

การวิเคราะห์หาปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวที่ได้จากการคั้นกะทิ

ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Determination of Dry Matter and Crude Fat Content in Coconut Milk Residue

Using Near Infrared Spectroscopy Technique



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Determination of Dry Matter and Crude Fat Content in Coconut Milk Residue

Using Near Infrared Spectroscopy Technique



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดย King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang และอนุญาตให้ใช้เพื่อประโยชน์ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำ
ไปทำกำไรหรือการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ACADEMIC YEAR 2020 เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การวิเคราะห์หาปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวที่ได้จากการคั้น
กะทิด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Determination of Dry Matter and Crude Fat Content in Coconut
Milk Residue Using Near Infrared Spectroscopy Technique

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวรัชชัญญา เบ็ญชา รหัสนักศึกษา 60010463

นางสาวศศิพิมพ์ กัญยง รหัสนักศึกษา 60010966


นางสาวสุเมตตา หมัดละ รหัสนักศึกษา 60011104

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2563

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. นารัตระพี นาคะวัจนะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การทดสอบปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้น กะทิด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวธัญชนก เบ็ญญา รหัสนักศึกษา 60010463 นางสาวศศิพิมพ์ กัญยง รหัสนักศึกษา 60010966 นางสาวสุ่มัตรา หมดละ รหัสนักศึกษา 60011104
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.นารัถระพี นาคะวงษา
พ.ศ.	2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแบบจำลองไปใช้ในการหาค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันของกากมะพร้าวคั้นกะทิ ด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer ช่วงเลขคลื่น $12500-4000\text{ cm}^{-1}$ ในการทดลองนี้จะใช้กากมะพร้าวคั้นกะทิจำนวน 50 ตัวอย่าง นำมาแสกนค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำไปเทียบกับปริมาณเนื้อแห้งที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และปริมาณไขมันที่สกัดด้วยวิธี Soxhlet extraction ข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นถูกนำไปสร้างแบบจำลองในการทำนายปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันของกากมะพร้าวคั้นกะทิ ด้วยเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) ด้วยวิธี Full Cross Validation โดยแบบจำลองของปริมาณเนื้อแห้งได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Min - Max normalization ได้ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (R^2) เท่ากับ 0.95 ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (RMSECV) เท่ากับ 0.169% ค่า RPD เท่ากับ 4.51 และ Bias เท่ากับ 0.0108% และแบบจำลองของปริมาณไขมันได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative ได้ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (R^2) เท่ากับ 0.91 ค่า RMSECV เท่ากับ 1.89% ค่า RPD เท่ากับ 3.44 ค่า Bias เท่ากับ -0.109% จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองในการทำนายปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันของกากมะพร้าวคั้นกะทิ สามารถนำไปใช้สำหรับการคัดเลือกตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis	Determination of Dry Matter and Crude Fat Content in Coconut Milk Residue Using Near Infrared Spectroscopy Technique.		
Student	Miss Thanchanok	Bencha	60010463
	Miss Sasipim	Kunyong	60010966
	Miss Sumattra	Madlah	60011104
Degree	Bachelor of Engineering		
สาขาวิชา	Agricultural Engineering		
Thesis Adviser	Assist. Prof. Dr. Natrapee Nakawajana		
Year	2020		

ABSTRACT

This research aims to create model for predicting using near infrared spectroscopy technique and to study the feasibility of using near infrared spectroscopy technique to quantify dry matter and fat content in coconut residue using FT-NIR spectrometer in range 12500-4000 cm^{-1} . In this experiment, 50 samples of coconut milk residue were used to scan the absorbance. Then compared with dry matter content dried with hot air oven and fat content extracted by Soxhlet extraction. The absorption spectral data was used to establish the model for prediction of dry matter and fat content of coconut milk residue using Partial Least Squares Regression (PLSR) technique and Full Cross Validation method. The dry matter content model was obtained from the spectral modification using Min - Max normalization method. The results showed the coefficient of determination (R^2) of 0.95, the root Mean Squared Error of Cross-Validation (RMSECV) of 0.169%, RPD of 4.51 and Bias of 0.0108%. The fat content model was obtained from the spectral modification using First derivative Result showed the coefficient of determination (R^2) of 0.91, RMSECV of 1.89%, RPD of 3.44, Bias of -0.109%. From the result, the model for predicting the dry matter content and the fat content of coconut milk residue can be used for sample selection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยได้รับการอนุเคราะห์เครื่องมือจากห้องวิจัย NIRS Research Center for Agricultural Product and Food คณะวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.นารัถระพี นาคะวจนะ ที่ช่วยให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ที่สละเวลาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำการทดลอง และให้ความช่วยเหลือทั้งกายและใจเสมอ

ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนการทำงาน และให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณงามความดีที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดามารดาที่รักและเคารพ ตลอดจนคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่คณะผู้วิจัย



ธัญชนก

เบ็ญชา

ศศิพิมพ์

กัญยง

สุ่มัตรา

หมัดละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ความสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง (Expected Learning Outcome) ของหลักสูตร วศ.บ. วิศวกรรมเกษตร.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 มะพร้าว.....	5
2.2 กากมะพร้าว.....	5
2.3 อาหารสัตว์สำเร็จรูป.....	5
2.3.1 อาหารหยาบ.....	5
2.3.1.1 อาหารหยาบสด.....	5
2.3.1.2 อาหารหยาบแห้ง.....	5
2.3.1.3 อาหารหยาบหมัก.....	6
2.3.2 อาหารข้น.....	6
2.3.2.1 อาหารพลังงาน.....	6
2.3.2.2 อาหารเสริมโปรตีน.....	6
2.3.2.3 อาหารเสริมแร่ธาตุ.....	6
2.3.2.4 อาหารเสริมวิตามิน.....	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 2.3.2.3 อาหารเสริมแร่ธาตุ..... 6
 2.3.2.4 อาหารเสริมวิตามิน..... 6
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ 2.3.2.4 อาหารเสริมวิตามิน..... 6
 2.3.2.4 อาหารเสริมวิตามิน..... 6

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
2.3.2.5 สารเติมพิเศษ.....	6
2.4 ปริมาณเนื้อแห้ง.....	6
2.5 ปริมาณไขมัน.....	7
2.6 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนา.....	7
2.6.1 ความชื้น (Moisture).....	8
2.6.2 เถ้า (Ash).....	8
2.6.3 โปรตีนรวม (Crude Protein, CP).....	8
2.6.4 ไขมัน (Crude Fat, CF).....	9
2.6.5 เยื่อใย (Crude fiber, CF).....	10
2.6.6 คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (Nitrogen free extract, NFE).....	10
2.7 ตารางการแบ่งช่วงคลื่น.....	11
2.8 การทำ Validation แบบ Full cross validation.....	11
2.9 การทำ Repeatability และ Reproducibility.....	11
2.10 การวิเคราะห์ค่านอกกลุ่ม (outlier).....	12
2.11 เทคโนโลยีสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy).....	12
2.11.1 หลักการทำงานของเครื่อง Near Infrared Spectrometer.....	14
2.12 การเลือกวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น (Selecting the Data Preprocessing Model Method).....	14
2.12.1 การลบโดยค่าคงที่ (Subtraction of a Constant Offset).....	15
2.12.2 การลบโดยเส้นตรง (Subtraction of a Straight Line).....	15
2.12.3 Smoothing.....	15
2.12.4 Vector Normalization.....	15
2.12.5 Min-Max-Normalization.....	15
2.12.6 Multiplicative Scatter Correction (MSC).....	16
2.12.7 วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานและการปรับแนวโน้ม (Standard Normal variate (SNV) และ Detrending).....	18
2.12.8 การปรับเป็นค่ามาตรฐาน (Normalization).....	19
2.12.9 อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First Derivative).....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
2.12.10 อนุพันธ์ที่สอง (Second Derivative).....	20
2.13 ตัวแปร.....	21
2.13.1 สัมประสิทธิ์การพิจารณา (R^2).....	21
2.13.2 ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์ แบบไขว้ (RMSECV).....	22
2.13.3 Root mean square error of estimation (RMSEE).....	22
2.13.4 Ratio of SEP to the SD (RPD).....	22
2.13.5 Bias.....	24
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	27
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบ.....	28
3.3 การทดลอง.....	29
3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง.....	29
3.3.2 การ Calibrate อุปกรณ์.....	29
3.3.3 การหาปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ โดยวิธี Near-infrared spectroscopy technique.....	30
3.3.4 การทดลองทำเนื้อแห้งโดยวิธีการอบแห้ง.....	31
3.3.5 การทดลองหาไขมันโดยวิธีการ Soxhlet Extraction.....	31
3.3.6 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติแบบเชิงปริมาณเพื่อสร้างสมการทำนาย.....	33
3.4 การวัดความชื้นอ้างอิง.....	33
3.5 การทำ Repeatability และ Reproducibility.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	35
4.1 ค่าสถิติของปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ.....	35
4.2 การเลือกใช้ความละเอียดและจำนวนการสแกนซ้ำต่อ 1 สเปกตรัม.....	35
4.3 ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility เครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	36
4.4 ลักษณะเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของกากมะพร้าวคั้นกะทิ.....	38
4.5 การสร้างสมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมัน.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
4.6 ผลการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมัน.....	41
4.6.1 ผลการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้ง.....	41
4.6.2 ผลการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณไขมัน.....	41
4.7 องค์ประกอบที่สำคัญในสเปกตรัมในการทำนายปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมัน... 42	
4.7.1 องค์ประกอบที่สำคัญในสเปกตรัมในการทำนายปริมาณเนื้อแห้ง ในกากมะพร้าวคั้นกะทิ.....	42
4.7.2 องค์ประกอบที่สำคัญในสเปกตรัมในการทำนายปริมาณไขมัน ในกากมะพร้าวคั้นกะทิ.....	45
บทที่ 5 สรุปผลทดลองและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันของกากมะพร้าวคั้นกะทิด้วยวิธีมาตรฐาน..48	
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะเส้นสเปกตรัมของกากมะพร้าวคั้นกะทิ โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	48
5.3 สรุปผลการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ โดยวิธี Partial Least Squares Regression.....	48
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	49
ภาคผนวก ก.....	50
ภาคผนวก ข.....	68
เอกสารอ้างอิง.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ช่วงคลื่นอินฟราเรด.....	11
ตารางที่ 2.2 การแปลความหมายของค่า R^2	21
ตารางที่ 2.3 ค่าทางสถิติ RPD.....	23
ตารางที่ 4.1 ค่าสถิติของปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ.....	35
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Repeatability ของเครื่อง FT- NIR Spectrometer.....	36
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Reproducibility ของเครื่อง FT- NIR Spectrometer.....	37
ตารางที่ 4.4 สมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันสร้างจากเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) แบบ Full Cross Validation ของกากมะพร้าวคั้นกะทิ.....	40
ตารางที่ 4.5 พิกที่ปรากฏใน Regression coefficient plot และ X-loading weight ของสมการ ปริมาณเนื้อแห้งในตัวอย่างกากมะพร้าวคั้นกะทิที่แสกน ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	43
ตารางที่ 4.6 พิกที่ปรากฏใน Regression coefficient plot และ X-loading weight ของสมการ ปริมาณไขมันในตัวอย่างกากมะพร้าวคั้นกะทิที่แสกน ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	46
ตารางที่ ก.1 ผลของค่าปริมาณเนื้อแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน.....	51
ตารางที่ ก.2 ผลของค่าปริมาณไขมันด้วยวิธีมาตรฐาน.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 เทคนิคการวัดตัวอย่าง.....13

รูปที่ 2.2 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด.....13

รูปที่ 2.3 สเปกตรัม NIR ที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect ก่อนปรับแก้ด้วย MSC...16

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแบ่งที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 3 ขนาดแต่มีค่าทางเคมีเท่ากัน.....16

รูปที่ 2.5 สเปกตรัม NIR ที่ได้รับผลกระทบแบบผลคูณ (multiplicative effect)
หลังจากปรับแก้ด้วย MSC.....17

รูปที่ 2.6 สเปกตรัม NIR ที่ปรับแก้ (a) ด้วยวิธี SNV และเพิ่มเติม (b) ด้วยวิธีการปรับแนวโน้ม.....18

รูปที่ 2.7 สเปกตรัม NIR วัดแบบการสะท้อนแบบแพร่.....20

รูปที่ 3.1 เครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR Spectrometer.....27

รูปที่ 3.2 ชุดสกัดไขมัน Soxhlet.....27

รูปที่ 3.3 ตู้อบลมร้อน ULM 500.....27

รูปที่ 3.4 กากมะพร้าวคั้นกะทิ.....29

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างที่ผ่านการร่อนแล้วขนาด 1 mm.....29

รูปที่ 3.6 Calibrate อุปกรณ์.....29

รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ที่ Calibrate เสร็จแล้ว.....30

รูปที่ 3.8 ติดตั้งฐานและถ้วย.....30

รูปที่ 3.9 วัดการดูดกลืนแสงของกากมะพร้าวคั้นกะทิ
ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR Spectrometer.....30

รูปที่ 3.10 การอบแห้งตัวอย่าง.....31

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างหลังจากทำการอบแห้ง.....31

รูปที่ 3.12 เตรียม Timber ที่มีตัวอย่างใส่หลอด Soxhlet.....31

รูปที่ 3.13 การสกัดไขมันโดยวิธีการ Soxhlet Extraction.....32

รูปที่ 3.14 การระเหย Hexane ออกที่เตาให้ความร้อน.....32

รูปที่ 3.15 ระเหย Hexane อีกครั้งด้วยตู้อบลมร้อน.....32

รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นของกากมะพร้าวคั้นกะทิที่ความละเอียดในการวัด (Res) และ
จำนวนการสแกน (ST) ซ้ำต่อ 1 สเปกตรัมต่างกัน.....35

รูปที่ 4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นในแต่ละช่วงเลขคลื่นของกากมะพร้าวคั้นกะทิ
ในการทำ Repeatability.....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นใน แต่ละช่วงเลขคลื่นของกากมะพร้าวคั้นกะทิ ในการทำ Reproducibility.....	38
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นใน แต่ละช่วงเลขคลื่นของกากมะพร้าวคั้นกะทิ ทั้ง 50 ตัวอย่าง.....	38
รูปที่ 4.5 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ค่าปริมาณเนื้อแห้งของกากมะพร้าวคั้นกะทิ ที่ทำนายจากสมการและค่าจริง.....	41
รูปที่ 4.6 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ค่าปริมาณไขมันของกากมะพร้าวคั้นกะทิ ที่ทำนายจากสมการและค่าจริง.....	42
รูปที่ 4.7 Regression coefficient plot ของสมการค่าปริมาณเนื้อแห้งในตัวอย่าง กากมะพร้าวคั้นกะทิ.....	44
รูปที่ 4.8 ค่า X-loading weight ของสมการค่าปริมาณเนื้อแห้งในตัวอย่าง กากมะพร้าวคั้นกะทิ.....	44
รูปที่ 4.9 Regression coefficient plot ของสมการค่าปริมาณไขมันในตัวอย่าง กากมะพร้าวคั้นกะทิ.....	47
รูปที่ 4.10 ค่า X-loading weight ของสมการค่าปริมาณไขมันในตัวอย่าง กากมะพร้าวคั้นกะทิ.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ตามข้อมูลยุทธศาสตร์ของกรมปศุสัตว์ปี พ.ศ. 2561-2565 มีการพยากรณ์ว่าจะมีจำนวนประชากรทั้งในและต่างประเทศเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากอัตราการเกิดในแต่ละปี และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ของประชากรเทียบกับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ เป็นเรื่องที่มีการยืนยันความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างกันมาโดยตลอด เนื่องจากประชากรจะมองหาอาหารประเภทที่ให้โปรตีนในปริมาณมากเมื่อมีกำลังในการจ่ายเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งจากการสำรวจในประเทศไทยพบว่าประชากรส่วนใหญ่มีรายจ่ายเกี่ยวกับผลผลิตจากปศุสัตว์ เช่น เนื้อวัว เนื้อไก่ เนื้อสุกร ไข่ เป็นต้น เพิ่มสูงขึ้นจากปีก่อนๆ โดยกระแสการบริโภคของผู้บริโภคในปัจจุบัน จะให้ความสำคัญกับอาหารเพื่อสุขภาพ ในขณะที่เดียวกันพฤติกรรมการเลือกบริโภคอาหารของคนไทยยังให้ความสำคัญกับความสะอาด ความปลอดภัย และความสวยงามมาเป็นอันดับต้นๆ ร่วมด้วย ซึ่งผลผลิตจากปศุสัตว์จะเป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคได้นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยหนึ่ง ในนั้นคือ อาหารที่ให้สัตว์บริโภค ดังนั้นกรมปศุสัตว์จึงให้ความสำคัญกับการควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ.2558 เพื่อให้ผู้ผลิตอาหารสัตว์ผลิตอาหารสัตว์ที่มีโภชนาการครบถ้วนและไม่มีสารแปลกปลอมที่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิตด้านปศุสัตว์ โดยการตรวจสอบค่ามาตรฐานทางเคมี เช่น โปรตีน ไขมัน ความชื้น เนื้อแห้ง เป็นต้น ให้เป็นไปตามโภชนาการของอาหารสัตว์

อาหารสัตว์ คือ วัตถุที่มุ่งหมายเพื่อใช้หรือใช้เลี้ยงสัตว์ โดยการให้กิน ต้ม เลี้ยว หรือนำสู่ร่างกายสัตว์ โดยวิธีการใด ๆ หรือวัตถุที่มุ่งหมายเพื่อใช้หรือใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารสัตว์ (พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ.2558) ซึ่งวัตถุที่สัตว์กินเข้าไปแล้วสามารถถูกย่อย (Digested) ถูกดูดซึม (Absorbed) แล้วจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ (Utilized) ต่อร่างกายของสัตว์ได้ โดยวัตถุดิบที่นำมาทำเป็นอาหารสัตว์สามารถหาได้จากธรรมชาติ วัสดุเหลือใช้จากโรงงาน วัสดุพลอยได้จากไร่นา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ และปลูกขึ้นเองมีทั้งในรูปแบบพืชอาหารสัตว์และอาหารสัตว์สำเร็จรูป ทั้งนี้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เกษตรกรหรือผู้ผลิตนิยมใช้กันจะมีดังนี้ เช่น กากมะพร้าวคั้นกะทิ หล้ารูซึ่งกากถั่วเหลือง ปลาป่น หล้าขน เปลือกสับประรด เป็นต้น โดยวัตถุดิบที่นำมาทำเป็นอาหารสัตว์จะต้องมีส่วนประกอบทางเคมีและโภชนาการที่สำคัญ เช่น ปริมาณเนื้อแห้ง ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เป็นต้น ซึ่งกากมะพร้าวคั้นกะทิ มีโภชนาการที่ครบถ้วน ทั้งยังเป็นวัสดุเหลือใช้ราคาถูกและหาได้ง่าย ซึ่งการเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ขึ้นกับสูตรมาตรฐานของอาหารสัตว์ประเภทนั้น ๆ และความปลอดภัยของสัตว์เมื่อได้วัตถุดิบเหล่านี้เข้าสู่ร่างกาย โดยการตรวจสอบค่ามาตรฐานทางเคมีในวัตถุดิบที่เป็นมาตรฐานและนิยมใช้กัน คือ วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี (Proximate Analysis) เพื่อให้

ทราบค่าหรือปริมาณส่วนประกอบทางเคมีก่อนนำไปเข้ากระบวนการผลิตอาหารสัตว์ หรือนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์เองสำหรับเกษตรกร แต่วิธีการนี้มีข้อเสียคือ ใช้สารเคมี ทำลายตัวอย่าง และใช้เวลานาน จึงได้มีการนำวิธีตรวจสอบแบบไม่ใช้สารเคมี ไม่ทำลายตัวอย่างและมีความรวดเร็วมาใช้นั้นคือ การใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near-infrared spectroscopy , NIRs)

หลักการการทำงานของ NIRs จะทำการวัดค่าดูดกลืนแสงในช่วงเลขคลื่น $12,500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ แล้วเลือกใช้สมการจากเครื่อง NIRs สำหรับทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งและไขมัน ซึ่งการนำวิธี NIRs มาตรวจสอบค่ามาตรฐานทางเคมีในวัตถุดิบอาหารสัตว์ซึ่งได้แก่ ปริมาณเนื้อแห้ง โปรตีน ไขมัน เป็นต้น ต่างจากวิธีการวิเคราะห์ทางเคมี (Proximate Analysis) หลายอย่าง เนื่องจาก NIRs เป็นวิธีการที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ใช้เวลาในการตรวจสอบรวดเร็ว ไม่ใช้สารเคมี มีค่าออกมาแม่นยำตามมาตรฐานเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธี Proximate Analysis ทั้งยังตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ได้ภายในการตรวจเพียงแค่ครั้งเดียว ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่นำเทคนิค NIRs มาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของพืชที่เป็นวัตถุดิบที่จะนำมาทำอาหารสัตว์เป็นจำนวนมาก อาทิเช่น การตรวจสอบคุณภาพในถั่วลิสง (Fassio et al , 2014) สร้างสมการทำนายคุณค่าทางโภชนาการหญ้าเนเปียร์หมัก (ปฎิมา บุตรชา และคณะ, 2561) การหาปริมาณของสารอาหารของลูกไ้คและหญ้า (Tejerina D et al , 2018) งานวิจัยพบว่ามี ความถูกต้องและแม่นยำในการทำนายค่าต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการวิจัยโดยนำวิธี NIRs มาใช้ในการตรวจสอบค่าปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์ ซึ่งพบว่ายังไม่เคยมีการทำวิจัยในพืชชนิดนี้มาก่อน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการทำนายปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ

1.2.2 เพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

1.3 ความสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง (Expected Learning Outcome) ของหลักสูตร วศ.บ. วิศวกรรมเกษตร (สามารถเลือกได้มากกว่าหนึ่งข้อ)

1. มีความรู้ ความสามารถในการประเมินศักยภาพเพื่อใช้ในการออกแบบและเลือกรูปแบบการให้น้ำ พืช การอนุรักษ์ดินและน้ำ การจัดการแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร

2. มีความรู้ด้านสรีรวิทยาและคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และวิศวกรรมของพืชและสัตว์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถเลือกใช้ขนาดของต้นกำลัง อุปกรณ์ มอเตอร์ ปัม เพื่อการเกษตร

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 4. สามารถบำรุงรักษา ซ่อมบำรุง ทดสอบสมรรถนะเครื่องจักรกลเกษตรเพื่อผลิตพืชและสัตว์
- 5. สามารถออกแบบโครงสร้างโรงเรือนเพื่อการผลิตพืช plant factory และโรงเรือนเพื่อการเลี้ยงสัตว์
- 6. สามารถเลือกใช้งานและบำรุงรักษาโรงจัดเก็บธัญพืชต่าง ๆ
- 7. สามารถออกแบบระบบและเครื่องมือในการแปรสภาพผลิตผลทางการเกษตรและเครื่องมือในการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร
- 8. มีความรู้ด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ด้านการวัด เช่น เซอร์และสมองกลฝังตัว ระบบอัตโนมัติและหุ่นยนต์ทางการเกษตร GPS GIS และ Remote sensing
- 9. มีความรู้ด้าน Data science การใช้สถิติรายงานข้อมูล และการจัดการการเกษตรเชิงพาณิชย์

1.4 ขอบเขตการศึกษา

การใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ที่วัดด้วยเครื่อง FT – NIR Spectrometer ที่ช่วงเลขคลื่น $12,500 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$ ด้วยการวัดแบบสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse reflection) และนำผลของสัญญาณไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าปริมาณเนื้อแห้งและไขมันของกากมะพร้าวคั้นกะทิ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์โดยเตรียมตัวอย่าง 50 ตัวอย่าง โดยกากมะพร้าวคั้นกะทินำมาจากร้านคั้นกะทิสดที่ตลาดเช้าหัวตะเข้ และนำมาเปรียบเทียบกับวิธี Proximate Analysis

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้สมการทำนายปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวคั้น
- 1.5.2 ความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มาตรวจสอบปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ.2563					พ.ศ.2564				
	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค
1. ศึกษาข้อมูลและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
2.เตรียมตัวอย่าง										
3.วัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer										
4.ทดสอบหาปริมาณเนื้อแห้งในกากมะพร้าวคั้นกะทิด้วยวิธีการอบแห้ง										
5.ทดสอบหาปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิด้วยวิธี Soxhlet extraction										
6. วิเคราะห์ผลและสรุปการทดลอง										
7. เขียนรูปเล่มและวิทยานิพนธ์										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะพร้าว

มะพร้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* L. อยู่ในตระกูล *Palmae* มะพร้าว เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากคนไทยรู้จักใช้เนื้อมะพร้าวในการบริโภค สำนักงานสถิติแห่งชาติได้เคยสำรวจพบว่า ประชากรไทย 1 คน จะบริโภคเนื้อมะพร้าวประมาณปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผล/คน/ปี ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีผลเมืองประมาณ 55 ล้านคน จะใช้ผลมะพร้าวประมาณ 990 ล้านผล หรือประมาณ 65% ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือประมาณ 35% ของผลผลิตทั้งหมด หรือ 489 ล้านผล ใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออกต่อไป

2.2 กากมะพร้าว

กากมะพร้าวเป็นขยะผลพลอยได้จากการนำเนื้อมะพร้าวมาคั้นหรือบีบน้ำกะทิออก หรือได้จากการสกัดน้ำมัน มีโปรตีนประมาณ 20 – 26 % และเยื่อใย 10 % คุณภาพของกากมะพร้าวขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการสกัดและอุณหภูมิที่ใช้ในกรรมวิธี ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ลายกรดอะมิโน โดยเฉพาะไลซีนทำให้การย่อยได้ของโปรตีนลดลง ในกากมะพร้าวมีน้ำมันเหลืออยู่สูงทำให้เห็นได้ง่าย ไขมันในกากมะพร้าวเป็นชนิดอิ่มตัวเมื่อนำไปเลี้ยงสัตว์ทำให้ไขมันในซากมีลักษณะเป็นมันแข็ง โปรตีนในกากมะพร้าวมีกรดอะมิโนไลซีนและฮีสทีดีนต่ำ ถ้าใช้มากจะทำให้กรดอะมิโนสองชนิดนี้ไม่พอและมีอัตราการย่อยได้ต่ำ จึงควรเสริมด้วยกรดอะมิโนสังเคราะห์หรือเสริมด้วยอาหารที่มีไลซีนสูง เช่น ปลาป่นหรือเนื้อป่น ระดับการใช้ขึ้นกับชนิดของสัตว์ เช่น สัตว์ปีกไม่ควรเกิน 15 % สุนัขประมาณ 20 % เป็นต้น นอกจากนี้ กากมะพร้าวยังขึ้นราได้ง่าย

2.3 อาหารสัตว์สำเร็จรูป [18]

2.3.1 อาหารหยาบ เป็นอาหารสัตว์ที่มีคุณลักษณะของกาก หรือเยื่อใยมากกว่า 18 %

2.3.1.1 อาหารหยาบสด หมายถึง พืชตระกูลหญ้าและพืชตระกูลถั่วที่ให้สัตว์แทะเล็มกินสดหรือตัดสดมาให้กิน เช่น หญ้าขน หญ้ากินี หญ้าเนเปียร์ หญ้าพื้นเมือง ต้นและใบ กิ่งสด ตลอดจนวัสดุพลอยได้ทางการเกษตรและโรงงาน เช่น ต้นและเปลือกข้าวโพด เปลือกสับปะรด ชานอ้อย เป็นต้น

2.3.1.2 อาหารหยาบแห้ง หมายถึง พืชตระกูลหญ้าและพืชตระกูลถั่วที่ระเหยน้ำออกไปให้เหลืออยู่ในระดับ 20 % ซึ่งยังคงคุณค่าทางอาหารและเก็บรักษาได้ในช่วงฤดูขาดแคลนได้แก่ หญ้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.1.3 อาหารหยาบหมัก หมายถึง พืชอาหารสัตว์ทั้งตระกูลหญ้าและถั่วสด ๆ ที่มีสภาพลำต้นอวบน้ำ นำมาอัดรวมกันในภาชนะที่ไม่มีอากาศ ซึ่งพืชหมักจะยังคงสภาพอวบน้ำและคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับหญ้าสด สามารถเก็บไว้ใช้ในฤดูขาดแคลน เช่น หญ้าหมัก ต้นข้าวโพดหมัก เป็นต้น

2.3.2 อาหารข้น

เป็นอาหารที่มีความเข้มข้นของโภชนะต่อหน่วยน้ำหนักอยู่สูง มีระดับกากหรือเยื่อใยต่ำ เป็นกลุ่มอาหารสัตว์ที่มีสารอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ย่อยง่าย มีกากหรือเยื่อใยน้อย อาหารข้นแบ่งออกเป็น

2.3.2.1 อาหารพลังงาน จัดเป็นอาหารหลักหรืออาหารฐาน (basal feed) มีลักษณะเฉพาะคือ มีระดับโปรตีนในอาหารน้อยกว่า 20 % และกากหรือเยื่อใยน้อยกว่า 18 % เป็นอาหารที่มีค่าของพลังงานที่ย่อยได้สูง เช่น เมล็ดธัญพืช พืชข้าว มันสำปะหลัง ไขมันพืช ไขมันสัตว์ กากน้ำตาล เป็นต้น

2.3.2.2 อาหารเสริมโปรตีน เป็นอาหารสัตว์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะ คือ มีโปรตีนในอาหารมากกว่า 20 % และกากหรือเยื่อใยน้อยกว่า 18 % ซึ่งได้มาจากโปรตีนจากพืช เช่น กากถั่วต่าง ๆ ใบกระถิน เป็นต้น มาจากสัตว์ เช่น ปลาป่น เลือดป่น ขนไก่ป่น เป็นต้น หรือมาจากโปรตีนสังเคราะห์ เช่น กรดอะมิโนสังเคราะห์ ยูเรีย เป็นต้น

2.3.2.3 อาหารเสริมแร่ธาตุ เป็นอาหารสัตว์ที่มีความเข้มข้นของแร่ธาตุเฉพาะอยู่ ซึ่งมาจากแหล่งธรรมชาติและผลพลอยได้จากโรงงาน เช่น เกลือแกง กระดุกป่น ไคแคลเซียม ฟอสเฟต หินปูน เป็นต้น

2.3.2.4 อาหารเสริมวิตามิน เป็นอาหารที่มีลักษณะเฉพาะของความเข้มข้นของวิตามิน ซึ่งได้มาจากอาหารสัตว์โดยตรงหรือจากการสังเคราะห์ขึ้นมา เช่น วิตามิน A วิตามิน D วิตามิน E ไขมันตับปลา แครอทินจากเมล็ดข้าวโพด เป็นต้น

2.3.2.5 สารเติมพิเศษ เป็นสารที่มีคุณลักษณะเฉพาะที่ใช้เติมลงในอาหารสัตว์ โดยไม่ได้โภชนะแก่สัตว์โดยตรง แต่ใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารเพิ่มความน่ากิน กระตุ้นให้สัตว์ย่อยอาหารดีขึ้น ป้องกันและลดอันตรายจากเชื้อโรคในอาหาร เช่น ยาปฏิชีวนะ ฮอร์โมน เอนไซม์ สารสี สารกันหืน สารอัดเม็ด กรดผสมอาหารสัตว์ และจุลินทรีย์ผสมอาหารสัตว์ เป็นต้น

2.4 ปริมาณเนื้อแห้ง

ปริมาณเนื้อแห้งคือปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกค่าหนึ่งในอาหาร ส่วนที่เหลือจากการนำเอาอาหารสัตว์ไปอบที่อุณหภูมิ 102-105°C จนได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งเป็นส่วนประกอบอื่น ๆ ในอาหารที่ไม่ใช่ น้ำ มีสารอาหารคือ พวักที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และสารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุ โดยปริมาณเนื้อแห้งจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดค้านหรือการอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือว่าผิดกฎหมาย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สัดส่วนกลับหรือมีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร ตัวอย่างเช่น ปลาป่นมีน้ำอยู่ประมาณ 30% จะมี % ของปริมาณของแข็งทั้งหมดในอาหารอยู่เท่ากับ $100-30 = 70\%$ เป็นต้น

ปริมาณเนื้อแห้งเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารสัตว์โดยเฉพาะ การเปรียบเทียบคุณค่าโภชนาการจำเป็นต้องปรับอาหารสัตว์ให้อยู่สภาพเดียวกัน คืออยู่ในสภาพไร้ความชื้น หรือที่เรียกว่าปริมาณเนื้อแห้ง (Dry matter) ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ จึงสามารถนำคุณค่าทางโภชนาการมาเปรียบเทียบกันได้

2.5 ปริมาณไขมัน [19]

ไขมันเป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของพืชอาหารสัตว์ สารอาหารที่ให้พลังงานต่อร่างกายมากกว่าโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตประมาณ 2.25 เท่าของปริมาณน้ำหนักแห้งที่เท่ากัน สามารถละลายได้ใน ether, benzene, acetone และ chloroform แต่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ ไขมันทำให้อาหารมีกลิ่นรส มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ให้กรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acids-EFA) และเป็นตัวนำวิตามินบางชนิดที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ วิตามิน เอ ดี อี และ เค ให้เข้าสู่ร่างกาย สารประกอบประเภทไขมัน เมื่ออยู่ในสภาพของเหลว ที่อุณหภูมิปกติเรียกว่า น้ำมัน (Oil) ได้แก่ น้ำมันรำ น้ำมันมะพร้าว ถ้าอยู่ในสภาพครึ่งเหลวที่อุณหภูมิปกติเรียกว่า ไขมัน (Fat) ได้แก่ ไขมันจากสัตว์ แต่ถ้าเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติเรียกว่าไข (Wax) เช่น ไขผึ้ง

ไขมันเป็นโภชนาการที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ เป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นขาดไม่ได้ และห้ามได้รับมากเกินไป ทั้งนี้การผลิตอาหารสัตว์นั้นมักอยู่ในรูปอัดเม็ด การเติมไขมันลงไปในการอัดเม็ดอาหารยังเป็นการช่วยหล่อลื่น ลดแรงเสียดทานระหว่างอาหารกับเครื่องจักร ทำให้อัดเม็ดง่าย ลดความเป็นฝุ่นในอาหาร ลดการสึกหรอของเครื่องจักรและลดต้นทุนการอัดเม็ดอาหารอีกด้วย โดยทั่วไปสูตรอาหารสัตว์ควรมีระดับของไขมันอย่างน้อย 3-5 % ในสูตรอาหาร โดยขึ้นอยู่กับชนิด ประเภท และการให้ผลผลิตของสัตว์ การให้ไขมันในอาหารสูงเกินไปจะทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง

2.6 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ [13]

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอาหารสัตว์โดยทั่วไปใช้วิธีวิเคราะห์ที่เรียกว่า Proximate Analysis ซึ่งหมายถึงค่าที่วิเคราะห์ได้โดยประมาณ จะรายงานบนพื้นฐานร้อยละปริมาณเนื้อแห้ง (% dry matter basis, DM) มีโดยแบ่งโภชนาการออกเป็น 6 กลุ่มใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.1 ความชื้น (Moisture)

เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เหลืออยู่ในอาหารสัตว์ ส่วนประกอบของน้ำในอาหารสัตว์ มี 3 รูป (form)

1. Free water คือ น้ำที่อยู่อย่างอิสระในอาหารสัตว์
2. Bond water น้ำที่ประกอบอยู่ในรูปอาหารสัตว์ในรูปไฮเดรต (hydrate) โดยมี hydrogen bond ยึดไว้
3. Adsorbed water น้ำที่ถูกดูดซึมห่อหุ้มอยู่รอบ ๆ ผิวของส่วนประกอบของอาหารสัตว์ในลักษณะที่เป็นชั้นบาง ๆ โดยมีแรงดูดของโมเลกุลยึดไว้

อาหารสัตว์แต่ละชนิดมีส่วนที่เป็นน้ำทั้ง 3 รูป ในปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งมีผลต่อปริมาณโภชนะในอาหารสัตว์แตกต่างกัน และอาจเกิดปัญหาจากเชื้อราในการเก็บรักษา อาหารสัตว์ในสภาพแห้งปกติ มีความชื้น 10 - 13 % วิธีการวิเคราะห์หาความชื้นที่นิยมมากคือ การนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง หรือ 135 °C 2 ชั่วโมง น้ำจะระเหยกลายเป็นไอออกจากอาหารสัตว์ ส่วนที่เหลือ เรียกว่าปริมาณเนื้อแห้ง (dry matter)

$$\% \text{ปริมาณเนื้อแห้ง (DM)} = 100 - \% \text{ความชื้น (Moisture)} \quad (1)$$

2.6.2 เถ้า (Ash)

เถ้าเป็นส่วนของสารอนินทรีย์ (inorganic) ที่เป็นองค์ประกอบที่ไม่ให้พลังงาน หรืออินทรีย์สารใด ๆ เถ้าที่วิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เถ้าที่สามารถละลายได้ในกรด ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เหล็ก ทองแดง สังกะสี ฯลฯ และเถ้าที่ไม่ละลายในกรด คือพวกธาตุซิลิกา หรือทราย ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์ ดังนั้นปริมาณเถ้าจึงหมายถึงปริมาณแร่ธาตุทั้งหมด สามารถวิเคราะห์ได้โดยนำเถ้ามาละลายในกรด ซึ่งเถ้าที่ไม่ละลายก็คือทราย หรือนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 550-600°C ส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์จะถูกเผาไหม้หมดไป เหลืออยู่แต่ส่วนของสารอนินทรีย์ เป็นค่าโดยประมาณของแร่ธาตุทั้งหมด แต่การวัดดังกล่าวมีคุณค่าในแง่ของปุ๋ย และเป็นแนวทางในการให้แร่ธาตุเสริมแก่สัตว์ ธาตุอาหารที่ได้รับการวิเคราะห์ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และ ซัลเฟอร์

2.6.3 โปรตีนรวม (Crude Protein, CP)

โปรตีนคือกรดอะมิโนที่ต่อกันเป็นสายยาว ซึ่งในกรดอะมิโนมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในการวิเคราะห์โปรตีนในอาหารสัตว์นั้นจะวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและคำนวณกลับไปเป็นโปรตีน โดยใช้ปริมาณไนโตรเจนคูณด้วยแฟคเตอร์ (โดยทั่วไปแล้วโปรตีนมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ย 16% ($100/16 = 6.25$) ค่าแฟคเตอร์ของโปรตีนในอาหารสัตว์เฉลี่ยเท่ากับ 6.25) ดังนั้นโปรตีนที่

ไม่ผ่านการวิเคราะห์ได้อาจเป็นไนโตรเจนที่มาจากกรดอะมิโนถือว่าเป็นโปรตีนแท้ (True protein) หรือไนโตร-

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เจนที่ไม่ได้มาจากกรดอะมิโนนั้นเรียกว่าไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Non Protein Nitrogen, NPN) ดังนั้นหากวัตถุดิบ มีการปนเปื้อนด้วยแหล่งที่ให้ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน เมื่อวิเคราะห์ระดับโปรตีนในวัตถุดิบก็ส่งผล วิเคราะห์ให้มีโปรตีนระดับสูงได้เช่นกัน

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน วิเคราะห์หาในรูปของปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl แล้วคำนวณกลับเป็นปริมาณโปรตีน โดยตัวอย่างจะถูกย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4 , conc.) ในรูปที่มีความร้อน และตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) จนสารละลายไฮดรอกไซด์จะสลายไป สารประกอบไนโตรเจนทั้งส่วนที่เป็นโปรตีนแท้และไม่โปรตีน ยกเว้นที่อยู่ในรูปไนเตรท (Nitrate, NO_3) ไนไตรท์ (Nitrite, NO_2) จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 40% (w/v) ลงไป แล้วไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์แก๊สแอมโมเนียที่กลั่นได้โดยใช้กรดบอริกที่มีความเข้มข้น 4% (w/v) เป็นตัวดักจับ นำไปไตเตรทหาไนโตรเจนด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 0.1 (w/v) เพื่อหาปริมาณกรดที่ใช้ทำปฏิกิริยาก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนได้ ดังนั้นจึงคำนวณหาโปรตีนหยาบ (Crude protein) โดยใช้สูตร

$$\%CP = \%N \times 6.25 \quad (2)$$

2.6.4 ไขมัน (Crude Fat, CF)

ไขมัน หรือน้ำมัน เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายไขมัน เช่น อีเทอร์ เฮกเซน เป็นต้น การวิเคราะห์ไขมันจึงเป็นการนำตัวอย่างมาสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ ปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้นั้นเป็นไขมัน น้ำมัน หรือสารที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ

การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (Crude Fat) โดยวิธีตรง (Direct extraction methods) เป็นวิธีการสกัดโดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่าง ๆ โดยทั่วไปส่วนประกอบที่เป็นไขมันในอาหารจะเป็นสารประกอบจำพวกลิพิดซึ่งสกัดออกได้ด้วยอีเทอร์ จัดเป็นสารละลายที่ไม่มีขั้ว (non-polar solvent) สารที่สกัดได้เรียกว่า สารที่สกัดได้จากอีเทอร์ (Ether extract หรือ crude fat) เป็นลิพิดอิสระ (free lipid) ที่พบในอาหารนั้น แต่ถ้าทำการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ ส่วนที่สกัดได้จะมีส่วนประกอบอื่นติดอยู่กับไขมันปนอยู่ด้วย

ดังนั้นสารละลายที่ใช้ในการสกัดไขมันนั้นควรมีความสามารถสูงในการละลายไขมัน และมีความสามารถต่ำในการละลายสารพวกโปรตีน กรดอะมิโนและคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้แล้วควรเป็นสารละลายที่ระเหยได้ง่ายและไม่มีสารตกค้าง มีจุดเดือดต่ำ ไม่มีควัน และไม่เป็นพิษ ทั้งในรูปของเหลวและไอระเหย สารละลายนี้ควรมีความสามารถที่จะทะลุอนุภาคของตัวอย่าง มีองค์ประกอบเดียว เพื่อ

หลีกเลี่ยงการแตกตัว มีราคาไม่แพงและไม่ดูดความชื้น สารละลายที่เป็นที่นิยมใช้ในการสกัดไขมันได้แก่ เอธิลอีเทอร์ และปิโตรเลียมอีเทอร์ ขณะที่การสกัดน้ำมันจากถั่วเหลืองจะใช้ สารละลายเพนเทน และเฮกเซน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขั้นตอนการวิเคราะห์ไขมันมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

Extraction คือ ขั้นตอนการสกัด

Rising คือ ขั้นตอนการชะล้างเป็นการชะล้างไขมันลงเก็บไว้ในปีกเกอร์

Drying คือ ขั้นตอนการทำแห้ง โดยจะไล่ Solvent ออกจากปีกเกอร์ให้เหลือแต่ไขมันในปีกเกอร์

$$\% \text{Crude fat, hexanes extract} = (F-T)/S * 100 \quad (3)$$

F คือ น้ำหนักถ้วย+ไขมันที่สกัดได้, กรัม

T คือ น้ำหนักถ้วย, กรัม

S คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้, กรัม

2.6.5 เยื่อใย (Crude fiber, CF)

ในทางโภชนาการสัตว์หมายถึงส่วนที่สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยและใช้ประโยชน์ได้ แต่มีความสำคัญต่อการขับถ่ายของสัตว์ โดยวัตถุดิบที่มีเยื่อใยระดับสูงจะเป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้ในสูตรอาหารสัตว์ เนื่องจากจะมีผลต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาด้วย

2.6.6 คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (Nitrogen free extract, NFE)

คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (NFE) หมายถึงส่วนของแป้งและ น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ เป็นค่าที่ไม่ได้จากการวิเคราะห์ แต่ได้จากการนำค่าต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ ได้จากข้างต้นทั้งหมดหักออกจากค่าปริมาตรเนื้อแห้ง

$$\% \text{NFE} = \% \text{DM} - \% \text{Ash} - \% \text{CP} - \% \text{EE} - \% \text{CF} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 ตารางการแบ่งช่วงคลื่น

อินฟราเรดย่านใกล้จะอยู่ในช่วงรังสีอินฟราเรด โดยมีตำแหน่งติดกับรังสีอินฟราเรดย่านกลาง และรังสีวิสิเบิล (Visible light) มีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 700 ถึง 2,500 (14,300-4,000) ช่วงคลื่นอินฟราเรด (IR) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ช่วงคลื่นอินฟราเรด [4]

ช่วงคลื่น	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	จำนวนคลื่น (cm^{-1})
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	700-2,500	14,300-4,000
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR or fundamental IR)	2,500-50,000	4,000-200
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	50,000-1,000,000	200-10

2.8 การทำ Validation แบบ Full cross validation

Full cross validation เป็นการทดสอบภายในกลุ่มตัวอย่าง (Internal validation) โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการ คือ ตัวอย่างชุดเดียวกับที่ใช้สร้างสมการทำนายค่าทางเคมี โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ ตัดตัวอย่างที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการทำนายค่าทางเคมี จากนั้นใช้ตัวอย่างที่เหลือทำการคำนวณหาสมการ เมื่อได้สมการแล้วจึงนำตัวอย่างที่ 1 มาทดสอบสมการ ขั้นต่อไปใส่ตัวอย่างที่ 1 กลับคืน และตัดตัวอย่างที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่าง แล้วจึงสร้างสมการทำนายค่าทางเคมี นำสมการที่ได้การทำนายของตัวอย่างที่ 2 ทำขั้นตอนข้างต้นซ้ำจนกระทั่งหาค่าทางเคมีของตัวอย่างครบทั้งชุด ดังนั้นตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นจะถูกตัดออกจากชุดตัวอย่างที่ 1 ครั้งเท่ากัน ทำการหาค่า RMSECV (Root square error of cross validation)

2.9 การทำ Repeatability และ Reproducibility

Repeatability (ความสามารถในการทวนซ้ำ) มีนิยามคือ ความสามารถในการทวนซ้ำของเครื่องมือวัด ซึ่งแสดงถึงระดับความถูกต้องใกล้เคียงกันของผลการวัดที่ได้จากการวัดหลาย ๆ ครั้ง ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน โดยการวัดทั้งหมดต้องอยู่ภายใต้วิธีการวัด ผู้ทำการวัด และสภาพแวดล้อมเดียวกัน หรือการแสดงถึงความเที่ยงตรง (precision) ของเครื่องมือวัด

Reproducibility (ความสามารถในการทำซ้ำ) มีนิยามคือ ระดับความใกล้เคียงกันของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด (instrument) ในเวลาที่แตกต่างกัน หรือค่าความสามารถในการแสดงค่าซ้ำ โดยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดก็ตามโดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วัดครั้งหนึ่ง ๆ สามารถเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขดังต่อไปนี้ เช่น วิธีการวัด ผู้วัด รวมถึงสภาวะแวดล้อม ซึ่งค่า reproducibility เกี่ยวข้องกับค่าความเที่ยงตรง (precision) ของเครื่องมือวัด แสดงความสัมพันธ์กับคุณลักษณะการเลื่อน (drift) ของเครื่องมือวัด

2.10 การวิเคราะห์ค่าผิดปกติ (Outlier)

การตัดตัวอย่างที่มีค่าผิดปกติออกจากผลการทดลอง เพื่อให้ผลการทดลองมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นโดยมีสมการดังนี้

$$\frac{x - \bar{x}}{SD} > 3 \quad (5)$$

โดยที่ x คือ ค่าปริมาณเนื้อแห้งหรือปริมาณไขมันที่ได้จากวิธีทางเคมี

\bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณเนื้อแห้งหรือปริมาณไขมัน

SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.11 เทคโนโลยีสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy) [15]

เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIRs) เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการอันตรกิริยา (Interaction) เมื่อคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) (ความยาวคลื่นระหว่าง 800-2500 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) ซึ่งมีแหล่งแสงที่ให้ช่วงคลื่น NIR

สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ปกติเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten halogen) ซึ่งตัวตรวจจับ (Detector) ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำจากสารต่างๆ ขึ้นอยู่กับช่วงคลื่นที่ต้องการตรวจจับ เช่น ช่วงคลื่น 350-1100 nm ใช้ Si (Silicon) ช่วง 1100-2500 nm ใช้ PbS (Lead sulphide) หรือ InGaAs (Indium Gallium Arsenide) ช่วงแสงที่มองเห็นได้และช่วง NIR (400-2600 nm) ใช้ PbS ควบคู่ (Sandwiched) กับ Silicon photodiodes

เทคนิคในการวิเคราะห์ตัวอย่าง การจัดลักษณะการวางตัวอย่างเพื่อให้ได้สเปกตรัมที่สัมพันธ์กับปริมาณค่าทางเคมีที่สนใจโดยใช้เทคนิค NIRs ได้แก่ [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
1. Transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตก
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
กระทบ ตัวอย่าง (sample: s) ไปยังเครื่องตรวจจับ (detector: d) ดังรูปที่ 2.1 ก

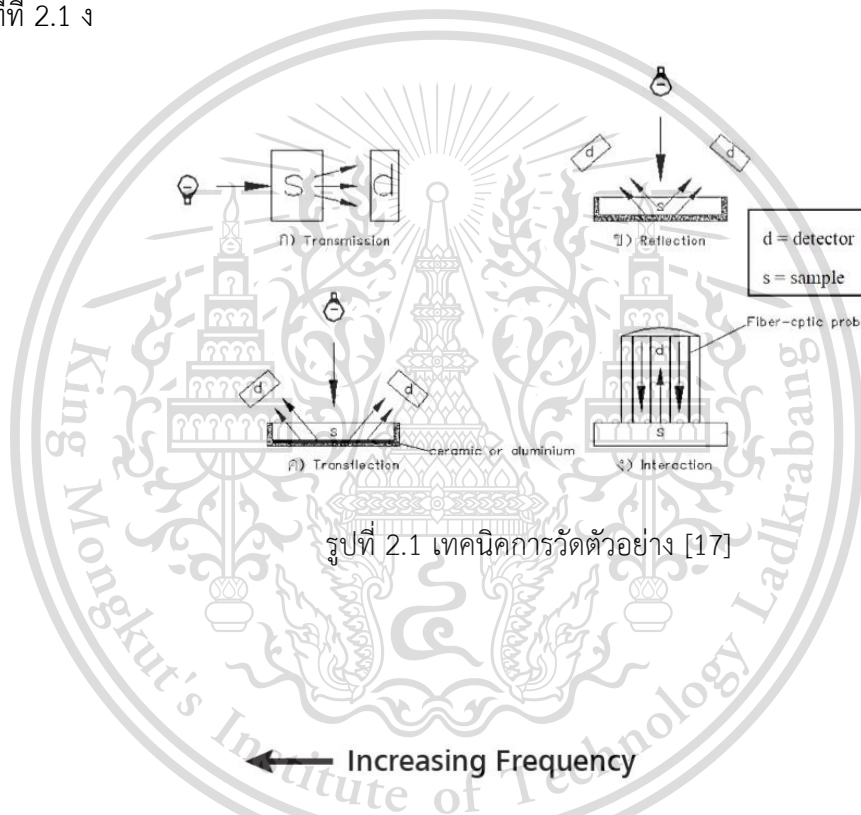
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

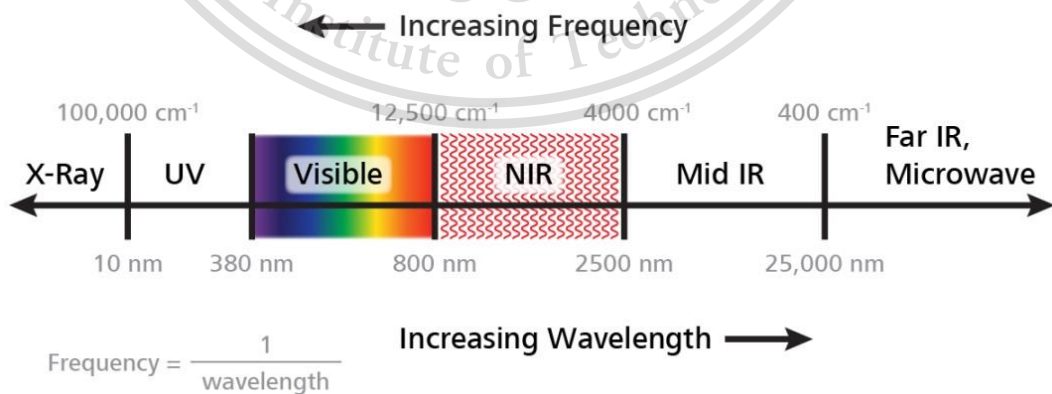
2. Reflection แสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง แล้วจึงวัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมา โดยรวมถึง แสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย ดังรูปที่ 2.1 ข

3. Transfection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิกทอง หรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุด แล้วสะท้อนกลับมายัง detector (d) ดังรูปที่ 2.1 ค

4. Interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่งผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านบนนอกมาตกกระทบตัวอย่าง แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากการดูดซับพลังงานของวัสดุต่าง ๆ กันขึ้นกับองค์ประกอบภายในวัสดุทำให้เกิดสเปกตรัมของการดูดซับคลื่นที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน เนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics probe ดังรูปที่ 2.1 ง



รูปที่ 2.1 เทคนิคการวัดตัวอย่าง [17]



รูปที่ 2.2 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เนื่องจากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมจะมีลักษณะพีกเป็นพีกกว้าง (Broad spectrum) หรืออาจเรียกว่าเป็นแถบของการดูดกลืนแสง (absorption band) บางที่มีพีกกว้างที่มีความเข้มสูง เนื่องจากการซ้อนทับกัน (Overlapping bands) สเปกตรัมของวัสดุเกษตรและอาหารส่วนใหญ่มีพีกของน้ำเป็นพีกใหญ่และกว้างที่บริเวณ 760, 970, 1450 และ 1940 nm ลักษณะของสเปกตรัมเช่นนี้ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้หลักทางเคมีเมตริก (Chemometric) มาใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยต้องทำสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบทางเคมีหรือสมบัติทางกายภาพที่หรือสมบัติอื่นที่ต้องการวิเคราะห์กับข้อมูลของสเปกตรัมซึ่งเรียกว่าข้อมูลเชิงแสง (Optical data) เพื่อประมาณค่าองค์ประกอบหรือสมบัติที่ต้องการ

2.11.1 หลักการทำงานของเครื่อง Near Infrared Spectrometer (NIRs)

อาศัยการดูดกลืนพลังงานแสงในแต่ละความยาวคลื่นของสารแต่ละชนิด ซึ่งมีการดูดกลืนพลังงานแสงที่ไม่เท่ากัน โดยจะใช้แสงแต่ละความยาวคลื่น ส่องเข้าไปยังตัวอย่างและวัดค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมา เปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่ส่องเข้าไป (reflectance type) หรือวัดความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่าง เปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่ส่องเข้าไป (transmittance type) กระทำที่ละความยาวคลื่นและนำค่าความเข้มแสงที่ได้มาเขียนกราฟโดย ให้แกนนอนเป็นค่าความยาวคลื่น แกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสง หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกนำไปวิเคราะห์ การแยกแสงออกเป็นทีละความยาวคลื่นนี้ เรียกว่า โมโนโครเมเตอร์ (monochromator)

การทำงานของเครื่อง NIRs ประกอบด้วย ระบบ Digital Dispersive Grating แสงจากแหล่งให้พลังงานแสงจะถูกกระจายและควบคุมด้วยระบบโมโนโครมาเตอร์ให้อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการส่งผ่านไปยังตัวอย่าง และวัดปริมาณแสงที่ตัวอย่างดูดกลืนไว้ แล้วแปลงเป็นสัญญาณส่งเข้าสู่ส่วนประมวลผลตามลำดับ ในส่วนของโปรแกรมการทำงานจะบันทึกปริมาณแสงที่ตัวอย่างดูดกลืนไว้เทียบกับความยาวคลื่นต่าง ๆ (Spectrum) แล้ว นำมาจับคู่ (Matching) กับค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทราบจากห้องปฏิบัติการ เป็น Secondary Method นั่นคือ เป็นเครื่องที่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ที่เป็น Primary Method เป็นตัวอ้างอิง แล้วนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและสแกนด้วยเครื่อง NIRs ได้สเปกตรัม นำผลที่ได้มากรอกข้อมูลและสร้างสมการการวิเคราะห์ โดยที่เทคโนโลยีของ NIRs สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว ให้ผลเที่ยงตรงและ แม่นยำ วิเคราะห์ได้หลายค่าในการวัดเพียงครั้งเดียว (multiple components per measurement) (พรพนทิพย์, 2551)

2.12 การเลือกวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น (Selecting the Data Preprocessing Model Method) [11]

วิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่มีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองของสเปกตรัมในทางที่อัลกอริทึม Partial least squares (PLS) สามารถให้ความสัมพันธ์ที่ระหว่างสเปกตรัมกับข้อมูลความเข้มข้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.12.1 การลบโดยค่าคงที่ (Subtraction of a Constant Offset)

สเปกตรัมจะถูกปรับแบบเชิงเส้นเพื่อให้ค่า Y ที่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์ เพื่อเป็นการกำจัดปัญหาการขยับขึ้นของเบสไลน์ (Baseline Shift) เชิงเส้น ซึ่งอาจเกิดจากค่าที่แตกต่างกันของการขยายสัญญาณของดีเทคเตอร์ (Detector Amplification)

2.12.2 การลบโดยเส้นตรง (Subtraction of a Straight Line)

ในแต่ละช่วงความถี่ที่เลือกไว้ เส้นตรงเส้นหนึ่งจะถูกฟิตเส้นสเปกตรัมโดยใช้วิธี $partial$ least squares (PLS) เส้นตรงเส้นนี้จะถูกลบออกจากสเปกตรัมดังกล่าว เป็นการกำจัดปัญหาความเอียงเชิงเส้นของการขยับขึ้นของเบสไลน์ (ดูรูปที่ 2.7)

2.12.3 Smoothing

เป็นการหาค่าเฉลี่ยคลื่นโดยมีการแทนค่าการดูดกลืนแสง แต่ละความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางในช่วงความยาวคลื่นตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ ต่อจากนั้นเลื่อนช่วงไปหนึ่งความยาวคลื่น แล้วนำมาคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ซึ่งสามารถลดปัญหาของสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสง จะได้สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมดั้งเดิมแต่จะเรียบสม่ำเสมอมากกว่า

2.12.4 Vector Normalization

ขั้นแรกหาสเปกตรัมกลางของสเปกตรัมทั้งหมด จากนั้นคำนวณผลรวมของค่ายกกำลังสองของค่า Y ทั้งหมด และหารสเปกตรัมใดๆ ด้วยค่ารากที่สองของผลรวมนี้ vector norm ของสเปกตรัมที่ได้จะเท่ากับ 1 เสมอ

สเปกตรัมจะประกอบด้วยสองส่วนของข้อมูล คือความสูงของแถบการดูดซับและโครงสร้าง แต่เมื่อทำการนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ข้อมูลการดูดซับจะหายไป เหลือเพียงโครงสร้างข้อมูล การนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) มักถูกใช้เพื่อการกำจัดผลกระทบของเส้นทางผ่านเชิงแสง (Optical Path Length) ที่แตกต่างกัน ในกรณีของการวัดแบบส่องผ่าน ความยาวของเส้นทางผ่านเชิงแสงทำให้ความสูงของสัญญาณเปลี่ยนแปลง แต่โครงสร้างยังเหมือนเดิม ในทำนองเดียวกัน การวัดแบบสะท้อนแบบแพร่จะมีผลกระทบของการรบกวนเนื่องจากความหนาแน่นของวัสดุแตกต่างกันหรือขนาดอนุภาคแตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้ก็จะลดลง

2.12.5 Min-Max-Normalization (สำหรับสเปกตรัมการดูดซับคลื่น)

สเปกตรัมจะถูกขยับเชิงเส้นเพื่อให้ค่า Y ที่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์แล้วสเปกตรัมจะถูกขยาย

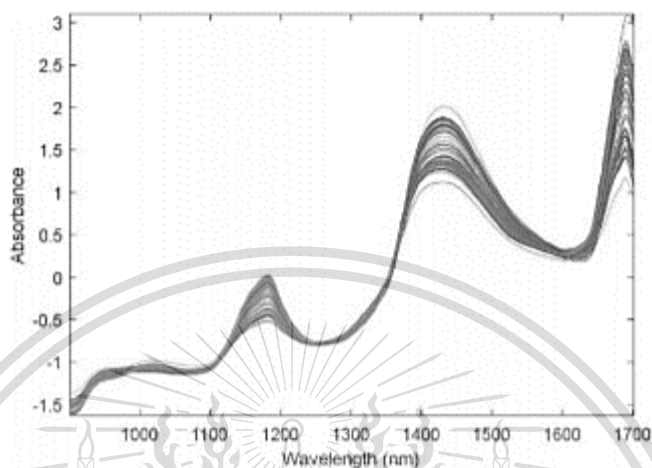
เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น การใช้งานเทียบได้กับ Vector
ไม่ว่ากรณีใด Normalization ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

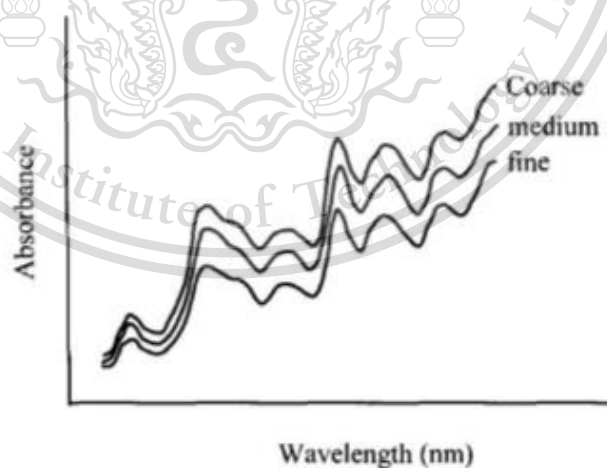
2.12.6 Multiplicative Scatter Correction (MSC)

มักจะใช้สำหรับการวัดแบบการสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse reflection) และแบบ Transmission มักเกิดการกระเจิงแสง ดังนั้นได้มีการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า MSC มาปรับแต่งสเปกตรัม เป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัมเพื่อลดการกระเจิงแสง



รูปที่ 2.3 สเปกตรัม NIR ที่ได้รับผลกระทบแบบ Multiplicative effect ก่อนปรับแก้ด้วย MSC

เป็นวิธีการที่ช่วยลดผลจากการกระเจิงของแสง ซึ่งโดยทั่วไปการกระเจิงของแสง ทำให้ความชันของสเปกตรัมโดยรวมเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 2.3 คล้ายกับว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่ความยาวคลื่นต่ำสุด



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแบ่งที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 3 ขนาดแต่มีค่าทางเคมีเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.4 เป็นตัวอย่างสเปกตรัมที่ได้รับผลแบบ Multiplicative effect โดยในรูปเป็นแป่งที่มี ส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกันแต่ถูกบดให้มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 3 ขนาด จะพบว่าตัวอย่างที่มีอนุภาค ใหญ่จะดูดกลืนแสงมากกว่าตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าและผลที่เกิดขึ้นจะทำให้สเปกตรัมแตกต่างกัน มากขึ้นที่ความยาวคลื่นสูง ซึ่งเปรียบเสมือนว่าจะทำให้สเปกตรัมหมุนรอบจุดเริ่มต้นเป็นมุมแตกต่างกัน เนื่องจากการกระเจิงแสงที่เกิดจากขนาดอนุภาคที่ต่างกัน Martens และ Russwurm (1983) คิดค้นวิธีทาง คณิตศาสตร์ที่ทำให้สเปกตรัมแต่ละอันหมุนกลับมาที่เดิม เพื่อให้สเปกตรัมตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ยของตัวอย่าง ทั้งหมดให้มากที่สุด

ทำการหมุนสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย มีขั้นตอน คือ ในแต่ละตัวอย่างต้องหาค่าคงที่ค่าหนึ่งมาลบออกจากสเปกตรัมเพื่อลดผลที่เกิดจากการเลื่อนตัวของสเปกตรัม และต้องหาค่าคงที่อีกค่าหนึ่งมาหาร ค่า $\log(1/R)$ ของทุก ๆ จุดเพื่อปรับความชันของสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป ได้สเปกตรัมดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สเปกตรัม NIR ที่ได้รับผลกระทบแบบผลคูณ (multiplicative effect) หลังจากปรับแก้ด้วย MSC

ขั้นตอนแรกเฉลี่ยสเปกตรัมจากทุกๆสเปกตรัมของชุดข้อมูลคาลิเบรชัน แต่ละสเปกตรัม $X(i)$ จะถูกแปรไปตามสมการ

$$X(i)' = u + v \cdot X(i) \quad (6)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ u และ v จะถูกเลือกเพื่อให้มีความแตกต่างระหว่างสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงแล้ว $X(i)'$ กับสเปกตรัมเฉลี่ยน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

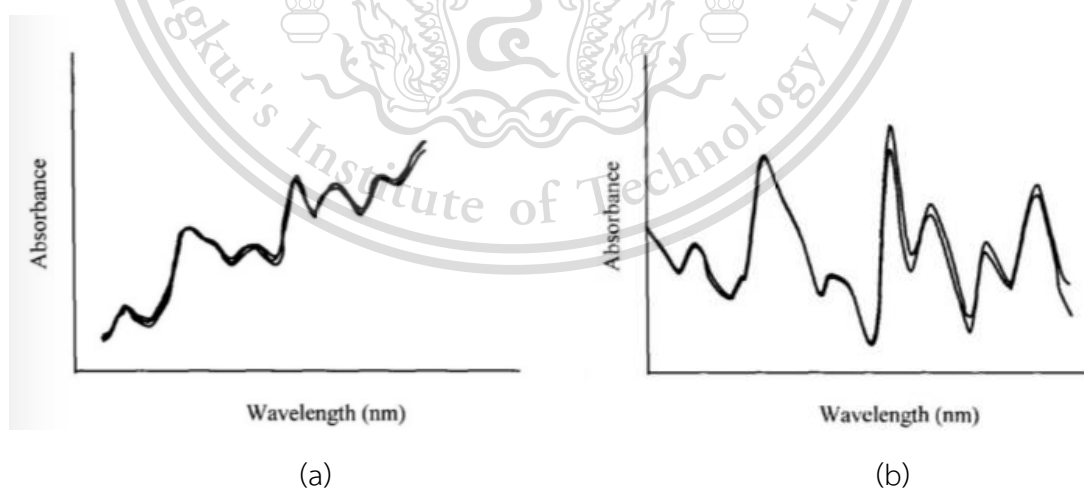
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.12.7 วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานและการปรับแนวโน้ม (Standard Normal variate (SNV) และ Detrending) [10]

ตัวอย่างที่ถูกวัดด้วยวิธีการสะท้อนแบบแพร่ (diffuse reflectance) โดยทั่วไปจะทำให้เกิดสเปกตรัม ที่แตกต่างกันอันเนื่องมาจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของอนุภาคในตัวอย่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการ กระเจิงแสงที่สูงและเป็นสาเหตุให้เกิดความแปรปรวนส่วนใหญ่ในข้อมูลที่วัดได้

ขนาดของการกระเจิงแสงจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสง ขนาดอนุภาค และดัชนีหักเหของ ตัวอย่าง เพราะฉะนั้นการกระเจิงแสงจึงเกิดไม่สม่ำเสมอตลอดช่วงสเปกตรัม โดยทั่วไปการกระเจิงแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวขึ้นในแนวตั้งของสเปกตรัมทั้งเส้นการเคลื่อนตัวและทำให้เกิดการหมุนของเส้นสเปกตรัม หรือทำให้สเปกตรัมมีความโค้งเพิ่มขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้อิทธิพลของการกระเจิงแสงจะเกิดมากที่สุดที่ช่วง ความยาวคลื่นสูงที่ส่วนปลายสเปกตรัม (รูปที่ 2.6)

วิธีการกำจัดอิทธิพลของการกระเจิงแสงออกจากสเปกตรัมอีกวิธีหนึ่งคือ การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (Standard Normal Variate, SNV) โดยเป็นวิธีที่มักจะใช้คู่กับการปรับแนวโน้มของเส้น สเปกตรัม (detrending) โดยใช้การปรับแก้ด้วย SNV แล้วจึงตามด้วยการปรับแก้แนวโน้มหรือการลดความ โน้มเอียงเส้นสเปกตรัม ทั้งนี้เพื่อปรับแก้ผลที่เกิดจากการกระเจิงแสงที่มักจะส่งผลเป็นแบบผลคูณต่อค่าการ ดูดกลืนแสง โดยผลจากการปรับแก้จะคล้ายคลึงกับวิธีปรับแก้แบบ MSC ส่วนวิธีการปรับแนวโน้มนั้นจะใช้ต่อ จากวิธี SNV เพื่อปรับแก้เพิ่มเติมโดยเป็นวิธีที่ลดความแปรปรวนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของเส้น



รูปที่ 2.6 สเปกตรัม NIR ที่ปรับแก้ (a) ด้วยวิธี SNV

และเพิ่มเติม (b) ด้วยวิธีการปรับแนวโน้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สเปกตรัม (baseline shift) แต่โดยทั่วไปการปรับแก้ด้วยวิธี SNV อย่างเดียวก็เพียงพอวิธีการปรับแนวโน้ม จะใช้ต่อจากวิธี SNV เสมอจะไม่ถูกนำมาใช้เพียงลำพังวิธีเดียว

กระบวนการปรับแก้แบบ SNV จะแตกต่างจากวิธี MSC โดยไม่จำเป็นต้องใช้สเปกตรัมอ้างอิงเหมือนในวิธี MSC ที่ต้องใช้สเปกตรัมเฉลี่ยเป็นค่าอ้างอิง ในวิธี SNV สเปกตรัมแต่ละเส้นจะถูกปรับแก้โดย ปรับค่าการดูดกลืนให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (normalization) คล้ายกับการคำนวณค่ามาตรฐาน หรือ ค่า 2 ในทางสถิติ โดยปรับแก้ให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมมีค่าเป็นศูนย์ด้วยการนำค่าเฉลี่ยของสเปกตรัม (ค่าการ ดูดกลืนแสง) ของตัวอย่างนั้นๆ มาลบออกจากค่าสเปกตรัมที่แต่ละความยาวคลื่น ตลอดช่วง และปรับแก้ค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานให้เท่ากับหนึ่งโดยนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณ จากค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัม ตลอดช่วงมาหารค่าสเปกตรัมหรือค่าการดูดกลืนแสงที่แต่ละ ความยาวคลื่น ดังแสดงในสมการด้านล่าง

$$A_{i(snv)} = \frac{(A_i - \bar{a}_i)}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^p (A_{i,j} - \bar{a}_i)^2}{(p-1)}}} \quad (7)$$

โดยที่ $A_{i,j}$ คือ ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น j (ความยาวคลื่นมีทั้งหมด p ความยาวคลื่น) ของ ตัวอย่าง i และ \bar{a}_i คือ ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนตลอดช่วงสเปกตรัมของตัวอย่าง

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณมาจากค่าการดูดกลืนแสงของเส้นสเปกตรัมแต่ละเส้นที่ ต้องการปรับแก้ของตัวอย่างนั้นๆ เองโดยอิสระ เมื่อปรับแก้แล้วจะได้สเปกตรัมคล้ายคลึงกับ รูปที่ 2.6

ขั้นตอนต่อมาคือการปรับแก้แนวโน้มของสเปกตรัมซึ่งจะใช้ข้อมูลของสเปกตรัมนั้นๆ โดยอิสระจาก สเปกตรัมอื่น วิธีการปรับแก้เริ่มจากการคำนวณสร้างสมการแนวโน้มในรูปแบบโพลีโนเมียล อันดับสาม (quadratic polynomial) ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยลีสตแควร์ (linear least square regression) หรือหา สมการที่เป็นตัวแทนเส้นสเปกตรัมได้ดีที่สุด หลังจากนั้นนำค่าของสมการโพลีโนเมียลที่ได้ในแต่ละความยาว คลื่นไปลบออกจากค่าการดูดกลืนแสงที่ปรับแก้ด้วยวิธี SNV แล้วที่ความยาวคลื่นนั้นๆ ก็จะได้สเปกตรัมที่ ปรับแก้แล้วดังที่แสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งจะชัดเจนและปรับแก้ผลที่เกิดจากขนาดอนุภาคและความแน่นของ ตัวอย่างที่เกิดจากการบรรจุที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการปรับแนวโน้มที่ชัดเจนอย่างหนึ่งคือจะช่วยเน้นให้ ยอดของสเปกตรัมมีความเด่นชัดขึ้น

2.12.8 การปรับเป็นค่ามาตรฐาน (Normalization)

การปรับแต่งโดยวิธีการปรับเป็นค่ามาตรฐาน (normalization) นี้โดยทั่วไปเป็นการปรับแก้กลุ่มของ สเปกตรัมเพื่อให้ได้สเปกตรัมมีจุดที่สำคัญเด่นชัด และเป็นการกำจัดความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปัจจัย ต่างๆ ที่ไม่ต้องการออกไป ซึ่งจะช่วยให้สามารถศึกษาทำความเข้าใจความสัมพันธ์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระหว่างสเปกตรัมกับค่า ทางเคมีที่วิเคราะห์ได้ดีขึ้น หรือเป็นการลดความซับซ้อนของข้อมูลช่วยให้นำข้อมูลสเปกตรัมไปทำสมการ ปรับเทียบ (Calibration equation) ได้ง่ายขึ้น

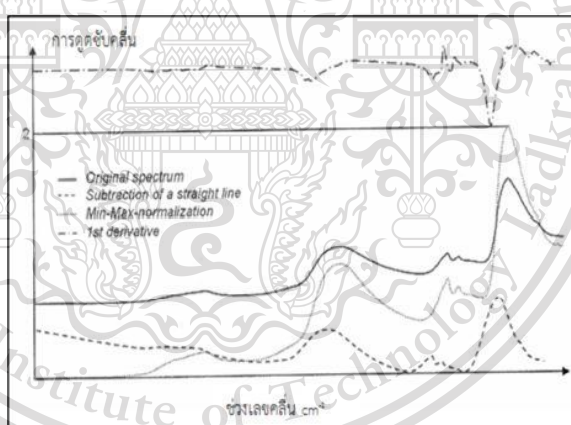
2.12.9 อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First Derivative)

คำนวณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของสเปกตรัม (รูปที่ 2.7) สัญญาณที่มีความชันจะถูกเน้นมากกว่าสัญญาณที่ค่อนข้างแบนราบ วิธีนี้จะถูกใช้เน้นลักษณะที่ชัดเจน แต่มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่มีแถบการดูดซับคลื่นที่กว้าง การประยุกต์ใช้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ การประเมินแถบการดูดซับคลื่นที่กว้าง ซึ่งจะมีรูปร่างที่สูงชันขึ้น สามารถประเมินได้ง่ายขึ้น

ข้อควรระวังเมื่อใช้อนุพันธ์เป็นการจัดการข้อมูลเบื้องต้น สัญญาณรบกวน (noise) จะถูกจัดการเช่นกัน สิ่งนี้จะซ้อนทับบนสเปกตรัมเป็นสิ่งรบกวนเพิ่มเติม และสามารถทำให้สัญญาณของตัวอย่างเลวลง

2.12.10 อนุพันธ์ที่สอง (Second Derivative)

คำนวณอนุพันธ์อันดับสองของสเปกตรัมนั้น เมื่อเทียบกับอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง แม้โครงสร้างที่ราบเรียบมากๆสามารถประเมินได้ ผลการรบกวนของสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยทั่วไปมีมากจนทำให้สเปกตรัมถูกวิเคราะห์ในช่วงสเปกตรัมที่จำกัดมากๆ



รูปที่ 2.7 สเปกตรัม NIR วัดแบบการสะท้อนแบบแพร่ [11]

รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นอิทธิพลของวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นแบบต่างๆต่อลักษณะสเปกตรัมของNIR (การวัดมือคนด้วยหัววัดไฟเบอร์ออปติก) สเปกตรัมเดิมแสดงให้เห็นการขจัด (Offset) เล็กน้อยของเบสไลน์ เช่นเดียวกับการขยับขึ้น (Drift) การขยับขึ้นนี้สามารถถูกกำจัดโดยการลบออกจากเส้นตรง (Subtraction of a Straight Line) (เส้นประ) และการขจัดถูกกำจัดโดยการ Min-Max Normalization (เส้นจุด) อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของเส้นสเปกตรัมเดิม (เส้นประ-จุด) ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขยายเพื่อแสดงให้เห็นได้ง่ายและซับซ้อนสู่ตำแหน่งที่ค่าการดูดซับคลื่นสูง สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างที่แหลมขึ้นมาได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมเดิม

2.13 ตัวแปร [11]

2.13.1 สัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination, R^2)

แสดงสัดส่วนของความแปรปรวนในข้อมูล X ที่สามารถอธิบายโดยความแปรปรวนในข้อมูล Y ค่าของ R^2 จะเป็นบวกเสมอ เช่น ถ้า $R = 0.97$ แล้ว $R^2 = 0.941$ หมายความว่า 94.1% ของความแปรปรวนในข้อมูล X และ 5.9% ของความแปรปรวนในข้อมูล X เกิดขึ้นจากตัวแปรอื่น เช่น การเตรียมตัวอย่าง วิธีการทดลองอ้างอิง และอื่นๆ ค่า R^2 เป็นบวกเสมอโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของ R ในทางปฏิบัติ R^2 ให้ข้อมูลมากกว่า R และใช้กันมากกว่า R การแปลความหมายของค่า R และ R^2 แสดงดังตารางที่ 2.2 R^2 คำนวณได้จากสมการที่ 8

$$R^2 = \left[1 - \frac{\sum_1^n (y_i^{meas} - y_i^{pred})^2}{\sum_1^n (y_i^{meas} - \bar{y})^2} \right] \quad (8)$$

เมื่อ y^{meas} คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี

y^{pred} คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วย NIRs

n คือ จำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 2.2 การแปลความหมายของค่า R^2 [8]

R^2	ความหมาย
ถึง 0.25	ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration
0.26-0.49	เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดีควรหาเหตุผล
0.50-0.64	สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) อย่างหยาบๆ
0.66-0.81	สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ
0.83-0.90	ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย
0.83-0.90	ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการประกันคุณภาพ
0.98+	ดีเยี่ยม ใช้ได้กับทุกการประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.13.2. ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (Root mean squared error of cross validation; RMSECV)

Cross-validation สามารถใช้ตัวอย่างชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการทำการ พิสูจน์แบบจำลอง (Validation) สิ่งนี้ทำโดยนำตัวอย่างออกหนึ่งตัวอย่างหรือกลุ่มของหลายตัวอย่างจาก ชุดสร้างแบบจำลองและสร้างแบบจำลองด้วยตัวอย่างที่เหลืออยู่ แล้วทำนายตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไป และบันทึกค่าความผิดพลาด แล้วนำตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไปนั้นกลับมาแล้วนำตัวอย่างอื่นออกไปและทำซ้ำกระบวนการจนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและทำนาย จะไม่มีตัวอย่างที่ถูกทำนายถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองซึ่งได้ใช้ในการทำนาย ถ้าเอาออกเพียงทีละ 1 ตัวอย่าง จะ เรียกว่า “Full” หรือ “One-out” cross-validation ถ้านำชุดตัวอย่าง (จำนวนหลายตัวอย่าง) ออกจะ เรียกว่า “Segmented” cross-validation ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าที่ถูกทำนายโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงของชุดสร้างแบบจำลอง คือ RMSECV วิธีพิสูจน์นี้เหมาะที่จะใช้กับข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างน้อยๆ เช่น น้อยกว่า 100 ตัวอย่าง ค่า RMSECV คำนวณได้จากสมการที่ 9

$$RMSECV = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (Y_i^{meas} - Y_i^{pred})^2} \quad (9)$$

2.13.3 Root mean square error of estimation (RMSEE)

เป็นค่าที่ใช้วิเคราะห์ข้อผิดพลาดของชุดคาลิเบรชัน (Calibration) ไม่เหมาะในการใช้กับชุดทำนาย (Validation) สูตรการคำนวณ RMSEE คือ

$$RMSEE = \left\{ \left[\sum_{i=0}^m (Y_i^{meas} - Y_i^{pred})^2 \right] / M - R - 1 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

M คือ จำนวนตัวอย่าง

i คือ เลขที่ตัวอย่าง

R คือ จำนวนแฟคเตอร์

2.13.4 Ratio of SEP to the SD (RPD)

RPD ย่อมาจาก Ratio of Standard error of Prediction (Validation) to (Standard) Deviation คืออัตราส่วนของ ค่า error มาตรฐานของการทำนาย (validation) กับส่วนเบี่ยงเบน

มาตรฐาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$RPD = \frac{SD \times (\text{validation set})}{SEP_{bias}} \quad (11)$$

อีกวิธีหนึ่งคือใช้สูตร

$$RPD = \left(\frac{1}{1-R^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

ซึ่งผู้ใช้ส่วนมากพบว่าการใช้สูตรแรกง่ายกว่า โดย SEP_{bias} หาได้จากสูตร

$$SEP_{bias} = \left[\frac{1}{M-1} \sum_{i=0}^m (Y_i^{meas} - Y_i^{pred} - bias)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

ค่า SEP ควรต่ำกว่า SD มากๆ ซึ่งอัตราส่วนควรเท่ากับ 5 หรือมากกว่า บางกรณีตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมาก ค่า SD จึงไม่สูง ซึ่ง RPD อาจจะไม่สูง แต่ถ้า SEP ต่ำกว่า SD มาก ดังนั้น RPD เท่ากับ 2.5-3.0 ก็อาจแสดงถึงการวิเคราะห์ที่แม่นยำถ้า SD มีค่าเพียง 0.4-0.5 ตารางที่ 2.3 ค่าทางสถิติ RPD ค่า RPD การแบ่งกลุ่ม การประยุกต์ใช้ 0.0-2.3 2.4-3.0 3.1-4.9 5.0-6.4 6.5-8.0 8.1+ เลวมาก เลว พอใช้ ดี ดีเยี่ยม ไม่แนะนำคัดเลือกแบบหยาบๆ คัดเลือก ควบคุมคุณภาพ ควบคุมขั้นตอน ได้ทุกการประยุกต์ใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าทางสถิติ RPD [8]

ค่า RPD	การแบ่งกลุ่ม	การประยุกต์ใช้
0.0 - 2.3	เลวมาก	ไม่แนะนำ
2.4 - 3.0	เลว	คัดเลือกแบบหยาบๆ
3.1 - 4.9	พอใช้	คัดเลือก
5.0 - 6.4	ดี	ควบคุมคุณภาพ
6.5 - 8.0	ดีมาก	ควบคุมขั้นตอน
8.1+	ดีเยี่ยม	ได้ทุกการประยุกต์

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์, R^2 , bias และค่า RPD คือค่าทางสถิติที่มีความสำคัญมากที่สุด เอกสารนี้เป็นสำหรับการประเมินค่าความมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์โดย NIRs ญาติให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

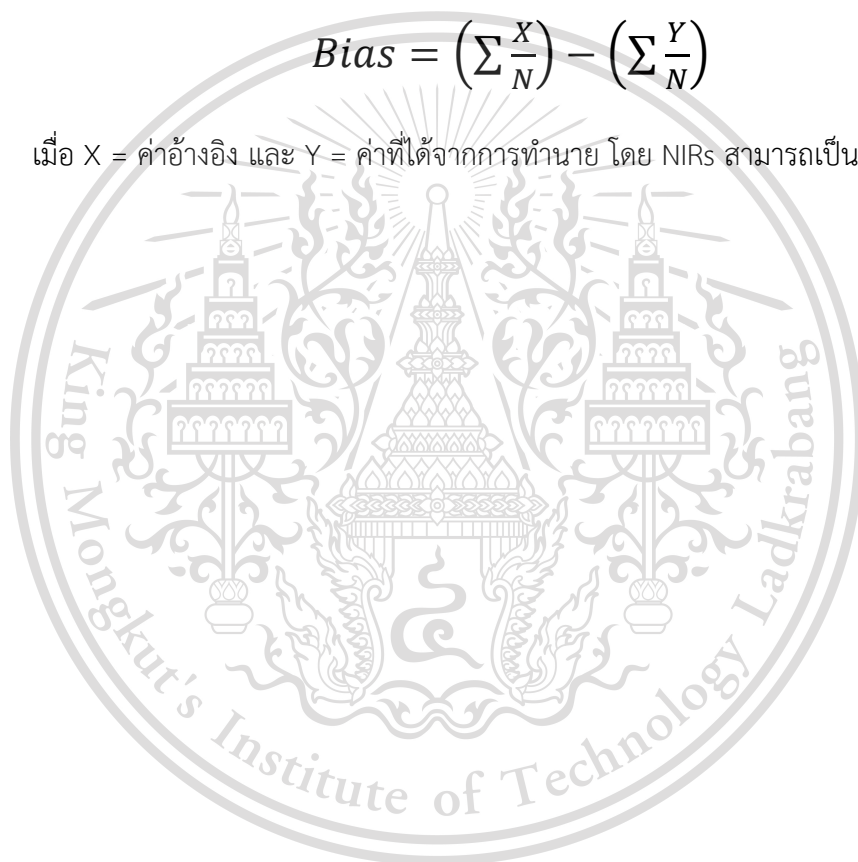
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.13.5 Bias (ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดย NIRs และข้อมูลที่อ้างอิง)

เมื่อทำนายค่าตัวแปรที่ต้องการของข้อมูลในเซตตัวอย่าง Validation ค่า Bias หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าอ้างอิงและค่าที่ทำนายโดย NIRs และเป็นการวัดความแม่นยำโดยรวมของ calibration ในโลกความเป็นจริงของทางการค้าและอุตสาหกรรม Bias เป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญมากในทางสถิติ Bias สามารถเกิดขึ้นได้ถึงแม้เมื่อค่าสถิติสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์และ SEP แสดงว่าค่า calibration นั้นดีเยี่ยม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 14

$$Bias = \left(\sum \frac{X}{N} \right) - \left(\sum \frac{Y}{N} \right) \quad (14)$$

เมื่อ X = ค่าอ้างอิง และ Y = ค่าที่ได้จากการทำนาย โดย NIRs สามารถเป็นบวกหรือลบก็ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sunita Choudhary et al. (2009) งานวิจัยนี้เป็นการประมาณค่าองค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่างไข่มุกได้แก่ ปริมาณเนื้อแห้ง เถ้า และอื่นๆ โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ พบว่า ปริมาณเนื้อแห้งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.59 และค่า SEC เท่ากับ 0.16 ในขณะที่ปริมาณเถ้า R^2 เท่ากับ 0.84 และค่า SEC เท่ากับ 0.07 จะเห็นได้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถนำทายองค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่างไข่มุกได้

Marijana maslovalic et al. (2011) งานวิจัยนี้เป็นการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยทำการตรวจสอบปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน และเส้นใยอาหาร ในกากถั่วเหลือง หากพิจารณาที่ความชื้นพบว่า R^2 เท่ากับ 0.98 และค่า RMSEP เท่ากับ 0.24 จะเห็นได้การใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบคุณภาพในกากถั่วเหลืองมีความเป็นไปได้ ถูกต้อง และใช้เวลาน้อยกว่าวิธีมาตรฐาน

Fassio et al. (2014) งานวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบคุณภาพในถั่วลิสงโดยใช้ในเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRs) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral Detergent Fiber) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid Detergent Fiber) และเถ้า เปรียบเทียบกับค่าวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี โดย R^2 ของเถ้ามีค่า 0.92 และ RPD มีค่า 3.5 จะเห็นได้ว่าการใช้เทคนิค NIRs สามารถนำไปทำนายคุณสมบัติในถั่วลิสงได้ในระดับที่สามารถใช้คัดเลือกหรือตรวจสอบคุณภาพกับวัตถุดิบบางอย่าง

Silvia Parrini et al. (2016) งานวิจัยเป็นการองค์ประกอบทางเคมีและสารอาหารของหญ้าในทุ่งหญ้าที่เป็นอาหารสัตว์ได้แก่ ปริมาณเนื้อแห้ง เถ้า และอื่นๆ โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ พบว่า ปริมาณเนื้อแห้ง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.99 ค่า RPD เท่ากับ 11.8 ปริมาณเถ้ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.97 ค่า RPD เท่ากับ 5.1 จะเห็นได้ว่าเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถนำมาใช้ทำปริมาณเนื้อแห้งได้ดีที่สุด

ภัทรภร ทัดพงษ์ และคณะ (2017) งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพและความเป็นได้ของการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในการทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน เถ้า และอื่นๆ และทำนายการผลิตแก๊สและอัตราการผลิตแก๊สของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง โดยใช้ตัวอย่างหญ้าเนเปียร์ปากช่องที่เก็บจากสถานที่ต่างๆ ทั้งหมด จำนวน 112 ตัวอย่าง พบว่า R^2 เท่ากับ 0.88 และ RPD มีค่า 2.87 ของโปรตีน ในขณะที่ R^2 เท่ากับ 0.96 และ RPD มีค่า 5.24 จะเห็นได้ว่าเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มีความถูกต้อง และแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Tejerina D. et al. (2018) งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้นำมาใช้เป็นทางเลือกแทนวิธีการทั่วไปในการหาปริมาณของสารอาหารของลูกโอ๊คและหญ้า โดยหาปริมาณเนื้อแห้ง ไขมันดิบ โปรตีนดิบ แป้ง และอื่นๆ โดยค่าของลูกโอ๊ค ปริมาณเนื้อแห้งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.81 และ SEP เท่ากับ 2.62 ไขมันดิบมีค่า R^2 เท่ากับ 0.92 และ SEP เท่ากับ 0.54 โปรตีนดิบมีค่า R^2 เท่ากับ 0.86 และ SEP เท่ากับ 0.47 แป้ง R^2 เท่ากับ 0.84 และ SEP เท่ากับ 0.2 และค่าในหญ้า ปริมาณเนื้อแห้งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.90 และ SEP เท่ากับ 1.99 ไขมันดิบ R^2 เท่ากับ 0.87 และ SEP เท่ากับ 4.13 โปรตีนดิบมีค่า R^2 เท่ากับ 0.76 และ SEP เท่ากับ 10.9 ดังนั้นแบบจำลองการทำนายเหล่านี้สามารถใช้ในการทำนายองค์ประกอบทางโภชนาการของลูกโอ๊คและหญ้าได้

ปฎิมา บุตรชา และอาทิตย์ สุธสะเกษ (2018) งานวิจัยนี้ศึกษาการนำเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ มาใช้ในการทำนายองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณเนื้อแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน เถ้า เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral Detergent Fiber) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid Detergent Fiber) และ ลิกนิน ของหญ้ากินี 2 พันธุ์ คือ หญ้ากินีสีม่วง และหญ้ากินีมอมบาชาจำนวน 630 ตัวอย่าง นำตัวอย่างหญ้าอบที่อุณหภูมิ 60°C นาน 48 ชั่วโมง การทำนายจะใช้เครื่อง NIRs ยี่ห้อ FOSS รุ่น 5000 (Foss Analytical A/S, Denmark) และโปรแกรม ISScan ความยาวคลื่นที่ใช้อยู่ในช่วง 1,100-2,500 นาโนเมตร โดยวิธีการวัดแบบสะท้อนกลับ (reflectance) จากการทำนายพบว่าโปรตีนมีค่า R^2 เท่ากับ 0.99 และ RPD เท่ากับ 8.1 ในขณะที่เถ้ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.97 และ RPD เท่ากับ 5.9 จะเห็นได้ว่าเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถใช้ทำนายองค์ประกอบทางเคมีต่างๆในหญ้ากินีทั้งสองพันธุ์ได้โดยที่ประหยัดเวลาและมีความแม่นยำ โดยการทำนายค่าโปรตีนจะมีความแม่นยำสูงที่สุด

Samantha Joan NOEL et al. (2020) งานวิจัยนี้ศึกษาการหาคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral Detergent Fiber) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid Detergent Fiber) เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลนี้ได้แบบเรียลไทม์ โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRs) เครื่อง Foss NIRs รุ่น DS2500 ในการหาสารอาหารในวัตถุดิบอาหารสัตว์และอาหารสุกร โดยใช้ตัวอย่างอย่างทั้งหมด 773 ตัวอย่าง แบ่งเป็น ธัญพืช 277 ตัวอย่าง อาหารทางเลือก (อาหารเสริม) ได้แก่ อาหารเสริมโปรตีน อาหารทดแทนธัญพืช และหญ้า รวมทั้งหมด 129 ตัวอย่าง และอาหารผสม 367 ตัวอย่าง จากแบบจำลอง R^2 มีค่า 0.95 0.94 0.76 0.93 0.95 0.90 และ 0.95 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเทคนิค NIRs สามารถใช้ทำนายคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์ได้อย่างแม่นยำ ถูกต้อง และใช้เวลาไม่นาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ที่ช่วงเลขคลื่น $12,500 - 3,600 \text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR Spectrometer

3.1.2 ชุดสกัดไขมัน Soxhlet



รูปที่ 3.2 ชุดสกัดไขมัน Soxhlet

3.1.3 ตู้อบลมร้อน (ULM 500, Memmert, Germany)



รูปที่ 3.3 ตู้อบลมร้อน ULM 500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.4 อุปกรณ์อื่นๆ

1. Moisture can
2. Timber 33x80 mm
3. Filter paper เบอร์ 1 Ø 15 cm
4. ปีกเกอร์
5. Hexane
6. ถุงมือ
7. กระดาษทิชชู
8. ช้อน
9. ถาด
10. โถดูดความชื้น
11. ถุงฟลอยด์ซีป्लीค
12. ตะแกรงร่อน
13. เครื่องชั่งไฟฟ้า

3.2 เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบ

สุ่มตัวอย่างกากมะพร้าวที่เป็นผลพลอยได้จากการคั้นกะทิจากตลาด จำนวน 50 ตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง 50 นาที เพื่อลดความชื้นวัตถุดิบให้อยู่ในรูปที่เสถียรเหมือนการตากแห้งในอากาศ โดยให้อยู่ในระดับ 10-12 % จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนให้มีขนาด 1 mm เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ ได้แก่ ปริมาณเนื้อแห้ง (Dry Matter, DM) ตามมาตรฐาน AOAC 930.15 และ ไขมัน (Fat) ตามมาตรฐาน AOAC 2003.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.1.1 นำตัวอย่างมาใส่ถาด 200 g เกลี่ยตัวอย่างให้สม่ำเสมอ จากนั้นนำไปเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 290 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กากมะพร้าวคั่นกะทิ

3.3.1.2 นำตัวอย่างมาใส่ตะแกรงร่อน ให้ได้ตัวอย่างที่มีขนาด 1 mm จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักใส่ถุงพรอยด์ถุงละ 20 g แล้วนำไปใส่โถดูดความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างที่ผ่านการร่อนแล้วขนาด 1 mm

3.3.2 การ Calibrate อุปกรณ์

3.3.2.1 นำขวดชมพู่ Moisture can และทิมเบอร์ อบที่อุณหภูมิ 102 °C โดยขวดชมพู่และ Moisture can อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ส่วนทิมเบอร์อบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 Calibrate อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2.2 นำอุปกรณ์ที่อบเสร็จแล้วใส่โถดูดเป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก ดังแสดง
ในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ที่ Calibrate เสร็จแล้ว

3.3.3 การหาปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิโดยวิธี Near-infrared spectroscopy technique

3.3.3.1 เปิดเครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR Spectrometer พร้อมโปรแกรม OPUS หลังจาก
นั้นติดตั้งฐานและถ้วยพร้อมใส่ตัวอย่างลงในถ้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ติดตั้งฐานและถ้วย

3.3.3.2 วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของกากมะพร้าวคั้นกะทิด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม
FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ที่ช่วงเลขคลื่น $12,500 - 3,600 \text{ cm}^{-1}$ เพื่อหา
ค่าปริมาณเนื้อแห้งและไขมัน โดยแต่ละตัวอย่างทำการสแกนทั้งหมด 3 ซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วัดการดูดกลืนแสงของกากมะพร้าวคั้นกะทิ

ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.4 การทดลองทำเนื้อแห้งโดยวิธีการอบแห้ง

3.3.4.1 ชั่งตัวอย่างใส่ Moisture can กระทบละ 2 g ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ หลังจากนั้นนำ Moisture can ใส่ตู้อบลมร้อนพร้อมเปิดฝา Moisture can ที่อุณหภูมิ 135 °C เป็นเวลา 120 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การอบแห้งตัวอย่าง

3.3.4.2 เมื่ออบเสร็จปิดฝา Moisture can ขณะอยู่ในตู้อบลมร้อน แล้วนำไปใส่โถดูดความชื้นเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างหลังจากทำการอบแห้ง

3.3.5 การทดลองหาไขมันโดยวิธีการ Soxhlet Extraction

3.3.5.1 ติดตั้งอุปกรณ์ Soxhlet extraction ให้พร้อมสำหรับการสกัดไขมัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างใส่กระดาษ Filter paper ทั้ง 2 แผ่น โดยใส่ตัวอย่างแผ่นละ 5 g จากนั้นนำไปใส่ Timber ใส่ Soxhlet ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เตรียม Timber ที่มีตัวอย่างใส่หลอด Soxhlet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.5.2 นำ Hexane เทใส่ขวดชมพู่ทั้ง 2 ขวด ขวดละ 110 ml พร้อมเปิดเตาให้ความร้อน รอให้ Hexane ระเหยและหยดกลับลงมาประมาณ 3-5 หยดต่อวินาที หลังจากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 180 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การสกัดไขมันโดยวิธีการ Soxhlet Extraction

3.3.5.3 นำขวดชมพู่มาระเหย Hexane ออกที่เตาให้ความร้อนเป็นเวลา 10-20 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.14 หลังจากนั้นนำทิชชูหรือฝาจุกมาอุดปากขวดชมพู่ไว้



รูปที่ 3.14 การระเหย Hexane ออกที่เตาให้ความร้อน

3.3.5.4 นำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 °C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหย Hexane อีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.15 หลังจากนั้นนำเข้าโถดูดความชื้นเป็นเวลา 15 นาทีแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.15 ระเหย Hexane อีกครั้งด้วยตู้อบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.6 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติแบบเชิงปริมาณเพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวที่ได้จากการคั้นกะทิ

3.3.6.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อสร้างสมการในการทำนายปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวที่ได้จากการคั้นกะทิด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer เริ่มจากการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มสำหรับการปรับเทียบ (calibration set) จำนวน 50 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับการทำนาย (prediction set) จำนวน 50 ตัวอย่าง แต่ละกลุ่มจะมีค่าอ้างอิงที่ครอบคลุมทุกช่วง และกลุ่มสำหรับการปรับเทียบจะมีช่วงข้อมูลครอบคลุมกลุ่มสำหรับการทำนาย โดยทั้งสองกลุ่มมีการกระจายตัวใกล้เคียงกัน

3.3.6.2 การวิเคราะห์เริ่มจากใช้โปรแกรม Opus 7.0 ปรับแต่งสเปกตรัมโดยทดลองด้วยวิธี Smoothing, 2nd Derivative (2D), Multiplicative Scatter Correction(MSC) และ Standard Normal Variate (SNV) เพื่อลดผลกระทบจากการกระเจิงแสง แล้วทำการวิเคราะห์สร้างสมการถดถอยพหุคูณด้วยเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นทั้งหมด เป็นตัวแปรอิสระ ในการวิเคราะห์ใช้วิธี Full cross validation ในการหาจำนวน Factor ที่เหมาะสมของสมการปรับเทียบ

3.3.6.3 เมื่อได้สมการปรับเทียบ (Calibration) แล้วนำสมการที่ได้ไปทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันของตัวอย่างในกลุ่มการทำนาย (prediction) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการปรับเทียบ โดยสมการที่แม่นยำจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงเป็นค่าในการวัดความแม่นยำเชิงปริมาณของชุดทดสอบ (RMSEP), ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) ต่ำ และค่าอัตราส่วนของค่า error มาตรฐานของการทำนาย (RPD)

3.4 การวัดความชื้นอ้างอิง

ทำการวัดค่าความชื้นโดยใส่ตัวอย่างลงในภาชนะที่ใช้เป็นภาชนะในการอบปริมาณ 200 g แล้วนำใส่เข้าตู้อบ (ULM 500, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 °C โดยจะนำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักทุก 15, 30 และ 60 นาทีตามลำดับ เมื่อตัวอย่างมีน้ำหนักที่คงที่ จะอบต่อไปที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามกำหนด นำมาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณความชื้น ฐานแห้ง (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 การหา Repeatability และ Reproducibility

3.5.1 ขั้นตอนการหา Repeatability และ Reproducibility

Repeatability ของเครื่อง NIRs เป็นการศึกษาค่าความถูกต้องในกระบวนการหาค่าความแม่นยำในการวิเคราะห์ผลจากค่าความยาวคลื่นด้วยเครื่อง NIRs ค่าความยาวคลื่นมาจากนำตัวอย่างใส่ ถ้วยควอทซ์แล้วสแกนด้วยเครื่อง NIRs ซ้ำ 10 รอบ โดยไม่ขยับถ้วยควอทซ์ ทำเช่นนี้ 1 ตัวอย่าง

Reproducibility ของเครื่อง NIRs เป็นการศึกษาค่าความถูกต้องในกระบวนการหาความสม่ำเสมอของตัวอย่างจากการวิเคราะห์ผลค่าความยาวคลื่นด้วยเครื่อง NIRs ค่าความยาวคลื่นมาจากนำตัวอย่างใส่ถ้วยควอทซ์แล้วสแกนด้วยเครื่อง NIRs 1 ครั้ง จากนั้นนำตัวอย่างที่สแกนแล้วเทออกจากถ้วยควอทซ์และเทกลับใส่ถ้วยควอทซ์อีกครั้ง แล้วสแกนด้วยเครื่อง NIRs ทำเช่นนี้ทั้งหมด 10 รอบ ต่อ 1 ตัวอย่าง

Repeatability ของตู้อบลมร้อน เป็นการศึกษาค่าความถูกต้องในกระบวนการหาค่าปริมาณเนื้อแห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยการนำค่าปริมาณเนื้อแห้งที่ได้มาเปรียบเทียบกัน โดยทำตัวอย่างละ 2 ซ้ำ จำนวน 50

Repeatability ของการสกัดไขมัน เป็นการศึกษาค่าความถูกต้องในกระบวนการหาค่าปริมาณปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิดด้วยวิธีการสกัดไขมัน โดยการนำค่าปริมาณไขมันที่ได้มาเปรียบเทียบกัน โดยทำตัวอย่างละ 1 ซ้ำ จำนวน 50 ตัวอย่าง

3.5.2 การวิเคราะห์ค่า Repeatability หรือ Reproducibility

ในการวิเคราะห์ค่า Repeatability และ Reproducibility จากการทดลองจำเป็นจะต้องทำเพื่อ วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง โดยค่า Reproducibility ของตู้อบลมร้อน การสกัดไขมัน และ เครื่อง NIRs วัดเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของกระบวนการของผู้ทำการทดลอง ส่วนค่า Reproducibility ของเครื่อง NIRs วัดเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองซึ่งวัดได้ R^2 max ค่าที่ได้จะมีค่า 0-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ค่าสถิติของปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ

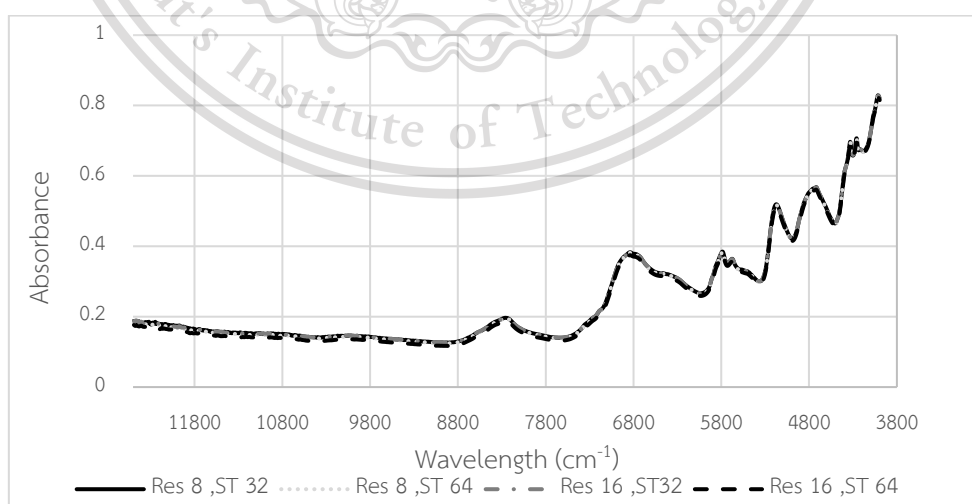
กากมะพร้าวคั้นกะทิที่ทำการทดลองมีจำนวน 50 ตัวอย่างซึ่งรวบรวมจากตลาดสดหลากหลายที่ เช่น ตลาดหัวตะเข้ ตลาดเจ้าคุณทหาร ตลาดนิคมลาดกระบัง เป็นต้น นำมาวัดการดูดกลืนคลื่นด้วยเครื่อง FT- NIR Spectrometer จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการสแกนแล้วไปหาปริมาณเนื้อแห้งด้วยวิธีอบแห้ง และปริมาณไขมันด้วยวิธี Soxhlet extraction แล้วคำนวณหาปริมาณเนื้อแห้งตามสมการที่ 1 และคำนวณหาปริมาณไขมันตามสมการที่ 3

ตารางที่ 4.1 ค่าสถิติของปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ

Parameter	Minimum	Maximum	Average	Standard Derivative
Dry Matter	92.760	95.6628	94.6406	0.7668
Fat	17.6826	41.5691	31.8032	6.5479

4.2 การเลือกใช้ความละเอียดและจำนวนการสแกนเข้าต่อ 1 สเปกตรัม

ทำการเปรียบเทียบการเลือกใช้ความละเอียดในการวัด (Resolution) และการสแกนซ้ำ (Scanning time) แสดงดังรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการวิจัยทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การใช้นี้ในลักษณะอื่นจะถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารฉบับนี้ไปใช้ในการนำไปใช้

ที่ความละเอียดในการวัด (Res) และจำนวนการสแกน (ST) เข้าต่อ 1 สเปกตรัมต่างกัน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การเลือกใช้ความละเอียดในการวัดระหว่าง 8 cm^{-1} กับ 16 cm^{-1} และการสแกนซ้ำระหว่าง 32 ครั้ง และ 64 ครั้ง ต่อ 1 สเปกตรัม ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ความละเอียดในการวัด 16 cm^{-1} เนื่องจากมีความละเอียดมากกว่า และเลือกจำนวน Scanning time 32 ครั้ง ต่อ 1 สเปกตรัม เทียบกับ 64 ครั้ง ต่อ 1 สเปกตรัม แสดงดังรูป 4.1 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟแทบจะทับกันและผลที่ได้ใกล้เคียงกัน และวัตถุบิอาหารสัตว์สามารถโดนความร้อนเป็นเวลานานได้โดยไม่ทำลายตัวอย่าง ดังนั้นงานวิจัยเล่มนี้จึงเลือกใช้ scanning time 32 ต่อ 1 สเปกตรัม

4.3 ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง FT-NIR Spectrometer

ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของกากมะพร้าวคั้นกะทิ แสดงดังตารางที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.3

4.3.1 การทำ Repeatability ของเครื่อง FT- NIR Spectrometer

ผลการทำ Repeatability ของเครื่อง FT- NIR Spectrometer ของกากมะพร้าวคั้นกะทิ แสดงดังตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.2 เป็นผลการวัดความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ในขั้นตอนนี้วัดได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 0.0014 และมีค่าผลต่างเฉลี่ย 0.4217% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีความแม่นยำ

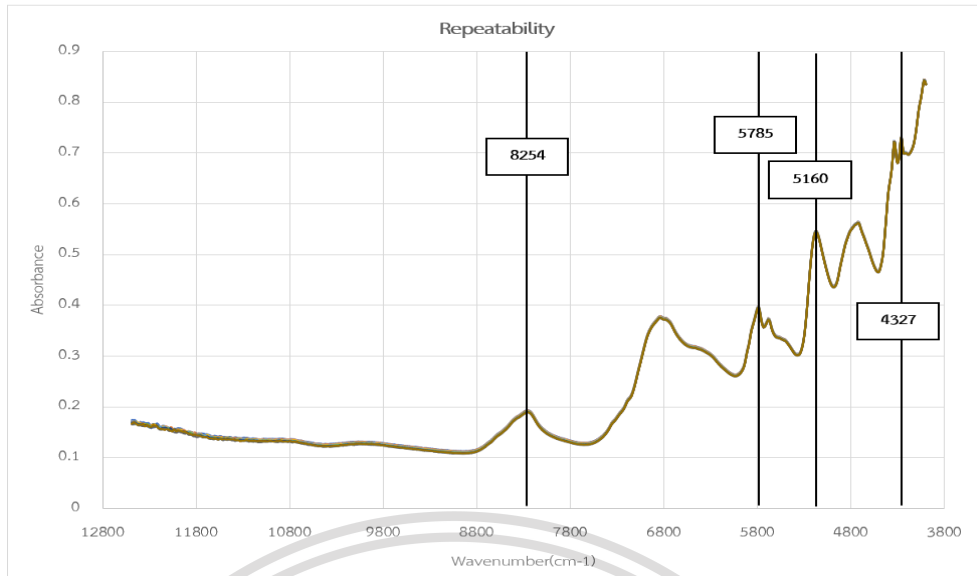
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Repeatability ของเครื่อง FT- NIR Spectrometer

Repeatability			
Wavenumber (cm^{-1})	Average Absorbance	SD	%different
8254	0.1908	0.0017	0.9135
5785	0.3960	0.0015	0.3755
5160	0.5437	0.0013	0.2393
4327	0.7201	0.0011	0.1585
Average		0.0014	0.4217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นในแต่ละช่วงเลขคลื่นของกากมะพร้าวคั้นกะทิ

- ในการทำ Repeatability

4.3.2 การทำ Reproducibility ของเครื่อง FT- NIR Spectrometer

ในการทำ Reproducibility ของเครื่อง FT- NIR Spectrometer ของกากมะพร้าวคั้นกะทิ แสดงดัง ตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.3 การวัดความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งวัดได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 0.0059 และมีค่าผลต่างเฉลี่ยที่ 1.3678% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ใช้นำไปใช้ในการทดลองมีความสม่ำเสมอ มีความเป็นเนื้อเดียวกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Reproducibility ของเครื่อง FT- NIR Spectrometer

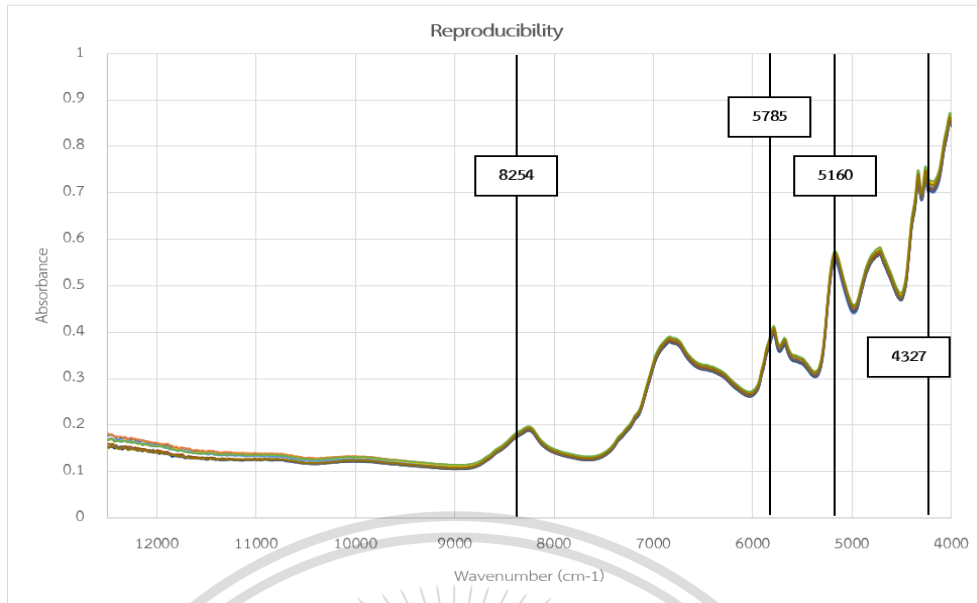
Reproducibility			
Wavenumber (cm ⁻¹)	Average Absorbance	SD	%different
8254	0.1916	0.0034	1.7999
5785	0.4032	0.0057	1.4196
5160	0.5621	0.0065	1.1604
4327	0.7335	0.0080	1.0913
Average		0.0059	1.3678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

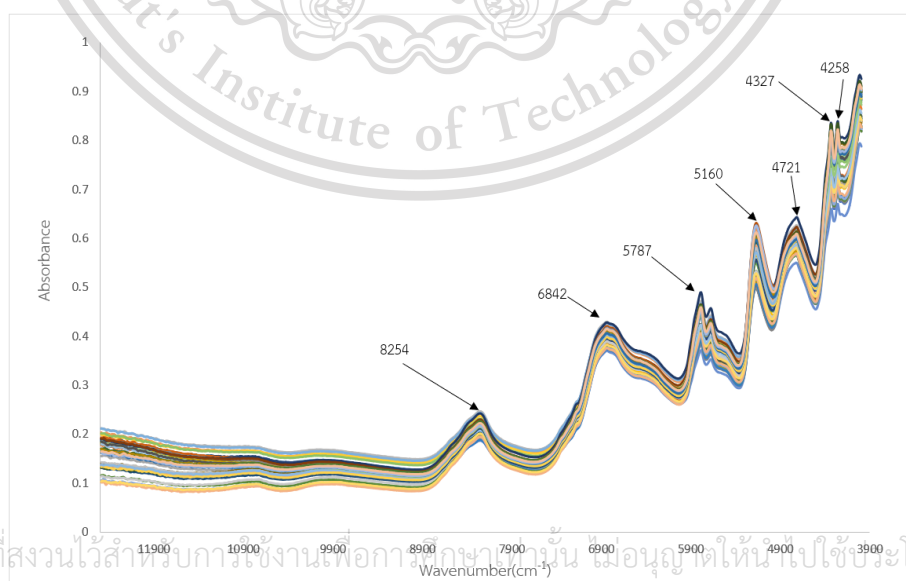
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นในแต่ละช่วงเลขคลื่นของกากมะพร้าวคั้นกะทิ
ในการทำ Reproducibility

4.4 ลักษณะเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของกากมะพร้าวคั้นกะทิ

สเปกตรัมการดูดกลืนของตัวอย่างกากมะพร้าวคั้นกะทิทั้งหมด 50 ตัวอย่าง จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ที่ช่วงเลขคลื่นระหว่าง 12,500 – 4,000 cm⁻¹ แสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่าที่เลขคลื่นที่ 5160 cm⁻¹ เกิดการดูดกลืนคลื่นของน้ำ เลขคลื่นที่ 6842 cm⁻¹ และ 4721 cm⁻¹ เกิดการดูดกลืนคลื่นของโปรตีน เลขคลื่นที่ 8254, 5787 และ 4327 cm⁻¹ เกิดการดูดกลืนคลื่นของกรดไขมัน และเลขคลื่นที่ 4258 cm⁻¹ เกิดการดูดกลืนคลื่นของเซลลูโลส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5 การสร้างสมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมัน

สมการทำนายถูกสร้างขึ้นมาจากกลุ่มตัวอย่างสำหรับสร้างสมการทำนาย (Full cross validation set) จำนวน 50 ตัวอย่าง พบว่าสมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งที่ดีที่สุดได้มาจากการดูกลิ้งคลิ้งของกากมะพร้าวคั้นกะทิที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Min-Max normalization และสมการทำนายค่าปริมาณไขมันที่ดีที่สุดได้มาจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative จากการเปรียบเทียบค่าทำนายและค่าจริงของปริมาณเนื้อแห้ง (รูปที่ 4.5) จะเห็นได้ค่าค่าปริมาณเนื้อแห้งอยู่ใกล้เส้น Target line ซึ่งบ่งบอกถึงการทำนายได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ และจากการเปรียบเทียบค่าทำนายและค่าจริงของปริมาณไขมัน (รูปที่ 4.6) จะเห็นได้ค่าค่าปริมาณไขมันอยู่ใกล้เส้น Target line ซึ่งบ่งบอกถึงการทำนายได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

การทำนายคุณค่าทางโภชนาของกากมะพร้าวคั้นกะทิด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ แสดงใน ตารางที่ 4.4 โดยได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป OPUS โดยในชุด Calibration ปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันมีค่า R^2 เท่ากับ 0.97 และ 94.68 และยังมีค่า RPD เท่ากับ 5.77 และ 4.33 ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Silvia Parrini และคณะ (2016) ที่กล่าวว่า ในการใช้ NIRs ในการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารอาหาร (ปริมาณเนื้อแห้ง ไขมัน และอื่นๆ) ของหญ้าในทุ่งหญ้าอาหารสัตว์ มีความแม่นยำสูงมาก ($R^2 = 0.99$) และจากรายงานของปฐิมา บุตรชา และอาทิตย์ยา สุขสะเกษ (2018) พบว่า NIRs สามารถทำนายองค์ประกอบทางเคมีของหญ้ากีนีได้แม่นยำ (R^2 , 0.7-0.9) ในขณะที่ Samantha Joan NOEL et al. (2020) รายงานไว้ว่าการทำนายคุณค่าทางโภชนา (โปรตีน ไขมัน เถ้า แป้ง เยื่อใย และอื่นๆ) ของวัตถุดิบอาหารสัตว์และอาหารสุกรโดยใช้ NIRs มีความแม่นยำสูงมาก (R^2 , 0.76-0.95)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 สมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันสร้างจากเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) แบบ Full Cross Validation ของกากมะพร้าวคั้นกะทิ

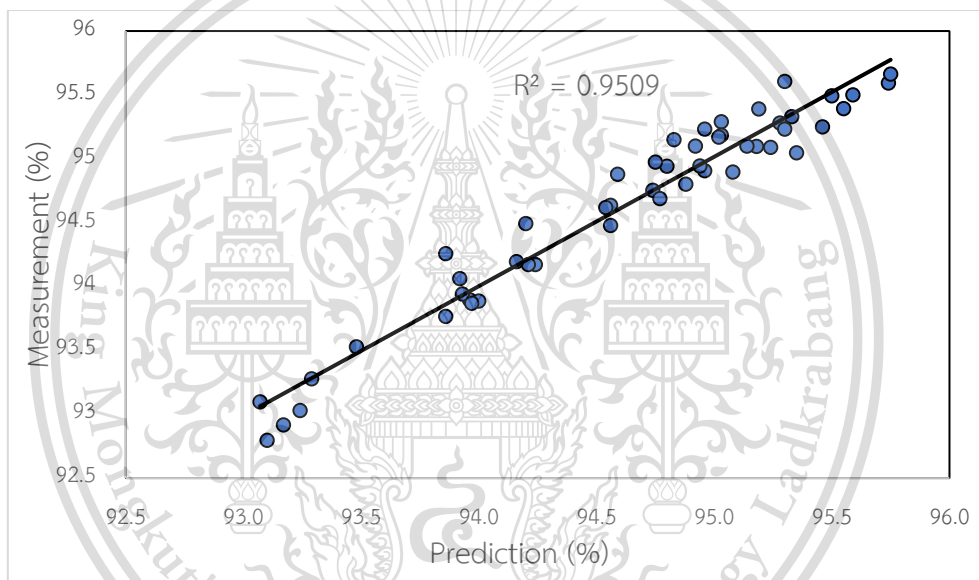
Parameter	Wavenumber (cm ⁻¹)	Pre-Processing	Rank	Calibration			Validation			
				R ²	RMSEE (%)	RPD	R ²	RMSECV (%)	RPD	Bias (%)
Dry Matter	6102-4242.9	Min - Max normalization	5	0.97	0.14	5.77	0.95	0.169	4.51	0.0108
Fat	9403.7-6094.3 5454.0-4242.8	First derivative	6	0.94	1.61	4.33	0.91	1.89	3.44	-0.109

R² = Coefficient of determination; RMSEE = Root mean square error of estimation; RMSECV = root mean squared error of cross validation; RPD = residual prediction deviation

4.6 ผลการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมัน

4.6.1 ผลการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้ง

จากตาราง 4.4 และรูปที่ 4.5 ผลการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ด้วยวิธีการมาตรฐานและมีการจัดแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Min - Max normalization พบว่าได้ค่า R^2 (Coefficient of determination) เท่ากับ 0.95 เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นส่วนใหญ่นำไปถึงการประกันคุณภาพของตัวอย่าง ค่า RMSECV (root mean squared error of cross validation) เท่ากับ 0.169% ค่า Bias เท่ากับ 0.0108% และ ค่า RPD (Ratio of Standard error of Prediction (Validation) to (Standard Deviation) เท่ากับ 4.51 เมื่อพิจารณาจาก RPD จะเห็นว่าสมการอยู่ในระดับที่พอใช้ สามารถนำไปคัดเลือกตัวอย่างได้แต่ยังไม่ครอบคลุม



รูปที่ 4.5 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ค่าปริมาณเนื้อแห้งของกากมะพร้าวคั้นกะทิ ที่ทำนายจากสมการและค่าจริง

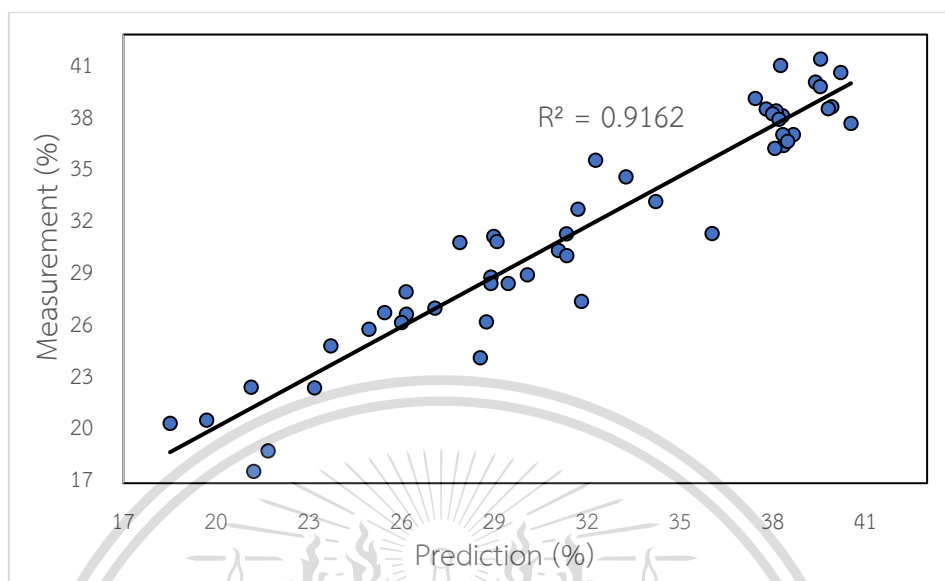
4.6.2 ผลการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณไขมัน

จากตาราง 4.4 และรูปที่ 4.6 ผลการทำนายค่าปริมาณไขมัน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ด้วยวิธีการมาตรฐานและมีการจัดแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative พบว่าได้ค่า R^2 (Coefficient of determination) เท่ากับ 0.91 เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในส่วนใหญ่นำไปถึงการประกันคุณภาพของตัวอย่าง ค่า RMSECV (root mean squared error of cross validation) เท่ากับ 1.89% ค่า Bias เท่ากับ -0.109% และ ค่า RPD (Ratio of Standard error of Prediction (Validation) to (Standard Deviation) เท่ากับ 4.51 เมื่อพิจารณาจาก RPD จะเห็นว่าสมการอยู่ในระดับที่พอใช้ สามารถนำไปคัดเลือกตัวอย่างได้แต่ยังไม่ครอบคลุม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Prediction (Validation) to (Standard) Deviation) เท่ากับ 3.44 เมื่อพิจารณาจาก RPD จะเห็นได้ว่าสมการอยู่ในระดับที่พอใช้ สามารถนำไปคัดเลือกตัวอย่างได้ แต่ยังไม่ครอบคลุม



รูปที่ 4.6 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ค่าปริมาณไขมันของกากมะพร้าวคั้นกะทิที่ทำนายจากสมการและค่าจริง

4.7 องค์ประกอบที่สำคัญในสเปกตรัมในการทำนายปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมัน

กากมะพร้าวคั้นกะทิประกอบด้วยองค์ประกอบที่ต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบขั้นต้นได้แก่ น้ำ โปรตีน แป้ง ไขมัน และเซลลูโลส ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีผลต่อการดูดกลืนคลื่นของสมการทำนาย ซึ่งจะพิจารณาจากค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์ (Regression Coefficient) ที่มีค่าสูงจากช่วงเลขคลื่นมาทำสมการ

4.7.1 องค์ประกอบที่สำคัญในสเปกตรัมในการทำนายปริมาณเนื้อแห้งในกากมะพร้าวคั้นกะทิ

ในการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งในกากมะพร้าวคั้นกะทิ ใช้ช่วงเลขคลื่น 6102-4242.9 cm^{-1} จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.7 เมื่อนำมาสร้างสมการทำนายจะพบเลขคลื่นที่มีผลต่อค่าปริมาณเนื้อแห้งในกากมะพร้าวคั้นกะทิ ได้แก่ 5268, 5168, 4975, 4736, 4690, 4474 และ 4296 cm^{-1} โดยเลขคลื่นที่ 5268 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะของ C และ O ที่เรียกว่าคาร์บอกซิลิกเป็นส่วนประกอบของกรดไขมัน เลขคลื่นที่ 5168 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของน้ำ เลขคลื่นที่ 4975 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะของ C และ H ที่เรียกว่าเอไมด์ (Amide) ซึ่งเป็นกรดไขมัน[19] เลขคลื่นที่ 4736

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะ O และ H ที่ประกอบอยู่ในเมทานอลหรือเมทิลแอลกอฮอล์ ที่เลขคลื่น 4690 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะของ C และ H ซึ่งประกอบอยู่ใน polyamide 11 ที่เลขคลื่น 4474 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะ C H O และที่เลขคลื่น 4296 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะ C และ H ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกลูโคส

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8 X-loading weight จะประกอบไปด้วย PLS1 PLS2 และ PLS3 โดยพบเลขคลื่นที่สำคัญ $5145, 5793, 5677, 4752$ และ 4335 cm^{-1} โดยเลขคลื่นที่ 5145 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของน้ำ เลขคลื่นที่ 5793 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะทางเคมีระหว่าง C และ H ของเมทิลิน และเลขคลื่นที่ 5677 cm^{-1} และ 4335 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะทางเคมีของไฮโดรคาร์บอนแบบ Aliphatic ที่เป็นส่วนประกอบของกรดไขมัน เลขคลื่นที่ 4752 cm^{-1} และ 4296 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะ C และ H ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกลูโคส

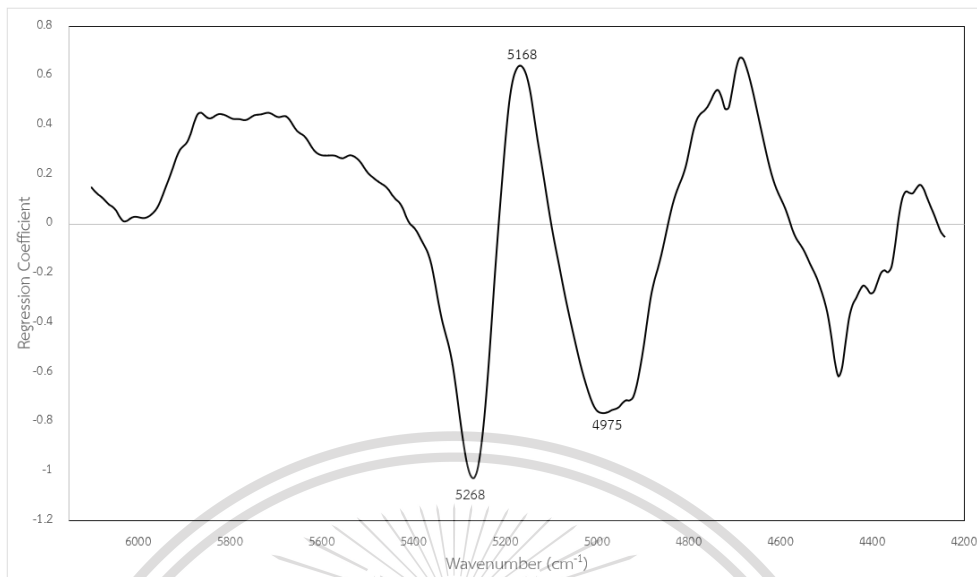
ตารางที่ 4.5 พิกที่ปรากฏใน Regression coefficient plot และ X-loading weight ของสมการ ปริมาณเนื้อแห้งในตัวอย่างกากมะพร้าวคั้นกะทิที่สแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer

Graph		Appeared wavenumber (cm^{-1})	Cited wavenumber (cm^{-1})	Bond Structure
Regression coefficient plot		5268	5263	Carboxylic
		5168	5160	H ₂ O
		4975	4975	N-H
		4736	4710	O-H
		4690	4701	N-H
		4474	4484	CHO
		4296	4296	Polysaccharides
X-Loading weight	PLS Factor 1	5145	5155	O-H
	PLS Factor 2	5793	5797	C-H
		5677	5675	Hydrocarbons Aliphatic
	PLS Factor 3	4752	4762	Polysaccharides
		4335	4333	Hydrocarbons Aliphatic
		4296	4296	Polysaccharides

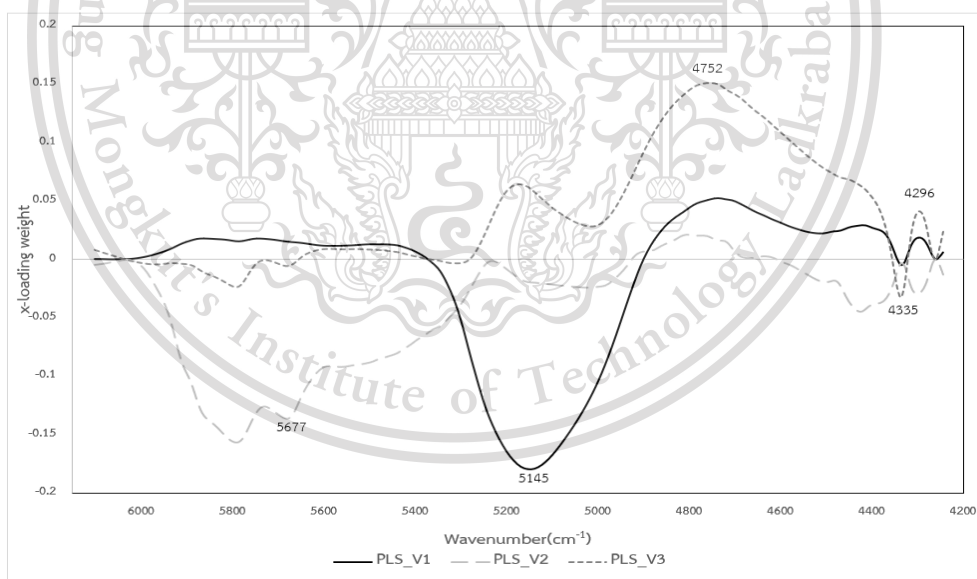
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อเรื่องอย่างใดของเอกสารนี้ไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 Regression coefficient plot ของสมการค่าปริมาณเนื้อแห้ง
ในตัวอย่างกากมะพร้าวคั้นกะทิ



รูปที่ 4.8 ค่า X-loading weight ของสมการค่าปริมาณเนื้อแห้ง
ในตัวอย่างกากมะพร้าวคั้นกะทิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.7.2 องค์ประกอบที่สำคัญในสเปกตรัมในการทำนายปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ

ในการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ ใช้ช่วงเลขคลื่น 9403.7-6094.3 cm^{-1} และ 5454.0-4242.8 cm^{-1} จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.9 เมื่อนำมาสร้างสมการทำนายจะพบเลขคลื่นที่มีผลต่อค่าปริมาณไขมันในกากมะพร้าว ได้แก่ 8748, 8408, 8154, 7297, 6966, 6888, 6711, 6510, 6372, 5222, 5106, 4836, 4428 และ 4389 cm^{-1} โดยเลขคลื่นที่ 8748, 8408, 8154 และ 7297 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะทางเคมีของไฮโดรคาร์บอนแบบ Aliphatic และ Aromatic ที่เป็นส่วนประกอบของกรดไขมัน[19] เลขคลื่นที่ 5222 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะของ C และ O ที่เรียกว่าคาร์บอกซิลิก ที่เป็นส่วนประกอบของกรดไขมัน เลขคลื่นที่ 6966 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะทางเคมีของ N และ H อยู่ในกลุ่มของ Aromatic amide เลขคลื่นที่ 6888 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของน้ำ เลขคลื่นที่ 6711, 6510 และ 6372 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของโปรตีน เลขคลื่นที่ 5106 cm^{-1} และ 4389 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของคาร์โบไฮเดรตประเภท Polysaccharides ที่เป็นส่วนประกอบของสตาร์ช[1] เลขคลื่นที่ 4836 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะทางเคมีของ N และ H ที่เป็นส่วนประกอบของยูเรีย และเลขคลื่นที่ 4428 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของเซลลูโลส

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10 X-loading weight จะประกอบไปด้วย PLS 1 PLS 2 และ PLS 3 โดยพบเลขคลื่นที่สำคัญ ได้แก่ เลขคลื่นที่ 4389 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของสตาร์ช เลขคลื่นที่ 5253 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะทางเคมีระหว่าง C และ O หรือที่เรียกว่าคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของไขมัน[19] และเลขคลื่นที่ 4960 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของพันธะเคมีระหว่าง O และ H ซึ่งมาจากเมทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

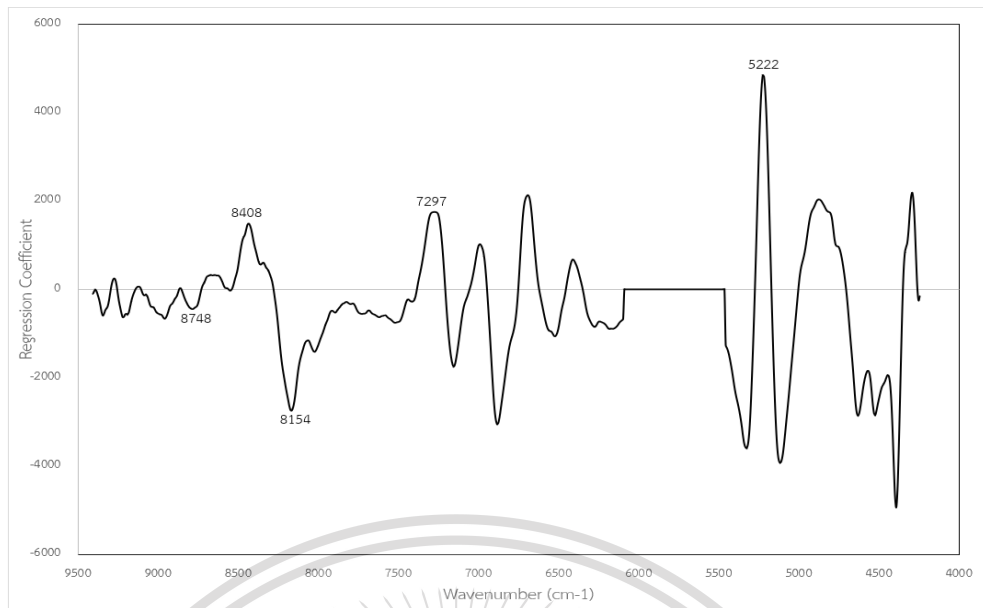
ตารางที่ 4.6 พีคที่ปรากฏใน Regression coefficient plot และ X-loading weight ของสมการ ปริมาณไขมันในตัวอย่างกากมะพร้าวคั้นกะทิที่สแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer

Graph		Appeared wavenumber (cm ⁻¹)	Cited wavenumber (cm ⁻¹)	Bond Structure
Regression coefficient plot		8748	8749	Hydrocarbons Aliphatic
		8408	8375	Hydrocarbons Aliphatic
		8154	8163	Hydrocarbons Aliphatic
		7297	7300	ArCH ₃
		6966	6982	N-H
		6888	6880	H ₂ O
		6711	6711	Protein
			6711	Starch
		6510	6536	Protein
		6372	6369	Protein
		5222	5208	Carboxylic
		5106	5102	Polysaccharides
		4836	4831	N-H
		4428	4405	Cellulose
	4389	4386	Polysaccharides, Starch	
X-Loading weight	PLS Factor 1	4389	4386	Starch
	PLS Factor 2	5253	5263	Carboxylic
		4960	4960	CH ₃ OH
	PLS Factor 3	8169	8163	CH ₃
		7259	7300	Hydrocarbon aromatic
		6989	6982	Aromatic Amide
		6688	6683	Aromatic Amide

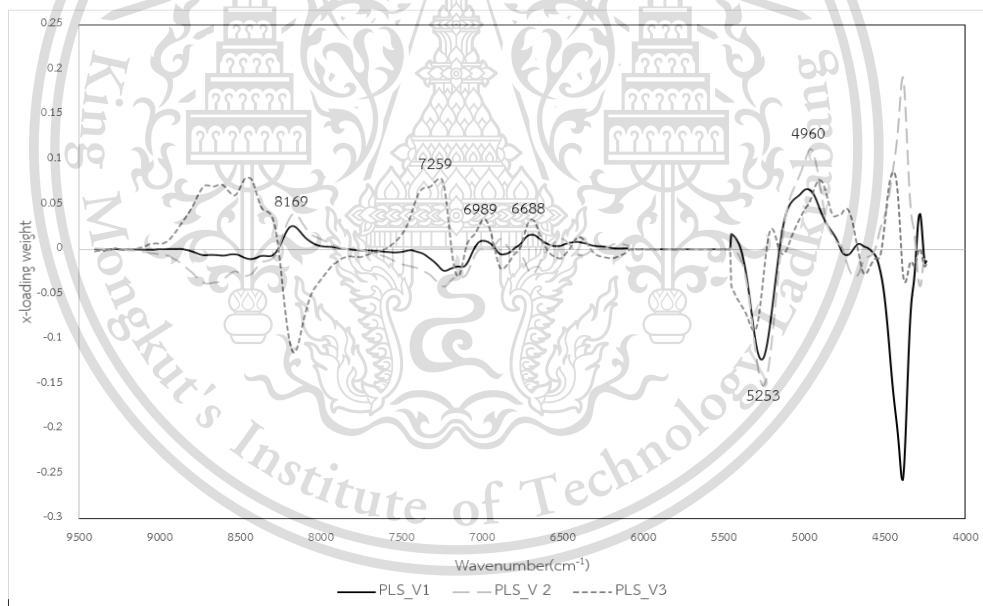
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 Regression coefficient plot ของสมการค่าปริมาณไขมันในตัวอย่างกากมะพร้าวคั้นกะทิ



รูปที่ 4.10 ค่า X-loading weight ของสมการค่าปริมาณไขมันในตัวอย่างกากมะพร้าวคั้นกะทิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันของกากมะพร้าวคั้นกะทิด้วยวิธีมาตรฐาน

สรุปผลปริมาณเนื้อแห้งของกากมะพร้าวคั้นกะทิพบว่ามีค่าเนื้อแห้งเฉลี่ย 92.76-95.66 % จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่มาจากหลายแหล่งที่มาไม่มีผลต่อค่าปริมาณเนื้อแห้งโดยมีค่าปริมาณเนื้อแห้งที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ไขมันจากต่างแหล่งที่มาที่มีค่าที่แตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่าค่าปริมาณเนื้อแห้งไม่มีผลต่อปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิ

ปริมาณไขมันของกากมะพร้าวคั้นกะทิพบว่ามีค่าเฉลี่ยไขมันอยู่ที่ 17.68-41.56 % จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณไขมันมีการกระจายตัวสูงไม่อยู่ในระดับเดียวกันเท่าที่ควร เนื่องจากความชื้นของกากมะพร้าว เริ่มต้นที่มาจากหลากหลายแหล่งที่มาไม่คงที่ ส่งผลให้ปริมาณไขมันคลาดเคลื่อน

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะเส้นสเปกตรัมของกากมะพร้าวคั้นกะทิโดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนของตัวอย่างกากมะพร้าวคั้นกะทิทั้งหมด 50 ตัวอย่าง จากเครื่อง FT - NIR Spectrometer ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 12,500 – 4,000 cm^{-1} (800-2500 nm) พบว่าที่เลขคลื่นที่ 5160 cm^{-1} เกิดการดูดกลืนคลื่นของน้ำ เลขคลื่นที่ 6842 cm^{-1} และ 4721 cm^{-1} เกิดการดูดกลืนคลื่นของโปรตีน เลขคลื่นที่ 8254, 5787 และ 4327 cm^{-1} เกิดการดูดกลืนคลื่นของกรดไขมัน และเลขคลื่นที่ 4258 cm^{-1} เกิดการดูดกลืนคลื่นของเซลลูโลส

5.3 สรุปผลการทำนายค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิโดยวิธี Partial Least Squares Regression

จากการทดลองการทำนายปริมาณเนื้อแห้งและไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิเพื่อนำไปทำอาหารสัตว์ด้วยการใช้เทคนิคเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ที่วัดด้วยเครื่อง FT - NIR Spectrometer ที่ช่วงเลขคลื่น 12,500 – 4,000 cm^{-1} โดยสร้างสมการทำนายด้วยวิธี Partial least square regression แบบ Full cross validation พบว่าแบบจำลองที่ได้จากการวัดค่าสเปกตรัมดูดกลืนแสงของกากมะพร้าวคั้นกะทิ หาสมการทำนายปริมาณเนื้อแห้ง โดยใช้ช่วงเลขคลื่น 6102-4242.9 cm^{-1} ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.95 , ค่า RMSECV เท่ากับ 0.169% , ค่า RPD เท่ากับ 4.51 และค่า Bias เท่ากับ 0.0108% หาสมการทำนายปริมาณไขมัน โดยใช้ช่วงเลขคลื่น 9403.7-6094.3 cm^{-1} และ 5454.0-4242.8 cm^{-1} ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.91 , ค่า RMSECV เท่ากับ 1.89% , ค่า RPD เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ใกล้เคียงที่จะนำมาทำนายปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันในกากมะพร้าวคั้นกะทิได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

5.4 ข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของงานวิจัย จำนวนตัวอย่างในการทดลองมีไม่มากพอแต่ได้ผลการทดลองที่ค่อนข้างพึงพอใจ ถ้าหากมีการเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการทดลองและมีการเปรียบเทียบค่าปริมาณเนื้อแห้งและปริมาณไขมันระหว่างเนื้อมะพร้าวก่อนคั้นกะทิและกากมะพร้าวคั้นกะทิ มีแนวโน้มว่าสามารถพัฒนาสมการทำนายนี้ให้ดียิ่งขึ้นและแม่นยำมากขึ้นได้ เพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์แก่โรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์ รวมถึงสัตว์จะได้รับอาหารที่มีคุณภาพตามต้องการของสัตว์อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.1 ผลของค่าปริมาณเนื้อแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักถั่ว (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถั่ว+น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	% เนื้อแห้ง	% เนื้อแห้งเฉลี่ย
1	ซ้ำ 1	15.4370	2.0040	17.3270	1.8900	94.3114	94.4777
	ซ้ำ 2	14.6820	2.0040	16.5770	1.8950	94.5609	
	ซ้ำ 3	14.6550	2.0040	16.5500	1.8950	94.5609	
2	ซ้ำ 1	15.4370	2.0040	17.3200	1.8830	93.9621	93.8955
	ซ้ำ 2	14.6840	2.0050	16.5660	1.8820	93.8653	
	ซ้ำ 3	14.6560	2.0030	16.5360	1.8800	93.8592	
3	ซ้ำ 1	15.4397	2.0003	17.3099	1.8702	93.4960	93.5268
	ซ้ำ 2	14.6858	2.0005	16.5565	1.8707	93.5116	
	ซ้ำ 3	14.6561	2.0009	16.5284	1.8723	93.5729	
4	ซ้ำ 1	15.4392	2.0005	17.3201	1.8809	94.0215	93.9398
	ซ้ำ 2	14.6856	2.0004	16.5641	1.8785	93.9062	
	ซ้ำ 3	14.6562	2.0006	16.5346	1.8784	93.8918	
5	ซ้ำ 1	15.4394	2.0011	17.3453	1.9059	95.2426	95.2789
	ซ้ำ 2	14.6834	2.0010	16.5908	1.9074	95.3223	
	ซ้ำ 3	14.6563	2.0007	16.5624	1.9061	95.2717	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักถัว (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถัว+น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	% เนื้อแห้ง	% เนื้อแห้งเฉลี่ย
6	ซ้ำ 1	15.4399	2.0002	17.3450	1.9051	95.2455	95.2307
	ซ้ำ 2	14.6858	2.0000	16.5902	1.9044	95.2200	
	ซ้ำ 3	14.6571	2.0007	16.5623	1.9052	95.2267	
7	ซ้ำ 1	15.4388	2.0002	17.3354	1.8966	94.8205	94.9070
	ซ้ำ 2	14.6846	2.0000	16.5801	1.8955	94.7750	
	ซ้ำ 3	14.6563	2.0002	16.5590	1.9027	95.1255	
8	ซ้ำ 1	15.4400	2.0004	17.3496	1.9096	95.4609	95.4913
	ซ้ำ 2	14.6859	2.0000	16.5959	1.9100	95.5000	
	ซ้ำ 3	14.6566	2.0014	16.5682	1.9116	95.5131	
9	ซ้ำ 1	15.4390	2.0005	17.3448	1.9058	95.2662	95.2494
	ซ้ำ 2	14.6854	2.0002	16.5897	1.9043	95.2055	
	ซ้ำ 3	14.6568	2.0007	16.5630	1.9062	95.2767	
10	ซ้ำ 1	15.4394	2.0002	17.3380	1.8986	94.9205	94.9443
	ซ้ำ 2	14.6845	2.0006	16.5849	1.9004	94.9915	
	ซ้ำ 3	14.6568	2.0003	16.5555	1.8987	94.9208	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักถั่ว (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถั่ว+น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	% เนื้อแห้ง	% เนื้อแห้งเฉลี่ย
11	ซ้ำ 1	15.4391	2.0002	17.3462	1.9071	95.3455	95.3925
	ซ้ำ 2	14.6850	2.0005	16.5936	1.9086	95.4061	
	ซ้ำ 3	14.6564	2.0004	16.5653	1.9089	95.4259	
12	ซ้ำ 1	15.4390	2.0006	17.3345	1.8955	94.7466	94.7995
	ซ้ำ 2	14.6847	2.0005	16.5808	1.8961	94.7813	
	ซ้ำ 3	14.6562	2.0002	16.5538	1.8976	94.8705	
13	ซ้ำ 1	15.4381	2.0008	17.3207	1.8826	94.0924	94.1712
	ซ้ำ 2	14.6104	2.0000	16.4941	1.8837	94.1850	
	ซ้ำ 3	14.7281	2.0004	16.6132	1.8851	94.2362	
14	ซ้ำ 1	15.6936	2.0006	17.5790	1.8854	94.2417	94.2576
	ซ้ำ 2	18.2945	2.0014	20.1812	1.8867	94.2690	
	ซ้ำ 3	17.8997	2.0007	19.7856	1.8859	94.2620	
15	ซ้ำ 1	15.4249	2.0010	17.3234	1.8985	94.8776	94.9417
	ซ้ำ 2	15.4378	2.0014	17.3392	1.9014	95.0035	
	ซ้ำ 3	14.6838	2.0016	16.5842	1.9004	94.9440	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักถ้วย (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถ้วย+น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	% เนื้อแห้ง	% เนื้อแห้งเฉลี่ย
16	ซ้ำ 1	15.5686	2.0001	17.4769	1.9083	95.4102	95.3895
	ซ้ำ 2	15.6998	2.0000	17.6073	1.9075	95.3750	
	ซ้ำ 3	15.6949	2.0014	17.6039	1.9090	95.3832	
17	ซ้ำ 1	15.6938	2.0000	17.5790	1.8852	94.2600	94.1725
	ซ้ำ 2	18.2947	2.0006	20.1755	1.8808	94.0118	
	ซ้ำ 3	17.8986	2.0002	19.7837	1.8851	94.2456	
18	ซ้ำ 1	15.5677	2.0004	17.4714	1.9037	95.1660	95.2899
	ซ้ำ 2	15.6983	2.0004	17.6044	1.9061	95.2859	
	ซ้ำ 3	15.6940	2.0012	17.6035	1.9095	95.4177	
19	ซ้ำ 1	15.6890	2.0005	17.5921	1.9031	95.1312	95.0896
	ซ้ำ 2	15.5691	2.0008	17.4714	1.9023	95.0770	
	ซ้ำ 3	15.4534	2.0003	17.3549	1.9015	95.0607	
20	ซ้ำ 1	15.6955	2.0009	17.6002	1.9047	95.1922	95.1851
	ซ้ำ 2	18.2962	2.0004	20.2006	1.9044	95.2010	
	ซ้ำ 3	15.4261	2.0009	17.3302	1.9041	95.1622	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักถ้วย (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถ้วย+น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	% เนื้อแห้ง	% เนื้อแห้งเฉลี่ย
21	ซ้ำ 1	15.6937	2.0001	17.5971	1.9034	95.1652	95.1691
	ซ้ำ 2	18.2950	2.0002	20.2005	1.9055	95.2655	
	ซ้ำ 3	17.8994	2.0007	19.8016	1.9022	95.0767	
22	ซ้ำ 1	15.4233	2.0011	17.3271	1.9038	95.1377	95.1502
	ซ้ำ 2	15.6880	2.0001	17.5909	1.9029	95.1402	
	ซ้ำ 3	14.6835	2.0011	16.5880	1.9045	95.1727	
23	ซ้ำ 1	15.5682	2.0007	17.4735	1.9053	95.2317	95.2307
	ซ้ำ 2	15.4486	2.0000	17.3539	1.9053	95.2650	
	ซ้ำ 3	15.6948	2.0002	17.5989	1.9041	95.1955	
24	ซ้ำ 1	15.6945	2.0014	17.6030	1.9085	95.3582	95.3293
	ซ้ำ 2	18.2956	2.0006	20.2024	1.9068	95.3114	
	ซ้ำ 3	17.8989	2.0014	19.8066	1.9077	95.3183	
25	ซ้ำ 1	15.4238	2.0016	17.3380	1.9142	95.6335	95.6060
	ซ้ำ 2	15.6885	2.0011	17.6018	1.9133	95.6124	
	ซ้ำ 3	14.6843	2.0010	16.5967	1.9124	95.5722	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักถั่ว (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถั่ว+น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	% เนื้อแห้ง	% เนื้อแห้งเฉลี่ย
26	ซ้ำ 1	15.5679	2.0002	17.4767	1.9088	95.4305	95.5000
	ซ้ำ 2	15.4495	2.0007	17.3602	1.9107	95.5016	
	ซ้ำ 3	15.6945	2.0014	17.6072	1.9127	95.5681	
27	ซ้ำ 1	15.6933	2.0010	17.6053	1.9120	95.5522	95.5917
	ซ้ำ 2	18.2942	2.0007	20.2079	1.9137	95.6515	
	ซ้ำ 3	17.8979	2.0006	19.8099	1.9120	95.5713	
28	ซ้ำ 1	15.5679	2.0002	17.4818	1.9139	95.6854	95.6628
	ซ้ำ 2	15.4521	2.0002	17.3653	1.9132	95.6504	
	ซ้ำ 3	15.6951	2.0011	17.6092	1.9141	95.6524	
29	ซ้ำ 1	15.4217	2.0011	17.2774	1.8557	92.7340	92.7960
	ซ้ำ 2	15.6876	2.0004	17.5444	1.8568	92.8214	
	ซ้ำ 3	17.8633	2.0007	19.7206	1.8573	92.8325	
30	ซ้ำ 1	15.4212	2.0011	17.3120	1.8908	94.4880	94.4928
	ซ้ำ 2	15.5480	2.0008	17.4390	1.8910	94.5122	
	ซ้ำ 3	15.4482	2.0011	17.3388	1.8906	94.4780	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักถั่ว (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถั่ว+น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	% เนื้อแห้ง	% เนื้อแห้งเฉลี่ย
31	ซ้ำ 1	15.6848	2.0003	17.5935	1.9087	95.4207	95.0965
	ซ้ำ 2	18.2961	2.0004	20.1950	1.8989	94.9260	
	ซ้ำ 3	14.7163	2.0011	16.6162	1.8999	94.9428	
32	ซ้ำ 1	15.6938	2.0009	17.5955	1.9017	95.0422	95.0469
	ซ้ำ 2	18.2954	2.0005	20.1965	1.9011	95.0312	
	ซ้ำ 3	15.4216	2.0009	17.3238	1.9022	95.0672	
33	ซ้ำ 1	15.6894	2.0011	17.5929	1.9035	95.1227	95.0987
	ซ้ำ 2	17.8637	2.0006	19.7665	1.9028	95.1115	
	ซ้ำ 3	15.6955	2.0008	17.5975	1.9020	95.0620	
34	ซ้ำ 1	15.6934	2.0014	17.5910	1.8976	94.8136	94.8970
	ซ้ำ 2	18.2939	2.0005	20.1928	1.8989	94.9213	
	ซ้ำ 3	14.7145	2.0004	16.6140	1.8995	94.9560	
35	ซ้ำ 1	15.4210	2.0009	17.3157	1.8947	94.6924	94.7527
	ซ้ำ 2	15.6875	2.0008	17.5832	1.8957	94.7471	
	ซ้ำ 3	17.8627	2.0014	19.7604	1.8977	94.8186	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักถัว (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถัว+น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	% เนื้อแห้ง	% เนื้อแห้งเฉลี่ย
36	ซ้ำ 1	15.5478	2.0014	17.4423	1.8945	94.6587	94.6354
	ซ้ำ 2	15.4484	2.0002	17.3402	1.8918	94.5805	
	ซ้ำ 3	15.6945	2.0007	17.5885	1.8940	94.6669	
37	ซ้ำ 1	15.4208	2.0006	17.3145	1.8937	94.6566	94.6880
	ซ้ำ 2	15.5481	2.0004	17.4425	1.8944	94.7011	
	ซ้ำ 3	15.4489	2.0005	17.3435	1.8946	94.7063	
38	ซ้ำ 1	15.6872	2.0009	17.5807	1.8935	94.6324	94.6169
	ซ้ำ 2	17.8633	2.0004	19.7560	1.8927	94.6161	
	ซ้ำ 3	15.6950	2.0008	17.5878	1.8928	94.6022	
39	ซ้ำ 1	15.6932	2.0001	17.5909	1.8977	94.8803	94.8786
	ซ้ำ 2	18.2947	2.0001	20.1924	1.8977	94.8803	
	ซ้ำ 3	14.7149	2.0001	16.6125	1.8976	94.8753	
40	ซ้ำ 1	15.4192	2.0002	17.3192	1.9000	94.9905	94.9742
	ซ้ำ 2	15.5465	2.0000	17.4455	1.8990	94.9500	
	ซ้ำ 3	15.4462	2.0008	17.3466	1.9004	94.9820	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักถั่ว (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถั่ว+น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	% เนื้อแห้ง	% เนื้อแห้งเฉลี่ย
41	ซ้ำ 1	15.6872	2.0009	17.5854	1.8982	94.8673	95.0979
	ซ้ำ 2	17.8609	2.0001	19.7661	1.9052	95.2552	
	ซ้ำ 3	15.6944	2.0005	17.5983	1.9039	95.1712	
42	ซ้ำ 1	18.2946	2.0010	20.1597	1.8651	93.2084	93.2768
	ซ้ำ 2	15.4202	2.0005	17.2856	1.8654	93.2467	
	ซ้ำ 3	15.5787	2.0001	17.4463	1.8676	93.3753	
43	ซ้ำ 1	15.3962	2.0012	17.2791	1.8829	94.0885	94.0602
	ซ้ำ 2	14.7154	2.0000	16.5959	1.8805	94.0250	
	ซ้ำ 3	15.4203	2.0007	17.3023	1.8820	94.0671	
44	ซ้ำ 1	17.8631	2.0014	19.7263	1.8632	93.0948	93.0968
	ซ้ำ 2	18.3477	2.0015	20.2096	1.8619	93.0252	
	ซ้ำ 3	15.5485	2.0001	17.4120	1.8635	93.1703	
45	ซ้ำ 1	15.6955	2.0005	17.5567	1.8612	93.0367	93.0277
	ซ้ำ 2	15.3968	2.0001	17.2571	1.8603	93.0103	
	ซ้ำ 3	14.7156	2.0003	16.5766	1.8610	93.0360	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักถั่ว (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถั่ว+น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)	% เนื้อแห้ง	% เนื้อแห้งเฉลี่ย
46	ซ้ำ 1	15.7441	2.0005	17.6277	1.8836	94.1565	94.1933
	ซ้ำ 2	17.9437	2.0004	19.8284	1.8847	94.2162	
	ซ้ำ 3	15.3959	2.0008	17.2808	1.8849	94.2073	
47	ซ้ำ 1	15.4208	2.0006	17.2999	1.8791	93.9268	93.8847
	ซ้ำ 2	15.5484	2.0003	17.4247	1.8763	93.8009	
	ซ้ำ 3	18.3482	2.0004	20.2271	1.8789	93.9262	
48	ซ้ำ 1	15.6889	2.0012	17.5671	1.8782	93.8537	93.8691
	ซ้ำ 2	17.8640	2.0008	19.7422	1.8782	93.8725	
	ซ้ำ 3	15.6958	2.0004	17.5738	1.8780	93.8812	
49	ซ้ำ 1	15.6915	2.0010	17.5521	1.8606	92.9835	92.9155
	ซ้ำ 2	15.3956	2.0002	17.2529	1.8573	92.8557	
	ซ้ำ 3	14.7137	2.0006	16.5724	1.8587	92.9071	
50	ซ้ำ 1	15.6866	2.0003	17.5619	1.8753	93.7509	93.7656
	ซ้ำ 2	17.8623	2.0015	19.7481	1.8858	94.2193	
	ซ้ำ 3	15.6949	2.0005	17.5619	1.8670	93.3267	

ตารางที่ ก.2 ผลของค่าปริมาณไขมันด้วยวิธีมาตรฐาน

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักขวด (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักขวด + น้ำหนักตัวอย่างหลังสกัด (g)	% ไขมัน	% ค่าเฉลี่ยไขมัน
1	ซ้ำ 1	138.5860	5.0023	139.8660	25.5882	24.9539
	ซ้ำ 2	165.4960	5.0042	166.7130	24.3196	
2	ซ้ำ 1	138.5878	5.0006	139.9573	27.3867	27.5301
	ซ้ำ 2	165.5052	5.0008	166.8891	27.6736	
3	ซ้ำ 1	138.5837	5.0001	140.2389	33.1033	31.4518
	ซ้ำ 2	165.4658	5.0003	166.9559	29.8002	
4	ซ้ำ 1	168.6712	5.0004	170.1806	30.1856	30.4876
	ซ้ำ 2	173.4835	5.0004	175.0231	30.7895	
5	ซ้ำ 1	165.4974	5.0001	167.3116	36.2833	36.5688
	ซ้ำ 2	138.5898	5.0005	140.4327	36.8543	
6	ซ้ำ 1	138.6086	5.0007	140.6308	40.4383	39.2902
	ซ้ำ 2	165.4975	5.0000	167.4046	38.1420	
7	ซ้ำ 1	168.6663	5.0003	170.5927	38.5257	38.2949
	ซ้ำ 2	173.4756	5.0005	175.3790	38.0642	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักขวด (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักขวด + น้ำหนักตัวอย่างหลังสกัด (g)	% ไขมัน	% ค่าเฉลี่ยไขมัน
8	ซ้ำ 1	138.5852	5.0005	140.4271	36.8343	35.7107
	ซ้ำ 2	165.4956	5.0007	167.2252	34.5872	
9	ซ้ำ 1	138.5854	5.0007	140.3192	34.6711	34.7401
	ซ้ำ 2	165.5084	5.0007	167.2491	34.8091	
10	ซ้ำ 1	168.6696	5.0011	170.0845	28.2918	30.1900
	ซ้ำ 2	173.4799	5.0006	175.0845	32.0881	
11	ซ้ำ 1	168.6673	5.0005	170.2735	32.1208	31.4644
	ซ้ำ 2	173.4842	5.0000	175.0246	30.8080	
12	ซ้ำ 1	168.6641	5.0003	170.2819	32.3541	33.3217
	ซ้ำ 2	173.4864	5.0004	175.2010	34.2893	
13	ซ้ำ 1	138.5846	5.0001	139.7251	22.8095	22.5230
	ซ้ำ 2	165.4883	5.0008	166.6003	22.2364	
14	ซ้ำ 1	126.4177	5.0003	127.8241	28.1263	28.5682
	ซ้ำ 2	168.6637	5.0000	170.1142	29.0100	
15	ซ้ำ 1	175.9837	5.0015	177.3989	28.2955	28.9319
	ซ้ำ 2	138.5842	5.0013	140.0630	29.5683	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักขวด (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักขวด + น้ำหนักตัวอย่างหลังสกัด (g)	% ไขมัน	% ค่าเฉลี่ยไขมัน
16	ซ้ำ 1	165.4895	5.0014	166.9485	29.1718	29.0710
	ซ้ำ 2	173.4782	5.0003	174.9268	28.9703	
17	ซ้ำ 1	126.4189	5.0008	127.8343	28.3035	28.5763
	ซ้ำ 2	168.6764	5.0005	170.1190	28.8491	
18	ซ้ำ 1	165.5150	5.0007	167.0761	31.2176	31.2954
	ซ้ำ 2	173.4730	5.0014	175.0421	31.3732	
19	ซ้ำ 1	165.4962	5.0009	166.8478	27.0271	27.1338
	ซ้ำ 2	168.6706	5.0014	170.0330	27.2404	
20	ซ้ำ 1	173.4814	5.0008	174.7875	26.1178	28.0843
	ซ้ำ 2	138.5907	5.0002	140.0933	30.0508	
21	ซ้ำ 1	168.6723	5.0013	170.0361	27.2689	26.7887
	ซ้ำ 2	175.9944	5.0003	177.3099	26.3084	
22	ซ้ำ 1	138.6009	5.0004	139.9320	26.6199	25.9077
	ซ้ำ 2	126.4424	5.0013	127.7025	25.1954	
23	ซ้ำ 1	165.4962	5.0013	166.7864	25.7973	26.2966
	ซ้ำ 2	173.4775	5.0004	174.8174	26.7959	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักขวด (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักขวด + น้ำหนักตัวอย่างหลังสกัด (g)	% ไขมัน	% ค่าเฉลี่ยไขมัน
24	ซ้ำ 1	126.4709	5.0010	127.4785	20.1480	20.6424
	ซ้ำ 2	168.6785	5.0012	169.7356	21.1369	
25	ซ้ำ 1	175.9910	5.0004	177.0114	20.4064	20.4560
	ซ้ำ 2	138.6092	5.0006	139.6346	20.5055	
26	ซ้ำ 1	165.5163	5.0004	166.7864	25.4000	22.5638
	ซ้ำ 2	173.4852	5.0001	174.4716	19.7276	
27	ซ้ำ 1	175.9812	5.0011	176.9190	18.7519	17.6826
	ซ้ำ 2	138.5817	5.0008	139.4125	16.6133	
28	ซ้ำ 1	165.4996	5.0002	166.4385	18.7772	18.8691
	ซ้ำ 2	173.4806	5.0003	174.4287	18.9609	
29	ซ้ำ 1	126.4205	5.0004	127.8929	29.4456	30.9905
	ซ้ำ 2	168.6598	5.0007	170.2868	32.5354	
30	ซ้ำ 1	126.4213	5.0006	127.8929	29.4285	30.9509
	ซ้ำ 2	168.6630	5.0004	170.2868	32.4734	
31	ซ้ำ 1	168.6688	5.0011	170.0452	27.5219	26.8712
	ซ้ำ 2	126.4463	5.0003	127.7574	26.2204	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักขวด (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักขวด + น้ำหนักตัวอย่างหลังสกัด (g)	% ไขมัน	% ค่าเฉลี่ยไขมัน
32	ซ้ำ 1	126.4216	5.0009	127.6442	24.4476	24.2652
	ซ้ำ 2	168.6646	5.0011	169.8690	24.0827	
33	ซ้ำ 1	173.4949	5.0001	174.7026	24.1535	26.3348
	ซ้ำ 2	165.5115	5.0014	166.9377	28.5160	
34	ซ้ำ 1	175.9750	5.0012	177.8741	37.9729	38.6811
	ซ้ำ 2	138.6056	5.0011	140.5755	39.3893	
35	ซ้ำ 1	165.4878	5.0014	167.5820	41.8723	41.5691
	ซ้ำ 2	173.4812	5.0005	175.5447	41.2659	
36	ซ้ำ 1	168.6576	5.0009	170.6993	40.8267	41.2039
	ซ้ำ 2	126.4158	5.0013	128.4954	41.5812	
37	ซ้ำ 1	126.4379	5.0011	128.4158	39.5493	40.2384
	ซ้ำ 2	168.6818	5.0008	170.7285	40.9275	
38	ซ้ำ 1	165.4908	5.0005	167.5094	40.3680	39.9732
	ซ้ำ 2	173.4758	5.0002	175.4548	39.5784	
39	ซ้ำ 1	138.6005	5.0004	140.6852	41.6907	40.8019
	ซ้ำ 2	175.9790	5.0006	177.9749	39.9132	

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักขวด (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักขวด + น้ำหนักตัวอย่างหลังสกัด (g)	% ไขมัน	% ค่าเฉลี่ยไขมัน
40	ซ้ำ 1	173.4818	5.0008	175.3798	37.9539	37.8512
	ซ้ำ 2	165.4956	5.0010	167.3834	37.7485	
41	ซ้ำ 1	126.4146	5.0010	128.3542	38.7842	38.8067
	ซ้ำ 2	168.6608	5.0001	170.6023	38.8292	
42	ซ้ำ 1	136.1128	5.0006	137.4632	27.0048	32.8744
	ซ้ำ 2	-	-	-	-	-
43	ซ้ำ 1	168.6610	5.0005	170.5984	38.7441	38.5741
	ซ้ำ 2	-	-	-	-	-
44	ซ้ำ 1	138.5846	5.0000	140.5048	38.4040	38.4062
	ซ้ำ 2	-	-	-	-	-
45	ซ้ำ 1	173.4790	5.0010	175.3998	38.4083	38.7029
	ซ้ำ 2	-	-	-	-	-
46	ซ้ำ 1	175.9793	5.0011	177.9296	38.9974	38.0885
	ซ้ำ 2	-	-	-	-	-
47	ซ้ำ 1	165.4879	5.0006	167.3471	37.1795	37.1853
	ซ้ำ 2	-	-	-	-	-

ตัวอย่าง	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักขวด (g)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักขวด + น้ำหนักตัวอย่างหลังสกัด (g)	% ไขมัน	% ค่าเฉลี่ยไขมัน
48	ซ้ำ 1	126.4149	5.0012	128.2749	37.1911	37.2034
	ซ้ำ 2	-	-	-	-	-
49	ซ้ำ 1	175.9759	5.0003	177.8368	37.2158	36.8018
	ซ้ำ 2	-	-	-	-	-
50	ซ้ำ 1	173.4727	5.0014	175.2926	36.38781141	36.387811
	ซ้ำ 2	-	-	-	-	-



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. เสียบปลั๊ก แล้วเปิดสวิตซ์ทั้งสี่ตัวดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1



รูปที่ ข.2

2. เปิดเครื่องโดยกดเปิด 1 ครั้ง รอสักครู่ให้ขึ้นสัญลักษณ์ดังรูปที่ ข.3 จากนั้นกดปุ่มเปิดค้างไว้ จนกว่าจะมีเสียงสัญญาณดังขึ้นแล้วปล่อย แล้วดูให้สัญลักษณ์เป็นไปตามรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.3



รูปที่ ข.4

3. เปิดคอมพิวเตอร์โดยการกดปุ่มเปิดที่ CPU ดังรูปรูปที่ ข.5 แล้วใส่รหัสผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ ข. 5



รูปที่ ข.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. ทำการเปิดเครื่อง FT- NIR Spectrometer โดยการเปิดสวิตซ์ที่อยู่ด้านหลังของเครื่องดังรูปที่ ข.7 จากนั้นสังเกตสัญลักษณ์ให้เป็นดังรูปที่ ข.8 โดยการเปิดเครื่อง FT- NIR Spectrometer จะต้องเปิดทิ้งไว้ก่อนใช้งาน 1 ชั่วโมงเพื่อประสิทธิภาพที่ ข.ดียิ่งขึ้น

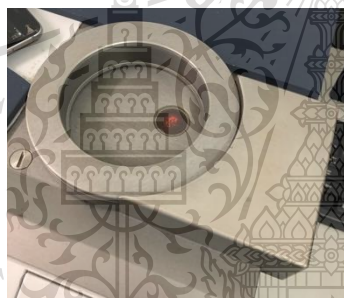


รูปที่ ข.7



รูปที่ ข.8

5. ติดตั้งอุปกรณ์ที่ต้องใช้กับเครื่อง FT-NIR Spectrometer โดยจะวางฐานลงไปก่อนแล้วหามนุนให้ลงตามตำแหน่งดังรูปที่ ข.9 แล้ววางถ้วยลงไปดังรูปที่ ข.10

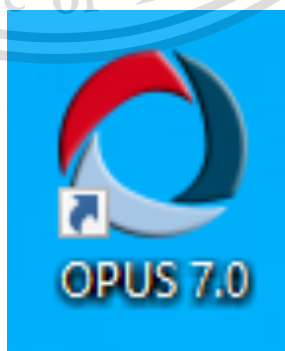


รูปที่ ข.9



รูปที่ ข.10

6. เปิดโปรแกรม OPUS โดย
7.1 เปิดโปรแกรมรูปที่ ข.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ข.11
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7.2 ใส่รหัสผ่านในการเข้าใช้โปรแกรม

OPUS Login

User ID: Administrator

Administrator ADMINISTRATOR

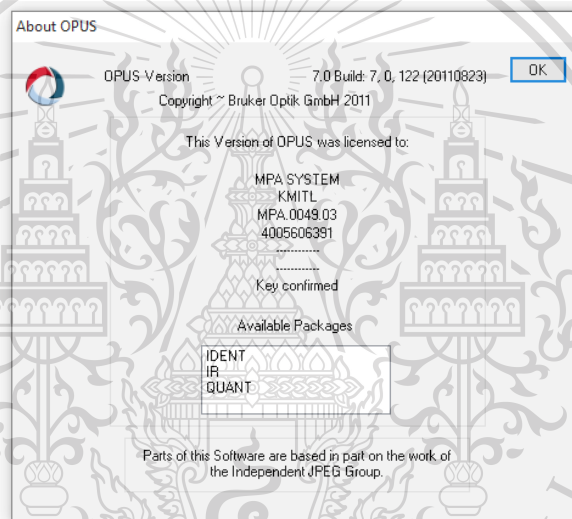
Password:

Assigned workspaces: C:\OPUS_7.0.122\NIR-Advanced.ows

Login Exit from OPUS

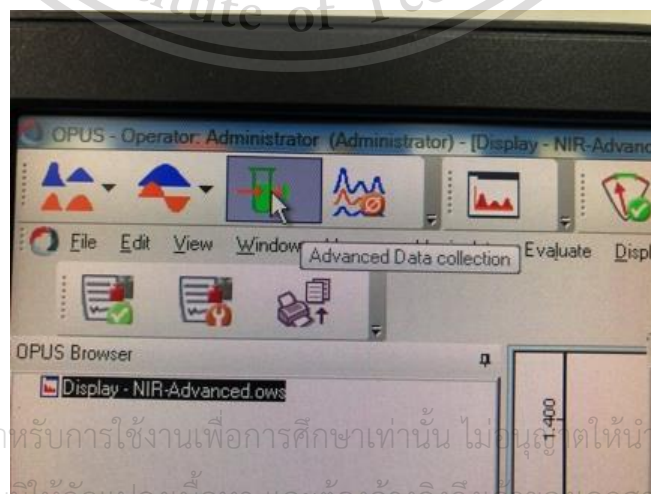
รูปที่ ข.12

7.4 ตรวจสอบให้โปรแกรมเป็นไปดังรูปที่ ข.13



รูปที่ ข.13

7.5 เลือกตัวเลือก Advanced Data Collection



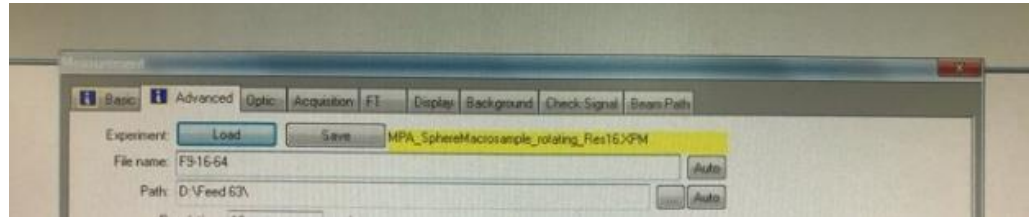
รูปที่ ข.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

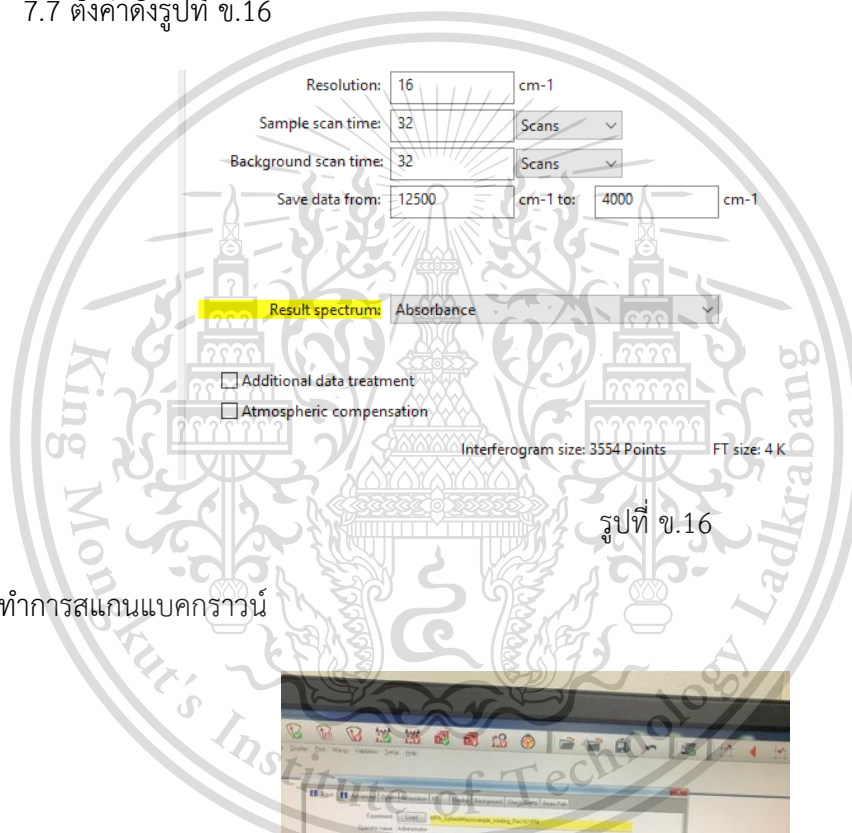
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7.6 ไปที่หัวข้อ Advance เลือก Load จากนั้นเลือกชนิดถ้วยที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นตั้งชื่อไฟล์ของสเปกตรัมและเลือกที่เก็บไฟล์



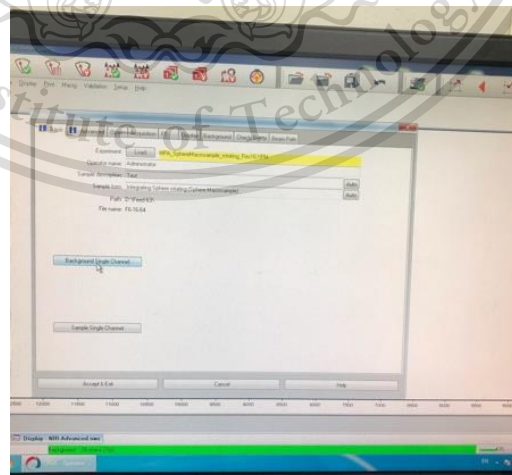
รูปที่ ข.15

7.7 ตั้งค่าดังรูปที่ ข.16



รูปที่ ข.16

8. เริ่มทำการสแกนแบบคร่าวๆ



รูปที่ ข.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

9. เริ่มทำการสแกนตัวอย่าง สังเกตสัญลักษณ์เครื่องให้มีลักษณะดังรูปที่ ข.18 แสดงว่าเครื่องกำลังทำการสแกนตัวอย่าง



รูปที่ ข.18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- [1] Erminio Murano. 2017. Starch Polysaccharides in the Human Diet: Effect of the Different Source and Processing on its Absorption. *Natural Product Communications* 12(6):837-853.
- [2] Jerry Workman Jr., Lois Weyer. 2012. PRACTICAL GUIDE and SPECTRAL ATLAS for INTERPRETIVE NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY SECOND EDITION สำนักพิมพ์ CRC Press – Taylor & Francis Group ประเทศสหรัฐอเมริกา.
- [3] Metrohm AG. 2020. Near-Infrared Spectroscopy Analysis: FAQs (Part 1). [Online]. Available: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19837>
- [4] Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis. Longman Group, UK. 227p.
- [5] Samantha, N., Henry, J., and Knud K., 2020. The development of models to predict the nutritional value of feedstuffs and feed mixture using NIRS. Department of Animal Science, AU Foulum, Aarhus University, Denmark.
- [6] Silvia, P., Anna, A., Alessandro, C., and Riccardo, B., 2016. Use of FT-NIRS for determination of chemical components and nutritional value of natural pasture. *Italian Journal of Animal Science*.17(1) : 87-91.
- [7] Tejerina, D., García, S., Martín, E., Gordillo, A., Ortiz, A., Ferraz, M., Machado, G., Sales-Baptista, E., Cabeza, M., Romero, M., 2018. NIRS potential use for the determination of natural resources quality from dehesa (acorn and grass) in Montanera system for Iberian pigs. *Archivos de zootecnia*, ISSN 0004-0592, N° Extra 1. 71-73.
- [8] Williams, P. 2007. Application to agricultural and marine products. In *Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*. (eds. Y. Ozaki, W. F. McClure and A. A. Christy), pp. 165-218. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. Publication.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [9] คณะทำงานจัดทำแผนและขับเคลื่อนยุทธศาสตร์กรมปศุสัตว์. (2560). ยุทธศาสตร์กรมปศุสัตว์ พ.ศ. 2561-2565., [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://planning.dld.go.th/th/index.php/th/plan-menu/497-2561-2565>
- [10] คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2555. เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://ebook.lib.ku.ac.th/ebook27/ebook/2015RG0071/#p=1>
- [11] ปานมนัส ศิริสมบุญ และคณะ. 2556. เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://nirsresearch.com/หมวดหมู่บทความ-2164-1-near-infrared-spectroscopy.html>.
- [12] ปฎิมา บุตรชา และอาทิตยา สุขสะเกษ. 2561. การใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีทำนายองค์ประกอบของหญ้ากินีสีม่วงและหญ้ากินีมอบาซา. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://nutrition.dld.go.th//nutrition/Images/pdf/T5.pdf>
- [13] ปรีดา ภูมิ. (2555). บทปฏิบัติการ อาหารและการให้อาหารสัตว์น้ำ (ม.ป.ป.). ตีพิมพ์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง. สืบค้น 18 เมษายน 2563, จาก [http://fishtech.rmutsv.ac.th/fishtech3/FishtechSAR55/4.0.3/FISHTECH%204.0.3-02\(3\).pdf](http://fishtech.rmutsv.ac.th/fishtech3/FishtechSAR55/4.0.3/FISHTECH%204.0.3-02(3).pdf).
- [14] ธนบดี รอดสม. (ม.ป.ป.). พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://slideplayer.in.th/slide/16707301/>.
- [15] นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์. 2545. หลักพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโทรสโกปี. น. 39-61. การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [16] ภัทรภร ทศพงษ์, เปรมกมล ทองดอนเสียง, และกาญจนา โพธิ์ เนียม. 2560. การทำนายส่วนประกอบทางเคมี การย่อยได้ของหญ้าเนเปียร์ปากช่องโดยเนียร์อินฟราเรดรีเฟลกแตนซ์สเปกโทรสโกปี. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. (25)2, 113-121.
- [17] ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและทดสอบสมการใน

เทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. น.131-151. การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- [18] สุวิช บุญโปร่ง. 2558. คู่มือการเลี้ยงโคเนื้อสำหรับเกษตรกรไทย. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
[http://breeding.dld.go.th/th/images/document/beef/คู่มือการเลี้ยงโคเนื้อสำหรับ
เกษตรกร.pdf](http://breeding.dld.go.th/th/images/document/beef/คู่มือการเลี้ยงโคเนื้อสำหรับเกษตรกร.pdf)
- [19] อนุสรณ เชิตทอง. (ม.ป.ป.). บทที่ 4 ลิพิดและกรดไขมัน. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้
จาก: [https://ag2.kku.ac.th/eLearning/137748/Doc%5CChapter%204%20Lipid%
20and%20fatty%20acid.pdf](https://ag2.kku.ac.th/eLearning/137748/Doc%5CChapter%204%20Lipid%20and%20fatty%20acid.pdf)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.