability.

Reproducibility of NIR scanning was determined by scanning the sample for 10 times, but it was reloaded every time, then the SD of absorption at each wavelength was calculated. The data was calculated for the 3 selected wavelengths and averaged.

Repeatability of reference method and maximum coefficient of determination.

The precision of the reference test of DM of durian pulp was determined using the repeatability value (Rep), which was calculated from the standard deviation of the different between duplicates. Then, the maximum coefficient of determination ( $R^2_{\text{max}}$ ) was calculated followed Dardenne (2009) using the following equation.

$$R^2_{\text{max}} = \frac{\text{SD}^2 - \text{Rep}^2}{\text{SD}^2}$$

where SD is the standard deviation of DM of samples. According to Dardenne, the maximum  $R^2$  is possible only when there are no errors in the spectra or the model, and the SD, and Rep can indicate that the range in values for the samples is too narrow, and a reference method is not sufficiently precise.

## 3. Results and Discussion

The repeatability and reproducibility of off-line scanning (FT-NIR) spectrometer was 0.0044 and 0.0110, and for on-line scanning (Fiber optic) spectrometer was 0.0786 and 0.08314, respectively. The repeatability of reference method was 0.98 and the maximum coefficient of determination ( $R^2_{\text{max}}$ ) was 0.941. The error of reference measurement is only 5.9%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Categor y	scanning		Reference	
	repeatabilit y	reproducibilit y	reproducibilit y	R <sup>2</sup> <sub>Max</sub>
On-line	0.0786	0.0831		
Off-line	0.0044	0.0110	0.98	0.941

#### 4. Conclusions

The value of repeatability and reproducibility in on-line scanning was not better than the off-line which may be due to various factors (for example focal length and signal to noise ratio and so on) during on-line scanning. However the on-line scanning is the only method used in industrial plants because of the scanning speed. The maximum coefficient of determination ( $R^2_{Max}$ ) of the reference method is 0.941 with error 5.9% which was acceptable and indicated that it is worth to develop the NIR spectroscopy model.

#### 5. Acknowledgements

Thanks to NIR spectroscopy Research Center for Agricultural Product and Food ([www.nirresearch.com](http://www.nirresearch.com)), Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for instruments support.

#### 6. References

- Dardenne, P., "Some considerations about NIR spectroscopy: Closing speech at NIR-2009" (2009) <https://www.impublications.com/content/some-consideration-about-nir-spectroscopy>
- Niamsom, N.; Terdwongworakul, A.; 2004. Nondestructive Maturity Measurement of "Monthong" Durian Using Stem Strength and Resonant Frequency. *Engineering* 33, 555-563.
- Office of Agricultural Economics. 2016. Statistics of fresh durian export Data source: [http://www.oae.go.th/oea\\_report/export\\_import/export\\_result.php](http://www.oae.go.th/oea_report/export_import/export_result.php) (Accessed on January 18, 2016.)
- Orsawal, P., Sirisomboon, P., 2015. Determination of dry matter and soluble solids of durian pulp using diffuse reflectance near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 23, 167-179.
- Tirkhum, P., Terdwongworakul, A., 2012. Nondestructive classification of durian maturity of "Monthong" cultivar by means of visible spectroscopy of the spine. *Journal of Food Engineering* 112, 263-267.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย รัชพล จันทร์ศรี  
 วัน-เดือน-ปีเกิด 30 ธันวาคม 2537  
 ที่อยู่ 9/8 ถ. พระราม2 ซ. พระราม2ที่ 74 เขตบางขุนเทียน แขวงแสมดำ  
 กรุงเทพฯ 10150  
 ประวัติการศึกษา ปริญญาตรี (พ.ศ.2556 - พ.ศ.2559) วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
 (วิศวกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
 ลาดกระบัง  
 E-mail rashphon.see@gmail.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้