



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การตรวจสอบความสดของไข่ไก่โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
Freshness measurement of eggs using near infrared spectroscopy

ชื่อนิสิต นางสาวณัฐสุดา เหมือนขจร เลขประจำตัว 5933039223

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตรวจสอบความสดของไข่ไก่โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Freshness measurement of eggs using near infrared spectroscopy

โดย

นางสาวณัฐสุดา เหมือนขจร

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

โครงการ การตรวจสอบความสดของไข่ไก่โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

โดย นางสาวณัฐสุดา เหมือนขจร

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

- | | |
|---|----------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ เพ็ญรวณิช | ประธานกรรมการ |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัสสรพล งามอุโฆษ | กรรมการ |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| 4. ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์ | อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี)
อาจารย์ที่ปรึกษา



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)
หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 23 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2562

ชื่อโครงการ การตรวจสอบความสดของไข่ไก่โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
ชื่อนิติในโครงการ นางสาวณัฐสุดา เหมือนขจร เลขประจำตัว 5933039223
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

เนื่องจากบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) มีนโยบายในการผลิตไข่ไก่ที่เน้นคุณภาพและความปลอดภัยเป็นหลัก ดังนั้นขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของไข่ไก่ โดยวิธีมาตรฐานในการตรวจวัดความสดของไข่ไก่จะดูจากค่าหน่วยออก ซึ่งคำนวณได้จากน้ำหนักของไข่และความสูงของไข่ขาวส่วนชั้น แต่วิธีดังกล่าวเป็นวิธีตรวจวัดที่ทำลายตัวอย่าง ส่งผลให้ทางบริษัทไม่สามารถตรวจวัดความสดของไข่ไก่ได้ทุกฟอง การวิเคราะห์จึงเป็นเพียงการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเท่านั้น ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่จะมีไข่ไก่ที่มีความสดต่ำกว่ามาตรฐานปะปนเข้าไปในสายการผลิตและกระบวนการแปรรูป งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ประกอบกับการคำนวณทางเคโมเมทริกซ์มาใช้ในการตรวจสอบความสดของไข่ไก่ โดยศึกษาผลกระทบของตำแหน่งของไข่ไก่ที่ใช้วัดสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม (ด้านแหลมและด้านป้าน) พบว่าสมการสอบเทียบทางเคโมเมทริกซ์สำหรับใช้ทำนายค่าหน่วยออกซึ่งเป็นตัวแทนความสดของไข่ไก่ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.78-0.79 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองของการทำนายอยู่ในช่วง 6.75-7.00 นอกจากนี้การทำนายเกรดของไข่ไก่ตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การจำแนกประเภทเชิงเส้นพบว่าสามารถทำนายเกรด AA และเกรด B ของไข่ไก่มีความแม่นยำถึง 80-84 % และ 70-75 % ตามลำดับ แต่ให้ค่าความถูกต้องในการทำนายไข่ไก่เกรด A ต่ำ และเมื่อพิจารณาการทำนายเกรดของไข่ไก่จากเกณฑ์ที่อ้างอิงตามเกณฑ์โรงงานแปรรูป (ค่าหน่วยออก ≥ 70) และเกณฑ์โรงคัดไข่ไก่ (ค่าหน่วยออก ≥ 80) ของบริษัทซีพีเอฟ มีความแม่นยำถึง 83-86 % และ 69-80 % ตามลำดับ ซึ่งค่าการทำนายของทั้งสองตำแหน่งให้ผลการทำนายที่มีแนวโน้มเดียวกัน

คำสำคัญ: เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี, ความสดของไข่ไก่, หน่วยออก, เคโมเมทริกซ์

Project Title Freshness measurement of eggs using near infrared spectroscopy

Student Name Miss Natsuda Muankhajorn Student ID 5933039223

Advisor Name Associate Professor Kanet Wongravee, Ph.D.

Co-advisor Name Professor Sanong Ekgasit, Ph.D.

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2019

Abstract

Charoen Pokphand Food (Thailand) public Co. Ltd (CPF) has a policy to manufacture well quality and secure eggs. Therefore, the quality control of eggs is the most importance in egg industry. Traditionally, Haugh unit (*HU*) level calculated by using egg weight and the height of thick albumin was used to grade egg freshness. However, this method is a destructive method, which cannot be used for all egg samples. It gives the high possibility that some below standard eggs are accidentally go through the manufacturing process. This study focuses on developing technique based on Near-infrared spectroscopy (NIR) with chemometric in order to determine the egg freshness. In the study, the NIR signals detected from different positions on egg (top and bottom position) were investigated. The regression equation is utilized to predict egg freshness using partial least square regression (PLS) which gives correlation coefficient (*R*) in range of 0.78-0.79 and root mean square error of prediction (*RMSEP*) in range of 6.75-7.00. Moreover, LDA classifier model was developed in order to classify grade of eggs according to regulation of Thai Agricultural standard TAS 6702-2010. Grade AA and B of eggs can be predicted with accuracy 80-84 % and 70-75 % respectively; however, the prediction accuracy of grade A egg is quite low. Furthermore, LDA model was generated to predict grade of egg which either pass or fail according to CPF regulation with accuracy of 83-86 % (for processing plant) and 69-80 % (egg incubator plant) respectively, with the prediction of these two positions are resulted in a similar manner.

Keywords: Near-infrared spectroscopy, egg freshness, Haugh unit, chemometrics

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและรายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้ความกรุณาอย่างสูงยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางการดำเนินงานวิจัย อีกทั้งสละเวลาในการให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด

ขอขอบคุณบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ ตั้งอยู่ที่ อ.บึงบอระเพ็ด จ.ชลบุรี ที่อนุเคราะห์ให้ไก่เพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณคุณฉัตรวรรณ อุทรรักษ์ (พี่ม้อย), คุณอรจิตรา เครือวิหวัธ (พี่หมี), คุณปิยพร บุรณะ (พี่แหว), คุณอุบล ดวงแสนจันทร์ (พี่เขียว), คุณทองแดง นະธิไทย (พี่ทอง), คุณศราวดี ยอดดอน (พี่เอิญ) และคุณนภัสวรรณ กระจง (พี่เปิ้ล) พี่ๆหน่วยไก่ไข่ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ที่ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับการดูแลสัตว์ การใช้เครื่องมือต่างๆ รวมไปถึงให้การช่วยเหลือในเรื่องของการทำงาน งานวิจัย และดูแลอย่างดีตลอดการทำสหกิจศึกษา

ขอขอบคุณนายสัตวแพทย์ ดร. มนุศักดิ์ วงศ์พัชรชัย (พี่แจ๊ค), สัตวแพทย์หญิง ดร. ณัฐวัลย์ นนทเบญจวรรณ (พี่นัท) และดร. พิชญา จรรย์หัตถะกิจ(พี่แย้ม) พี่ๆสำนักวิชาการอาหารสัตว์ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ที่ให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆและการช่วยเหลือในงานวิจัย รวมไปถึงดูแลอย่างดีตลอดการทำสหกิจศึกษา

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณกำลังใจและการสนับสนุนจากครอบครัว รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาเคมี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	6
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ไข่ไก่	7
2.2 องค์ประกอบของไข่ขาว	10
2.3 การเปลี่ยนแปลงของไข่ไก่ในระหว่างการเก็บรักษา	10
2.4 หน่วยฮอก (Haugh unit)	11
2.5 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	13
2.6 รูปแบบการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	15
2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางเคโมเมทริกซ์	16
2.7.1 Standard Normal Variate (SNV)	17
2.7.2 Principal Component Analysis (PCA)	17
2.7.3 Partial Least Square (PLS)	18
2.7.4 Linear Discriminant Analysis (LDA)	18
2.8 ค่าทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	19
2.8.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)	19
2.8.2 Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP)	20
2.8.3 ตารางการณั้จร (Contingency table)	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	22
3.1 การเก็บไข่ไก่	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การวัดความสดของไข่ไก่ด้วยหน่วยฮอก (Haugh unit)	23
3.3 การวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่	25
3.4 การจัดการข้อมูลหลังจากทำการตรวจวัดด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์	26
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมแมตแล็บ (MATLAB)	27
บทที่ 4 ผลการวิจัย	29
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไข่ไก่	29
4.2 ความสดของไข่ไก่ที่ได้จากการวัดด้วยหน่วยฮอก (Haugh unit)	30
4.3 เนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่	31
4.4 การทำนายค่าความสดจากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมด้วยเทคนิคเคโมเมทริกซ์	35
4.4.1 การจัดกลุ่มเกรดของไข่ไก่ด้วยเทคนิค Principal Component Analysis	35
4.4.2 การวิเคราะห์ค่าหน่วยฮอกของไข่ไก่ด้วยเทคนิค Partial Least Square	38
4.4.3 การทำนายเกรดของไข่ไก่ด้วยเทคนิค Linear Discriminant Analysis	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	43
เอกสารอ้างอิง	44
ประวัติผู้วิจัย	46

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 โพรตีนหลักที่พบในไข่ขาว	10
ตารางที่ 2.2 contingency table ของข้อมูล 2 กลุ่ม (Class A และ Class B)	20
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไข่ไก่	29
ตารางที่ 4.2 ค่าสูงสุด, ค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของค่าที่แสดงจากเครื่องวัดค่า Haugh unit	30
ตารางที่ 4.3 ช่วงสัญญาณที่สำคัญจากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่ และความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีในไข่ไก่	34
ตารางที่ 4.4 เพอร์เซ็นต์ในการทำนายเกรดของไข่ไก่ตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553	41
ตารางที่ 4.5 เพอร์เซ็นต์ในการทำนายกลุ่มของไข่ไก่ที่ผ่านเกณฑ์และตกเกณฑ์โดยอ้างอิง ตามเกณฑ์โรงงานแปรรูป	41
ตารางที่ 4.6 เพอร์เซ็นต์ในการทำนายกลุ่มของไข่ไก่ที่ผ่านเกณฑ์และตกเกณฑ์โดยอ้างอิง ตามเกณฑ์โรงคัดไข่ไก่	42

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 การเลี้ยงสัตว์บกจากฟาร์มของซีพีเอฟ	1
รูปที่ 1.2 การเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรรายย่อยในโครงการ Contract Farming กับซีพีเอฟ	2
รูปที่ 1.3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับไข่ไก่ของบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	3
รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	5
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของโดยทั่วไปไข่ไก่	7
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเปลือกไข่	8
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเยื่อหุ้มไข่และโพรงอากาศ	8
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของไข่แดง	9
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของไข่ขาว	9
รูปที่ 2.6 ด้านข้างของไข่ที่ตอกลงบนพื้นราบ	11
รูปที่ 2.7 ภาพไข่แดง ไข่ขาวชั้นในส่วนชั้น ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใส	12
รูปที่ 2.8 ระดับชั้นคุณภาพของการตอกไข่	12
รูปที่ 2.9 ช่วงแสงที่มีความยาวคลื่นย่านใกล้อินฟราเรด	13
รูปที่ 2.10 แถบการดูดกลืนแสงของหมู่ม่วงกักชั้นและหมู่ม่วงข้างเคียงในช่วงความยาวคลื่น 700 – 2500 นาโนเมตร	13
รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง เนียร์อินฟราเรด	14
รูปที่ 2.12 หลักการของ NIR Spectroscopy	14
รูปที่ 2.13 สัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่	15
รูปที่ 2.14 รูปแบบในการวัดของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	16
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทดลองการเก็บสัญญาณเนียร์อินฟราเรดและการวัดค่าฮอกของไข่ไก่สด	23
รูปที่ 3.2 แผนภาพการทดลองการเก็บสัญญาณเนียร์อินฟราเรดและการวัดค่าฮอกของไข่ไก่ที่เก็บรักษา 0 - 10 วัน	23
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดค่า Haugh unit รุ่น Egg multitester EMT7300 จากประเทศญี่ปุ่น	24
รูปที่ 3.4 วิธีการวัดความสดด้วยเครื่องวัดค่า Haugh unit	24
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม	25
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งในการวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่	26
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการจัดการข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์	27
รูปที่ 3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม MATLAB	28
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยฮอกและระยะเวลาในการเก็บไข่ไก่	31

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.2 เนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่ที่ได้จากการวัดในตำแหน่งด้านป้าน (Bottom) และตำแหน่งด้านแหลม (Top)	32
รูปที่ 4.3 Principal Component Analysis ของไข่ไก่ตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553	36
รูปที่ 4.4 กราฟโหลดดิ้ง (Loadings, P) ของ PC1	36
รูปที่ 4.5 Principal Component Analysis ของไข่ไก่ตามเกณฑ์โรงงานแปรรูปไข่ไก่ และเกณฑ์โรงคัดไข่ไก่สดของบริษัทซีพีเอฟ	38
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของค่าหน่วยฮอกจริงและค่าหน่วยฮอกที่ทำนายได้จากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดที่วัดได้จากไข่ไก่ตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.6702-2553	39

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	ความหมาย
CPF	Charoen Pokphand Food (Thailand) public Co. ltd
CSV	Comma-Separated Value
FN	False Negative
FP	False Positive
GA-siPLS	Genetic Algorithm Synergy Interval Partial Least Square
GA-ANN	Artificial Neural Network combined with Genetic Algorithms
HU	Haugh unit
LDA	Linear Discriminant Analysis
nm	Nanometer
MAXR	Maximum R^2
MLLRR	Maximum Likelihood Latent Root Regression
NIR	Near-infrared
P	Loadings
PC	Principle Component
PCA	Principal Component Analysis
PLS	Partial Least Square
R	Correlation coefficient
R^2	Coefficient of determination
RMSE	Root Mean Square Error
RMSEP	Root Mean Square Error of Prediction
SNV	Standard Normal Variate
SVDD	Support Vector Data Description
T	Scores
TN	True Negative
TP	True Positive
VIS	Visible

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

ไข่ไก่เป็นสินค้าทางการเกษตรที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงอุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน ธาตุเหล็ก ฟอสเฟต กรดอะมิโน กรดไขมัน และวิตามิน 13 ชนิด อีกทั้งยังมีราคาไม่แพง และหาซื้อเพื่อรับประทานได้ง่าย สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลากหลายประเภท ทำให้ไข่ไก่เป็นที่นิยมในการบริโภคทุกครัวเรือน และยังเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร ด้วยคุณสมบัติของไข่ไก่ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ส่งผลให้ไข่ไก่เป็นหนึ่งในสินค้าที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และมีความต้องการของตลาดและอุตสาหกรรมทางอาหารสูงตลอดปี

บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ผู้นำธุรกิจเกษตรอุตสาหกรรมครบวงจรได้ดำเนินธุรกิจเกษตรอุตสาหกรรมและอาหารแบบครบวงจรทั้งสัตว์บก และสัตว์น้ำ ครอบคลุมประเภทสัตว์หลักได้แก่ สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่ เป็ด กุ้ง และปลา ซึ่งสามารถจำแนกประเภทธุรกิจหลักเป็น 3 ประเภท คือธุรกิจอาหารสัตว์ ธุรกิจเลี้ยงสัตว์ และธุรกิจอาหาร รวมทั้งประกอบกิจการค้าปลีกและร้านอาหาร และนอกจากนี้ ซีพีเอฟ (CPF) ยังได้มีการนำระบบส่งเสริมอาชีพเกษตรกรรายย่อยหรือระบบคอนแทรคฟาร์ม (Contract Farming) มาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยตามนโยบายของกรมการค้าภายในกระทรวงพาณิชย์เมื่อกว่า 30 ปีที่ผ่านมา โดยนำระบบดังกล่าวมาใช้ทั้งในภาคเกษตร สัตว์และพืช อาทิเช่น ไก่ไข่ ไก่เนื้อ เป็ด อ้อย ข้าวโพด มันฝรั่ง มะเขือเทศ ข้าวบาร์เลย์ สับปะรด เป็นต้น เพื่อให้การจำหน่ายผลผลิตทางการเกษตรได้รับความเป็นธรรม มีมาตรฐานสำหรับการแปรรูปและส่งออก อีกทั้งยังทำให้เกษตรกรมีรายได้แน่นอน โดยมีบริษัทเอกชนที่มีความรู้และความชำนาญด้านการผลิต มีเทคโนโลยี และเชี่ยวชาญด้านการตลาด เข้ามาบริหารงานและรับความเสี่ยงแทนเกษตรกร ช่วยให้เกษตรกรมีแหล่งรับซื้อผลผลิตที่แน่นอน อันจะนำไปสู่การมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ปัจจุบันมีเกษตรกรร่วมโครงการรวม 5,214 ราย (สำรวจเมื่อ 26 กันยายน 2561) ดังนั้นผลผลิตจากทางซีพีเอฟ (CPF) จึงมาจากทั้งสองช่องทางนั้นก็คือจากการเลี้ยงผ่านฟาร์มของทางบริษัทซีพีเอฟดังแสดงในรูปที่ 1.1 และจากเกษตรกรรายย่อยในโครงการ Contract Farming กับซีพีเอฟดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 แสดงการเลี้ยงสัตว์บกจากฟาร์มของซีพีเอฟ (www.cpfworldwide.com)



รูปที่ 1.2 แสดงการเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรรายย่อยในโครงการ Contract Farming กับซีพีเอฟ
(<http://www.cp-eneews.com>)

ไข่ไก่ที่ได้จากบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) จะมี 2 ประเภทคือไข่ไก่สดและไข่ไก่แปรรูป ดังแสดงในรูปที่ 1.3 โดยไข่สดซีพีเอฟเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐาน ซึ่ง จะทำการคัดขนาดน้ำหนัก การล้างทำความสะอาด และการบรรจุไข่ลงในบรรจุภัณฑ์พร้อมสลากสินค้าที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วน มีวันผลิตและวันหมดอายุอย่างชัดเจน และยังบันทึกแหล่งที่มาของไข่ ซึ่งสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ โดยโรงคัดไข่ของซีพีเอฟได้รับการรับรองมาตรฐานการผลิตในระดับสากลต่างๆ มากมาย รวมถึงเครื่องหมายอาหารปลอดภัย (Food Safety) จากกระทรวงสาธารณสุข ส่วนไข่แปรรูปถูกพัฒนามาจากไข่สดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร และสินค้าพร้อมรับประทาน ไข่ไก่แปรรูปนั้นจะนำไข่ไก่สดที่ได้จากทางโรงคัดไข่ของซีพีเอฟ และจากเกษตรกรผู้เข้าโครงการคอนแทรคฟาร์ม ไข่ไก่แปรรูปภายใต้แบรนด์ “ซีพี” ที่ซีพีเอฟผลิตอยู่หลายชนิด ได้แก่ ไข่ขาวเหลว ไข่แดงเหลว ไข่รวมเหลว ไข่ขาวผง ไข่แดงผง ไข่รวมผง ตลอดจนไข่เหลวในรูปแบบแช่แข็ง (Frozen) ไข่ต้มสุกพร้อมทาน ไข่สมุนไพรม้วน ไข่ลูกรอก เต้าหู้ไข่ เป็นต้น จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าซีพีเอฟผลิตไข่ไก่ที่เน้นคุณภาพและความปลอดภัยเป็นหลัก ดังนั้นขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของไข่ไก่ และเนื่องจากความสดของไข่ไก่เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระดับคุณค่าสารอาหารทางโภชนาการของไข่ไก่ จึงจำเป็นต้องมีวิธีมาตรฐานในการตรวจวัดความสดของของไข่ไก่ โดยหน่วยฮอก (Haugh unit; HU) เป็นหน่วยมาตรฐาน (<http://det6500.com>) ที่บ่งบอกถึงคุณภาพของไข่ไก่ ดังนั้นหน่วยฮอกจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสดของไข่ไก่ ถ้าไข่ไก่ที่สดจะให้ค่าฮอกที่สูง ค่าฮอกนั้นคำนวณได้จากน้ำหนักของไข่และความสูงของไข่ขาวส่วนชั้น (Thick albumen) ซึ่งตรวจวัดค่าฮอกด้วยวิธีดังกล่าวนี้มีข้อเสีย นั่นคือเป็นวิธีตรวจวัดที่ทำลายตัวอย่าง (Destructive Measurement Systems) ส่งผลให้ทางบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ไม่สามารถตรวจวัดความสดของไข่ไก่ได้ทุกฟอง เนื่องจากมีการนำเข้าไข่ไก่สดในกระบวนการผลิตและการนำเข้าจากเกษตรกรในโครงการคอนแทรคฟาร์มจำนวนหลายล้าน

ฟองต่อวัน การวิเคราะห์จึงเป็นเพียงการสุ่มตัวอย่างจากไข่ไก่ประมาณ 1-2% ของทั้งหมดมาเป็นตัวแทนกลุ่มเท่านั้น ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่จะมีไข่ไก่ที่มีความสดต่ำกว่ามาตรฐานปะปนเข้าไปในสายการผลิตและกระบวนการแปรรูป ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของไข่ไก่ที่แปรรูปทำให้มีการสูญเสียมูลค่าของไข่ไก่แปรรูปที่ไม่ได้มาตรฐาน หรืออาจจะมีการเล็ดลอดออกจากสายการผลิตไปสู่ผู้บริโภคได้จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นมูลเหตุจูงใจของนักวิจัยในการทำวิจัยในครั้งนี้ ในการคิดค้นหาวิธีการตรวจวัดความสดของไข่ไก่ที่ไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถตรวจวัดได้รวดเร็ว มีความแม่นยำ เพื่อนำไปใช้ในการตรวจคุณภาพของไข่ไก่สดที่นำเข้ามาแปรรูปในโรงงานของบริษัทซีพีเอฟ



รูปที่ 1.3 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับไข่ไก่ของบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) (www.cpbrandsite.com)

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy, NIRS) เป็นเทคนิคเชิงแสงแบบหนึ่ง มีหลักการในการใช้คลื่นแสงที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 700 - 2500 นาโนเมตร ส่งผ่านเข้าไปในตัวอย่างเพื่อใช้ในการตรวจสอบชนิดและปริมาณของสารประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของตัวอย่างโดยไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-destructive) เมื่อคลื่นแสงถูกส่งผ่านเข้าไปในตัวอย่างจะเกิดการดูดกลืนพลังงานของพันธะเคมีในโมเลกุลของสารประกอบที่อยู่ในตัวอย่าง โดยจะมีการตอบสนองที่ไวต่อพันธะเคมี H-O, H-N, H-C และ C=O ในโมเลกุล แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาหาความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ประกอบกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเคโมเมทริกซ์ (Chemometrics) เพื่อให้ได้สมการในการทำนายปริมาณสารหรือสารประกอบชนิดนั้น ๆ แล้วจึงสามารถนำมาใช้ในงานวิเคราะห์ประจำวันได้ (Routine analysis) เทคนิค NIRS มีข้อดีคือใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบสั้น ลดการใช้สารเคมีในการตรวจวิเคราะห์ ประหยัดแรงงานและลดต้นทุนการผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะประยุกต์ใช้เทคนิค Near infrared spectroscopy ประกอบกับการคำนวณทางเคโมเมทริกซ์มาใช้ในการตรวจสอบความสดของไข่ไก่ โดยจะศึกษาผลกระทบของตำแหน่งของไข่ไก่ที่ใช้วัดสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม (ด้านแหลมและด้านป้าน) และการวิเคราะห์ความถูกต้องในการจำแนกไข่ไก่สดและไข่ไก่ที่ผ่านการเก็บมาระหว่าง 0-10 วัน จากสัญญาณ

เนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม โดยไซโกจะถูกเก็บที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) ไซโกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) และศูนย์วิจัยนวัตกรรมอาหารสัตว์ตั้งอยู่ที่ อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liwei Chen และคณะ ⁽¹⁾ ได้ทำการวัดไซโกสดหลังจากที่แม่ไก่ได้ออกไข่มาแล้ว 24 ชั่วโมง จำนวน 180 ฟอง ด้วยเทคนิค Near infrared spectroscopy และใช้ TQ Analyst 8.5.28 ในการวิเคราะห์ผลเพื่อตรวจสอบความสดของไซโก โดยได้ความแม่นยำของการวิเคราะห์ความสดถึง 98.2%

Hao Lin และคณะ ⁽²⁾ ได้ทำการตรวจวัดไซโกจากศูนย์การค้าจำนวน 154 ฟอง โดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIR) ร่วมกับ Graphically-oriented local multivariate analysis และเทคนิค Genetic Algorithm Synergy Interval Partial Least Square (GA-siPLS) เพื่อระบุความสดของไซโก พบว่าจากการวิเคราะห์จะมีความคลาดเคลื่อน Root Mean Square Error Value of Prediction (*RMSEP*) เพียง 3.29 และมีค่า Correlation coefficient (*R*) เท่ากับ 0.8442

Hao Lin และคณะ ⁽³⁾ ได้ทำการวัดไซโกจากฟาร์มสัตว์ปีกในท้องถิ่นจำนวน 176 ฟองด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIR) และใช้เทคนิค Artificial Neural Network combined with Genetic Algorithms (GA-ANN) เพื่อวิเคราะห์ความสดของไซโก ซึ่งได้ค่าความคลาดเคลื่อน Root Mean Square Error of Prediction (*RMSEP*) เท่ากับ 2.443 และ Correlation coefficient (*R*) เท่ากับ 0.879

Jiwen Zhao และคณะ ⁽⁴⁾ ได้ทำการวัดไซโกจากศูนย์การค้าจำนวน 101 ฟอง โดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIR) ร่วมกับ Support Vector Data Description (SVDD) เพื่อตรวจหาไซโกที่ไม่สด โดยเทคนิค SVDD มีอัตราในการแยกไซโกที่สดและไม่สดได้เท่ากับ 93.3%

Nicolas และคณะ ⁽⁵⁾ ได้ทำการวัดไซโกเปลือกสีขาวจำนวน 360 ฟอง โดยใช้เทคนิค Visible (VIS) and Near Infrared (NIR) Spectroscopy โดยใช้ร่วมกับเทคนิค Maximum R^2 (MAXR) เพื่อประเมินความสดของไซโก โดยค่า Correlation coefficient (*R*) ระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่ได้จากการทำนาย Haugh unit, Albumen pH และจำนวนวันในการเก็บมีค่าเท่ากับ 0.94 และค่า Coefficient of determination (R^2) เท่ากับ 0.90

Mohammad Aboonajmi ⁽⁶⁾ ได้ทำการวัดไซโกไซส์ขนาดกลางจากแม่ไก่ Boris Brown อายุ 33 สัปดาห์จากฟาร์ม Kei (เกียวโต, ประเทศญี่ปุ่น) จำนวน 300 ฟอง โดยใช้เทคนิค Transmission visible near infrared spectroscopy และใช้ร่วมกับเทคนิค Maximum Likelihood Latent Root Regression (MLLR) เพื่อใช้ในการทำนายค่าความสดของไซโกในเทอมของคุณภาพภายในไซโกของ Haugh unit และ Air cell height โดยได้ค่า Coefficient of determination (R^2) ของ Haugh unit และ Air cell height เท่ากับ 0.82 and 0.86 ตามลำดับ

ในงานวิจัยนี้นักวิจัยได้รับการอนุเคราะห์ในการวัดความสดและการเก็บข้อมูลสเปกตรัม NIR ของไข่ไก่สด จากไข่ไก่ทั้งสิ้นจำนวน 1,722 ฟอง ทั้งนี้เพื่อใช้ในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการทำนายความสดของไข่ไก่จากสเปกตรัม NIR และการทำนายเกรดของไข่ไก่โดยใช้เทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy) ร่วมกับวิธีทางเคโมเมทริกซ์ (Chemometrics) โดยจะแบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่จัดทำที่ศูนย์วิจัยนวัตกรรมอาหารสัตว์ตั้งอยู่ที่ อ.บึงบอระเพ็ด จ.ชลบุรี และส่วนที่จัดทำที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยดังแสดงในรูปที่ 1.4 นอกจากนี้จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งของไข่ไก่ที่ใช้เก็บเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมต่อประสิทธิภาพการทำนายค่าหน่วยออกของสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น และการใช้ในการทำนายเกรดของไข่ไก่ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาแล้วยังไม่มีผู้วิจัยที่สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณค่าออกและทำนายเกรดของไข่ไก่ จากไข่ไก่จำนวนมากขนาดนี้มาก่อน นอกจากนี้ไข่ไก่สดที่ได้จากแม่พันธุ์ที่มีช่วงอายุเดียวกันจากฟาร์มที่ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ซึ่งเป็นไข่ไก่สดโดยสมบูรณ์แบบ



รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยแบ่งเป็นการเก็บตัวอย่างไข่ไก่สดและการวัดสเปกตรัม NIR ซึ่งจะเป็นการดำเนินการผ่านโครงการสหกิจศึกษาที่ศูนย์วิจัยนวัตกรรมอาหารสัตว์ของบริษัทซีพีเอฟ และการวิเคราะห์ผลการทดลองรวมถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่หน่วยวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

1) วิเคราะห์ความสดของไข่ไก่โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy) ร่วมกับวิธีทางเคโมเมทริกซ์ (Chemometrics)

2) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายความสด (ค่าหน่วยออก) ของไข่ไก่ และใช้ในการจำแนกเกรดของไข่ไก่

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการตรวจวัดความสดของไข่ไก่จากแม่ไก่สายพันธุ์ HY-LINE BROWN จากฟาร์มที่ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ของบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) ร่วมกับเทคนิคทางเคโมเมทริกซ์ (Chemometrics) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายความสดของไข่ไก่ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square; PLS) โดยใช้เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Near infrared spectrometer) รุ่น Thermo Scientific Nicolet iS5N ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 1000 - 2500 นาโนเมตร โดยปรับ Laser power 7 มิลลิวัตต์ และใช้ Number of scans เท่ากับ 16 รวมไปถึงใช้เครื่องวัดค่า Haugh unit รุ่น Egg Multitester EMT7300 จากประเทศญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังศึกษาผลกระทบของตำแหน่งที่ทำการวัดเนียร์อินฟราเรดต่อประสิทธิภาพการทำนายความสดของไข่ไก่จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น

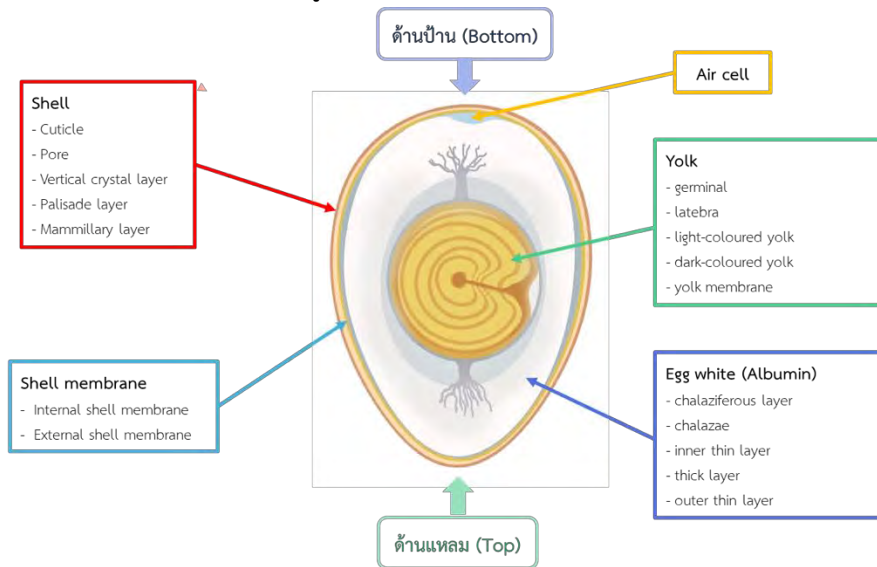
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สมการสอบเทียบที่สร้างด้วยเทคนิคทางเคโมเมทริกซ์ (Chemometrics) ที่จะช่วยในการทำนายค่าออกที่ใช้แทนความสดของไข่ไก่และเกรดของไข่ไก่สดจากข้อมูลที่ได้จากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม (Near infrared spectrum) ที่มีความถูกต้องและความแม่นยำสูง และได้ช่วงความยาวคลื่นที่เป็นเอกลักษณ์ในการวัดความสดของไข่ไก่

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

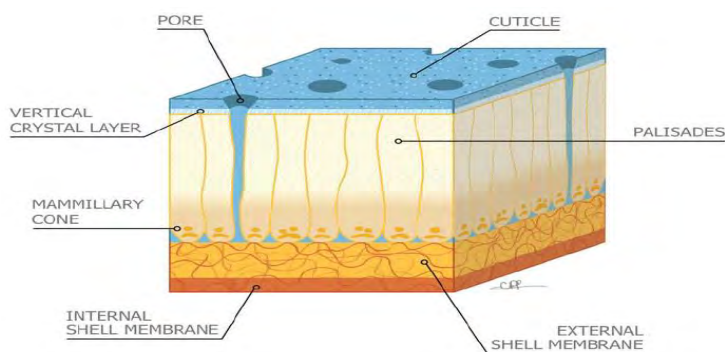
2.1 ไข่ไก่

ไข่ (Egg) เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงมาก เป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพดีที่สุด เนื่องจากในไข่มีกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ครบถ้วนทั้งชนิดและปริมาณ สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อสัตว์ชนิดอื่นที่ให้ปริมาณโปรตีนทัดเทียมกัน นอกจากนี้ไข่ยังสามารถนำไปบริโภคในชีวิตประจำวันได้หลากหลายรูปแบบ และยังเป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปอาหารและนำไปทำการถนอมอาหารเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลากหลาย เช่น ไข่เค็ม ไข่เยี่ยวม้า ไข่ผง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (Bakery) ขนมไทยหลายชนิด ส่วนประกอบของไข่สามารถแบ่งได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบโดยทั่วไปของไข่ไก่

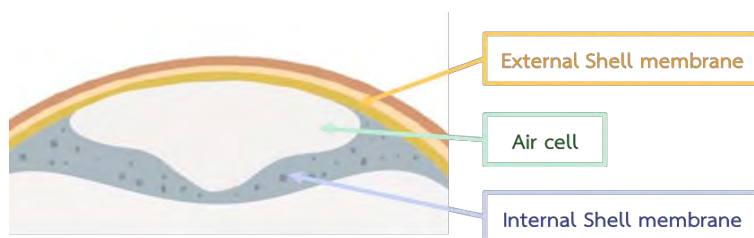
1) เปลือกไข่ (Shell) มีส่วนประกอบสำคัญคือคอลลาเจน (Collagen) สานเป็นตัวตาข่ายเชื่อมหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) ทำให้เปลือกไข่นั้นมีความแข็งแรง บริเวณเปลือกไข่จะมีรูขนาดเล็กมาก (Pore) ซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เมื่อไข่ออกจากแม่ไก่ใหม่ ๆ จะมีเมือกเคลือบที่ผิวของเปลือกไข่ (Cuticle) เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศและน้ำผ่านเข้าไปได้ เมื่อเก็บไว้นาน ๆ เมือกเหล่านี้จะเสื่อมสภาพทำให้อากาศและความชื้นสามารถแทรกผ่านรูเล็กที่เปลือกไข่ได้ ด้วยเหตุนี้จะทำให้ไข่ไก่เสื่อมคุณภาพ และเสี่ยงต่อการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ที่เล็ดลอดผ่านรูที่เปลือกไข่ เมื่อไม่มีเมือกเคลือบเปลือกไข่ ไข่ไก่ก็จะเกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็ว โดยส่วนประกอบของเปลือกไข่แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของเปลือกไข่ (www.sciencedirect.com)

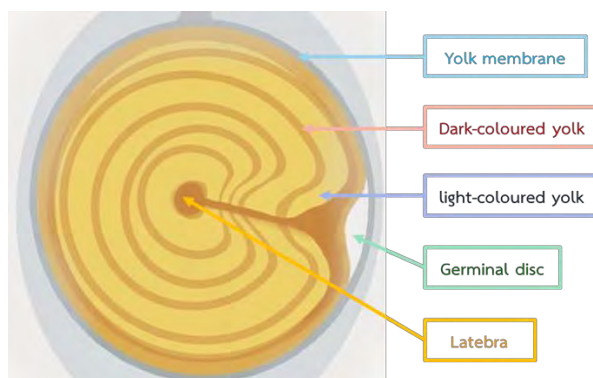
2) เยื่อหุ้มไข่ (Shell membrane) ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น คือเยื่อชั้นนอกที่ติดกับเปลือกไข่มีชื่อเรียกว่าเยื่อหุ้มชั้นนอก (External shell membrane) และเยื่อส่วนชั้นในที่ติดกับไข่ขาวเรียกว่าเยื่อหุ้มชั้นใน (Internal shell membrane) เยื่อชั้นนอกและชั้นในจะอยู่ชิดกันตลอดทั่วบริเวณไข่ไก่ ยกเว้นที่ด้านข้างของไข่ไก่ที่จะมีโพรงอากาศ (Air cell) เข้ามาแทรกระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อหุ้มชั้นใน

3) โพรงอากาศ (Air cell) เป็นช่องว่างที่อยู่บริเวณด้านข้างของไข่ อยู่ระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อหุ้มชั้นใน เมื่อไข่ออกมาจากแม่ไก่ใหม่ ๆ อุณหภูมิของไข่ไก่จะยังสูง จึงไม่มีช่องว่างนี้ อย่างไรก็ตามเมื่อไข่ไก่เย็นตัวลง ทำให้ของเหลวภายในไข่ไก่หดตัวเกิดเป็นโพรงอากาศขึ้น และถ้าหากมีการสูญเสียน้ำออกจากไข่ไก่ไปมากก็จะทำให้โพรงอากาศนี้ใหญ่ขึ้นด้วย โดยส่วนประกอบของเยื่อหุ้มไข่และโพรงอากาศแสดงดังรูปที่ 2.3



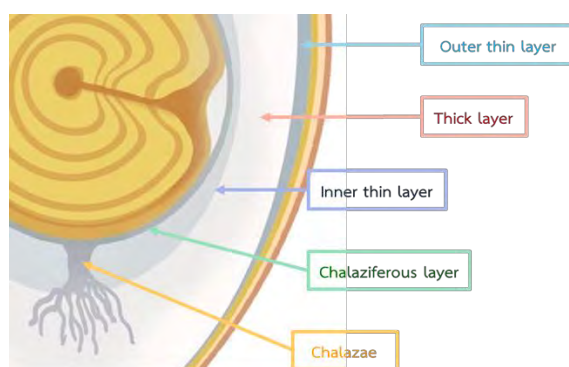
รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของเยื่อหุ้มไข่และโพรงอากาศ

4) ไข่แดง (Yolk) เป็นส่วนที่เป็นสีเหลืองในไข่ ในไข่แดงประกอบด้วยวิตามินที่ละลายในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี และวิตามินอี รวมทั้งสารกลุ่มแคโรทีนอยล์ ส่วนแร่ธาตุที่พบมากในไข่แดง คือฟอสฟอรัส เหล็ก และโพแทสเซียม ไข่แดงทำหน้าที่เป็นส่วนสำรองอาหารไว้ให้ลูกไก่ ตัวของไข่แดงจะอยู่กลางฟองไข่ไก่ โดยไข่แดงจะประกอบไปด้วยจุดกำเนิด (Geminal disc or Blastoderm) ซึ่งเป็นจุดที่สามารถเจริญเป็นตัวอ่อนเมื่อได้รับการผสม, ท่อน้ำไข่ (Lutebra) เป็นท่อจากจุดกำเนิดไปจนถึงตรงกลางของไข่แดงเพื่อลำเลียงอาหารจากไข่แดงไปสู่ตัวอ่อน, ชั้นไข่แดงสีเข้มและจาง (Light & Dark coloured yolk) ซึ่งส่วนนี้เกิดจากการผสมเม็ดสีที่ผสมในอาหาร และเยื่อหุ้มไข่แดง (Yolk or Vitelline membrane) ทำหน้าที่หุ้มไข่แดงเอาไว้ โดยส่วนประกอบของไข่แดงแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของไข่แดง

5) ไข่ขาว (Albumen) มีลักษณะเป็นวุ้นสีขาวขุ่นรอบไข่แดง เป็นของเหลวหลักของเนื้อไข่ (ประมาณ 67%) ในไข่ขาวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโปรตีน นอกจากนี้ยังมีธาตุและวิตามินที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่ ไนอะซิน ไรโบฟลาวิน โคลีน แมกนีเซียม โปแตสเซียม โซเดียม และซัลเฟอร์ โดยไข่ขาวจะประกอบไปด้วย ไข่ขาวชั้น (Chalaziferous) อยู่ในสุดติดกับไข่แดง, ขัวยึดไข่แดง (Chalazae) ลักษณะเป็นเส้นเกลียวยื่นออกมาทางด้านข้างทำให้ไข่แดงไม่เคลื่อนที่, ไข่ขาวเหลวชั้นใน (Inner thin layer) ลักษณะขาวใสอยู่ถัดออกมาจากไข่ขาวชั้น (Chalaziferous layer), ไข่ขาวชั้นชั้นนอก (Thick layer) อยู่ถัดออกมาจากไข่ขาวเหลวชั้นในซึ่งเป็นส่วนที่คอยโอบอุ้มไข่ขาวเหลวชั้นในและไข่แดงเอาไว้ และไข่ขาวใสชั้นนอก (Outer thin layer) ชั้นนอกสุดของไข่ขาวโดยชั้นนอกบางๆจะอยู่ภายใน Shell membrane แต่ส่วนที่เป็นสีขาวที่หนาจะอยู่ติดกับเปลือกไข่ นอกจากนี้ลักษณะของไข่ขาวก็สามารถบอกอายุไข่ไก่ได้เช่นเดียวกัน เมื่อไข่ไก่มีอายุมากขึ้น โปรตีนในไข่ขาวเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือเสื่อมสภาพ ทำให้เนื้อไข่ขาวเหลวชั้นส่งผลให้ไข่แดงแบนราบลงด้วยเพราะไข่ขาวไม่สามารถโอบอุ้มไว้ได้ โดยส่วนประกอบของไข่ขาวแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของไข่ขาว

2.2 องค์ประกอบของไข่ขาว

ไข่ขาวประกอบด้วยน้ำประมาณ 90% ส่วนที่เหลือประมาณ 10% ส่วนใหญ่คือโปรตีน ซึ่งในไข่ขาวมีโปรตีน 148 ชนิด โดยแสดงโปรตีนหลักที่พบในไข่ขาวดังตารางที่ 2.1 (wikipedia.org)

ตารางที่ 2.1 แสดงโปรตีนหลักที่พบในไข่ขาว

โปรตีน	ปริมาณที่พบในไข่ขาว (%)	โปรตีน	ปริมาณที่พบในไข่ขาว (%)
Ovalbumin	54	Ovoinhibitor	1.5
Ovotransferrin	12	Ovoglycoprotein	1
Ovomucoid	11	Flavoprotein	0.8
Ovoglobulin G2	4	Ovomacroglobulin	0.5
Ovoglobulin G3	4	Avidin	0.05
Ovomucin	3.5	Cystatin	0.05
Lysozyme	3.4		

Ovalbumin คือโปรตีนที่มีปริมาณมากที่สุดโดยมีประมาณ 54% ซึ่งอยู่ในกลุ่มของ Phosphoglycoprotein มีโครงสร้างเป็นสาย Polypeptide ที่มีหมู่ฟอสเฟตและคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบ แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป ovalbumin จะเริ่มเปลี่ยนเป็น s-ovalbumin ประมาณ 5% และจะถึง 80% เมื่อไข่ถูกเก็บที่อุณหภูมิที่เย็นเป็นเวลา 6 เดือน นอกจากนี้ ovalbumin ยังสามารถทนความร้อนได้ถึง 84 °C หลังจากนั้นจะเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ, โปรตีน Conalbumin หรือ Ovotransferrin คือ Glycoprotein ซึ่งมีความสามารถในการจับโลหะไอออนบวกที่เป็น Bivalent และ Trivalent เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเพื่อป้องกันการติดเชื้อ, โปรตีน Ovomuroid เป็นสารก่อภูมิแพ้ที่สำคัญจากไข่ขาวและเป็น Glycoprotein ทนความร้อนที่พบว่าเป็นตัวยับยั้ง Trypsin ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีน, Lysozyme เป็นเอนไซม์ที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่ปนเปื้อนเข้ามาในฟองไข่ได้ มีสมบัติเป็นสารกันเสีย แต่ถูกทำลายได้ด้วยความร้อนจากการหุงต้มหรือพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 63.5 °C เป็นเวลานาน 10 นาที และโปรตีน Ovomucin คือ Glycoprotein มีโครงสร้างเป็นเจล (Gel) ทำให้ไข่ขาวมีลักษณะหนา ดังนั้นจึงพบในไข่ขาวส่วนชั้น (Thick albumen) เป็น 4 เท่าของไข่ขาวใส (Thin albumen)

2.3 การเปลี่ยนแปลงของไข่ไ้ระหว่างการเก็บรักษา

ไข่ไ้จะมีการเสื่อมคุณค่าทางโภชนาการตลอดเวลาหลังจากออกจากตัวแม่ไก่ การเสื่อมคุณค่านี้เป็นการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเมื่อกบบริเวณเปลือกไข่เสื่อมสภาพทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซและความชื้นผ่านรูขนาดเล็กบริเวณเปลือกไข่ได้ ส่งผลให้ไข่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในไข่ไ้ ดังนี้ (www.foodnetworksolution.com)

(1) โพรรงอากาศในไข่จะมีขนาดใหญ่ขึ้นระหว่างการเก็บรักษา น้ำในไข่จะแพร่ผ่านรูเล็ก ๆ บนเปลือกไข่ออกสู่บรรยากาศ ทำให้ไข่สูญเสียน้ำและมีน้ำหนักโดยรวมลดลง อย่างไรก็ตามหากเก็บไข่ไว้ในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้โพรรงอากาศขยายได้ตัวได้ข้างลง ทำให้ไข่ไก่สูญเสียน้ำไปบ้างเล็กน้อยเท่านั้น

(2) ไข่แดงมีขนาดใหญ่ขึ้น เกิดจากเมื่ออายุของไข่มากขึ้นส่งผลให้เยื่อหุ้มไข่แดงบางลง ทำให้ น้ำในไข่ขาวสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในไข่แดงได้ด้วยแรงดันออสโมซิส เนื่องจากความเข้มข้นของไข่แดงมีมากกว่าไข่ขาว ส่งผลให้ไข่แดงมีขนาดใหญ่ขึ้น มีความหนืดน้อยลงและเลื่อนตำแหน่งไม่อยู่ตรงกลางของฟองไข่

(3) ความหนืดไข่ขาวลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยไข่ขาวส่วนชั้น (Thick albumen) จะมีความหนืดลดลง เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนในไข่ขาวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ภายในไข่ส่งผลให้โมเลกุลโปรตีนในไข่มีขนาดเล็กหรือเสื่อมสภาพ (Unfolding protein) ทำให้ไข่ขาวส่วนชั้น (Thick albumen) เปลี่ยนเป็นไข่ขาวใส (Thin albumen)

(4) ไข่มีความเป็นด่างมากขึ้น ในไข่ไก่สดนั้นจะมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของไข่ ละลายอยู่ในไข่ในรูปของกรดคาร์บอนิกและเกลือไบคาร์บอเนต ไข่สดที่ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ภายใน จะมีค่า pH ระหว่าง 7.5-8.5 คือเป็นด่างเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามจะเกิดการสูญเสียแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านรูบนเปลือกไข่ระหว่างการเก็บรักษาไข่ จนภายในไข่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับอากาศโดยรอบ ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) สูงขึ้นซึ่งจะส่งผลให้โปรตีนโอวีโอมิวซินในไข่ขาวเกิดการสลายตัวส่งผลให้ห่อและกลืนเปลี่ยนแปลงไป

(5) เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จุลินทรีย์สามารถเข้าไปในไข่ได้โดยเข้าไปในรูพรุนของไข่ไก่ ดังนั้นเราควรเก็บไข่ไว้ในที่ที่สะอาด จุลินทรีย์บางชนิดทำให้ไข่เสียได้และบางชนิดก็ทำให้เกิดโรคต่างๆ

2.4 หน่วยฮอก (Haugh Unit)

หน่วยฮอก (Haugh Unit; *HU*) (det6500.com) เป็นหน่วยวัดที่บ่งชี้ถึงคุณภาพไข่ที่นำเสนอ โดย Dr. Raymond Haugh ในปี ค.ศ. 1937 โดยความสูงของไข่ขาวชั้นที่คลุมรอบไข่แดงและน้ำหนักไข่จะเป็นตัวกำหนดค่าคะแนนของหน่วยฮอก ซึ่งถ้าค่าคะแนนยังมีค่าสูงแสดงว่าไข่ฟองนั้นมีคุณภาพและความสดสูงด้วย โดยการวัดค่าหน่วยฮอกจะต้องทำการตอกไข่ลงบนพื้นราบเพื่อวัดความสูงของไข่ขาว (*H*) ที่บริเวณตรงกลางของไข่ขาวจนถึงบริเวณพื้นราบดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงด้านข้างของไข่ที่ตอกลงบนพื้นราบ (det6500.com)

โดยหน่วยฮอก (Haugh unit) ถูกคำนวณออกมาโดยใช้สูตรต่อไปนี้

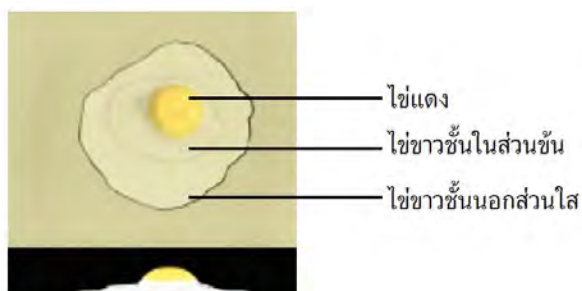
$$HU = 100 \times \log (H - 1.7W^{0.37} + 7.6)$$

เมื่อ HU : หน่วยฮอก (Haugh unit) H : ความสูงของไข่ขาว W : น้ำหนักไข่

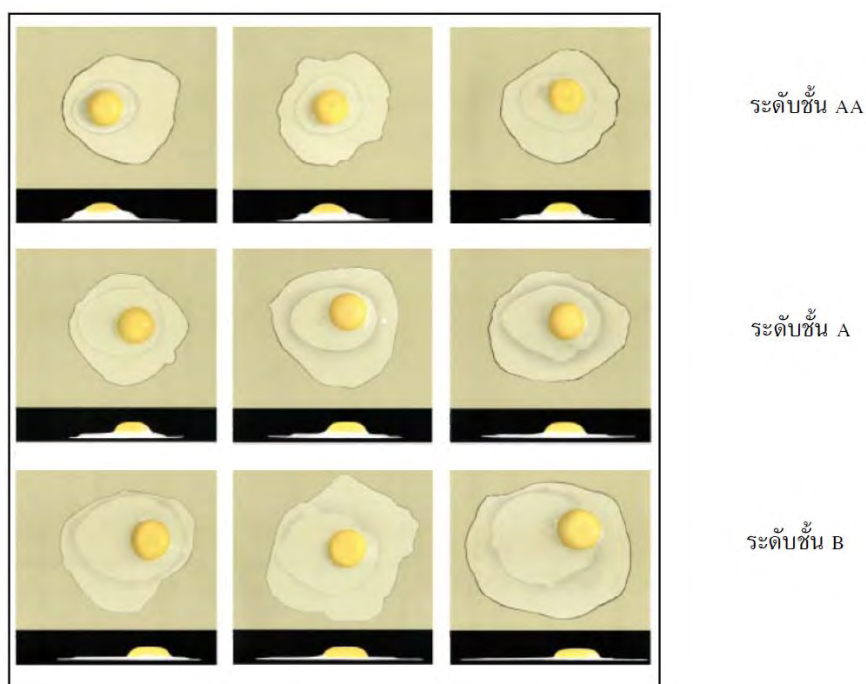
การกำหนดค่าฮอกที่บ่งบอกความสดหรือเกรดของไข่ไก่นั้นจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละประเทศ ในประเทศไทยคุณภาพความสดของไข่ไก่ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 ได้ถูกกำหนดไว้ดังนี้

- ระดับชั้นคุณภาพเอเอ (AA) ค่า $HU \geq 72$
- ระดับชั้นคุณภาพเอ (A) ค่า $HU = 60-71$
- ระดับชั้นคุณภาพบี (B) ค่า $HU < 60$

โดยคุณภาพความสดของไข่ไก่หลังจากการตอกเพื่อทำการวัดค่าฮอกตามมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 แสดงได้ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8



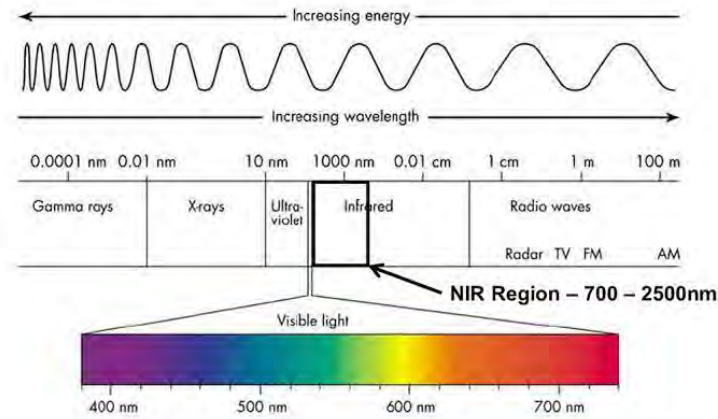
รูปที่ 2.7 แสดงภาพไข่แดง ไข่ขาวชั้นในส่วนชั้น ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใส (www.acfs.go.th)



รูปที่ 2.8 แสดงระดับชั้นคุณภาพของการตอกไข่ (www.acfs.go.th)

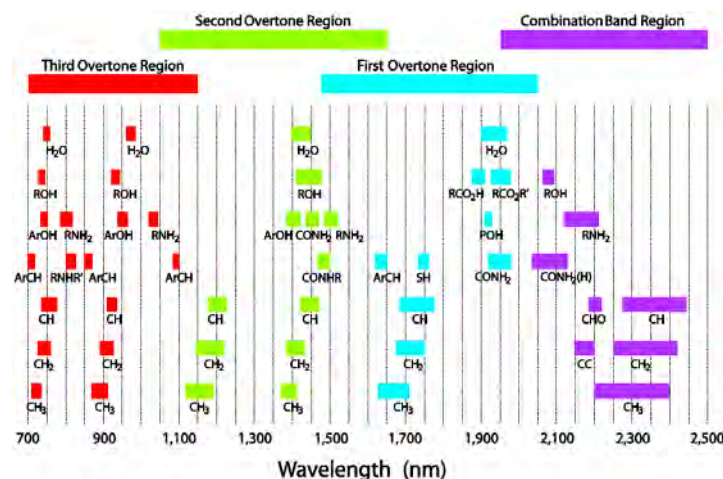
2.5 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy ; NIRS) เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการการดูดกลืนแสงของตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่น 700 – 2500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงรังสีที่อยู่ระหว่างรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีอินฟราเรดดังแสดงดังรูปที่ 2.9



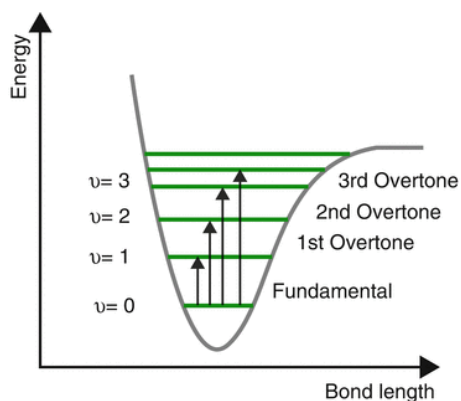
รูปที่ 2.9 แสดงช่วงแสงที่มีความยาวคลื่นย่านใกล้อินฟราเรด (www.bbpsales.com)

หลักการของเทคนิคนี้คือรังสีเนียร์อินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดจะถูกดูดเข้าไปยังตัวอย่างที่จะทำการตรวจวัดโดยแสงที่ถูกดูดกลืนเข้าไปนั้นจะกระตุ้นหมู่ฟังก์ชันและหมู่ข้างเคียง (Neighboring group) ในโมเลกุลให้เกิดการสั่นทั้งการยืดหด (Stretching) และการเปลี่ยนมุม (Bending) ช่วงความถี่โอเวอร์โทน (Overtones) และคอมบิเนชัน (Combination) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, N-H และ C=O ซึ่งเป็นโมเลกุลหลักของสารอินทรีย์ดังแสดงดังรูปที่ 2.10

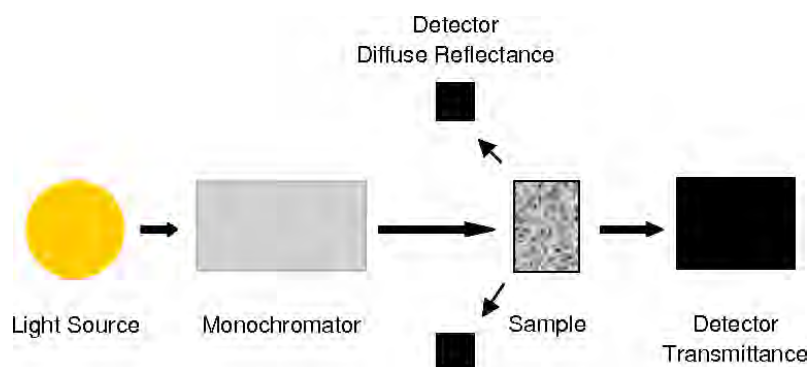


รูปที่ 2.10 แสดงแถบการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันและหมู่ข้างเคียงในช่วงความยาวคลื่น 700 – 2500 นาโนเมตร (www.ipgphotonics.com)

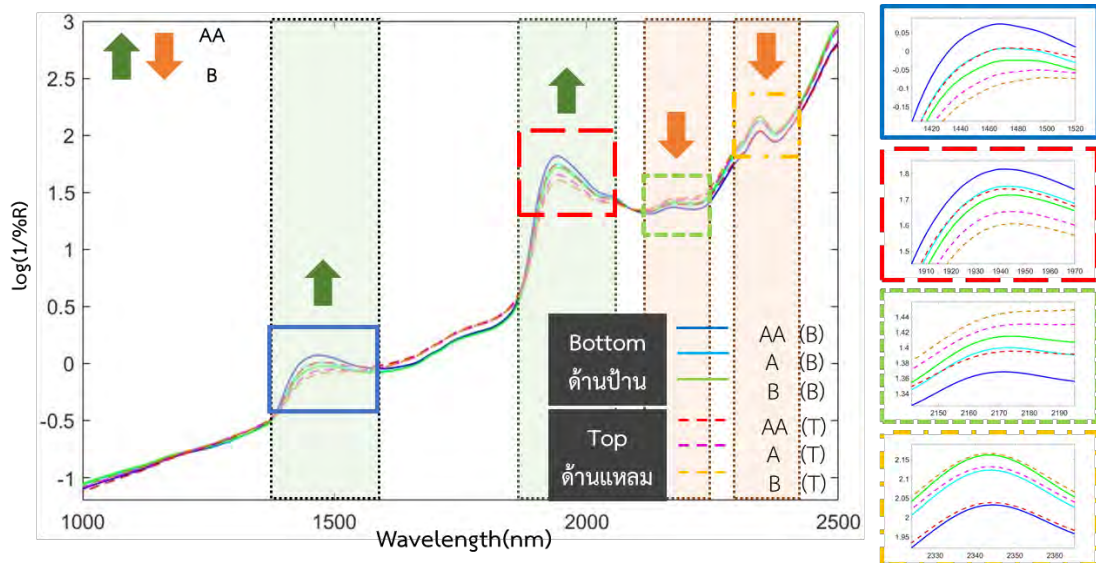
โดยการสั่นของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล (Molecular vibrations) เกิดจากอิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากระดับพลังงานของการสั่นในโมเลกุลที่สภาวะพื้น (Ground state) ไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น ซึ่งอิเล็กตรอนสามารถเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงาน (Energy level) ของการสั่นโดยมีการเปลี่ยนแปลงเลขควอนตัม (Vibration quantum number) มากกว่า 1 ได้ หรือที่เรียกว่าโอเวอร์โทน (Overtone) ดังแสดงดังรูปที่ 2.11 แล้วทำการตรวจวัดคลื่นแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆหรือเป็นคลื่นแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากตัวอย่างแล้วประมวลผลเป็นค่าการดูดกลืนแสงดังแสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งเกิดเป็นสเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะตัวดังแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงเนียร์อินฟราเรด (Analytical Techniques in the Pharmaceutical Sciences)



รูปที่ 2.12 แสดงหลักการของ NIR Spectroscopy (www.semanticscholar.org)



รูปที่ 2.13 แสดงสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของใยแก้ว

แม้หลักการของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจะสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพ (Quantitative analysis) และเชิงปริมาณ (Qualitative analysis) ได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องมีการเตรียมหรือทำลายตัวอย่างก่อนการทดสอบแต่การใช้งานด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ยังมีข้อจำกัดคือไม่สามารถแสดงผลได้ทันทีเหมือน Classical spectrochemical methods อื่นๆ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากเนียร์อินฟราเรดจะอยู่ในรูปของสเปกตรัมที่มีรายละเอียดของข้อมูลมาก ทำให้ไม่สามารถทำนายคุณลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างที่นำมาศึกษาได้ทันที ต้องนำเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้มาผ่านวิธีการทางสถิติและหลักการทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลก่อนที่จะนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมกับค่าคุณลักษณะของตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์

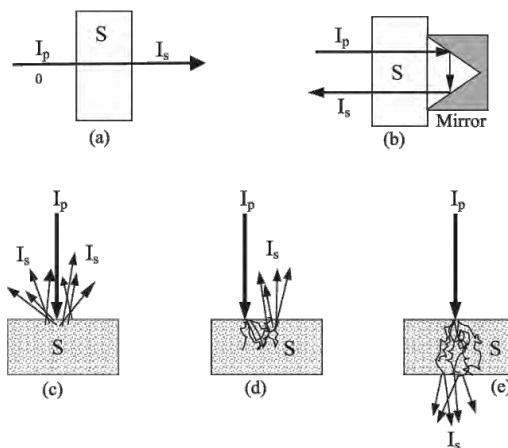
2.6 รูปแบบการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

รูปแบบการตรวจวัดด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีนั้นมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบจะแตกต่างกันเล็กน้อยที่หลักการในการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง (Light source) และตัวตรวจวัด (Detector) โดยรูปแบบหลักๆของการตรวจวัดด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีดังนี้และจะแสดงดังรูปที่ 2.14

1.) รูปแบบสะท้อน (Reflectance) เป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการจัดวางตัวอย่างที่สุด เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ให้แสงจากแหล่งกำเนิดส่องไปยังวัตถุ เพื่อให้แสงเกิดการแพร่ลงไปบริเวณพื้นผิวของวัตถุบางส่วน โดยแสงที่แพร่ไปยังวัตถุจะเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชันจากนั้นจะสะท้อนกลับขึ้นสู่ตัวตรวจวัด ถึงรูปแบบการสะท้อนนี้จะเหมาะกับตัวอย่างที่แสงไม่สามารถส่องผ่านได้แต่ก็ยังข้อจำกัดคือจะเกิดการสะท้อนแค่บริเวณพื้นผิวเท่านั้น ดังนั้นถ้าอยากให้แสงเกิดการแพร่เข้าไปในตัวอย่างต้องใช้รูปแบบ Interactance-Reflectance แทน

2.) รูปแบบการส่องผ่าน (Transmittance) เป็นรูปแบบที่นิยมใช้กับของเหลว โดยหลักการคือจะนำตัวอย่างบรรจุลงในควีเว็ตแล้วให้แสงผ่านเข้าไป โดยจะมีแสงในบางช่วงที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะในโมเลกุลเท่านั้นที่จะถูกดูดกลืนไป ทำให้แสงส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนจะผ่านไปยังตัวตรวจวัด

3.) รูปแบบการส่องผ่านสะท้อน (Transflectance) เป็นการส่งคลื่นผ่านตัวอย่าง ซึ่งโดยปกติตัวอย่างที่เหมาะสมกับรูปแบบนี้จะเป็นของเหลว โดยจะมีหลักการคล้ายกับรูปแบบการส่องผ่าน (Transmittance) แต่เทคนิคนี้แสงจะเดินทางผ่านตัวอย่าง 2 ครั้ง โดยเมื่อแสงผ่านตัวอย่างไปแล้วจะถูกสะท้อนกลับไปด้วยอีกครั้ง แล้วถึงเดินทางไปยังตัวตรวจวัด



รูปที่ 2.14 แสดงรูปแบบในการวัดของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

- (a) Transmittance (b) Transflectance (c) Diffuse reflectance (d) Interactance
(e) Transmittance through scattering medium. (www.researchgate.net)

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางเคโมเมทริกซ์

เนื่องจากสภาพแวดล้อมรวมไปถึงความแปรปรวนของเครื่องมือสามารถส่งผลต่อค่าสเปกตรัมที่ได้จากการตรวจวัด โดยเฉพาะการวัดด้วยรูปแบบการสะท้อน ซึ่งการควบคุมให้ระดับการสะท้อนของแสงจากตัวอย่างให้เท่า ๆ กันในทุกครั้งเป็นไปได้ยาก ส่งผลให้เกิดการเลื่อนของฐานสเปกตรัม (Baseline shift) โดยถ้านำสเปกตรัมที่ได้มาจากการวัดโดยที่ยังไม่ได้มีการปรับแต่งข้อมูลมาทำการวิเคราะห์จะส่งผลให้การวิเคราะห์เกิดความคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความคลาดเคลื่อนจากการเลื่อนของฐานสเปกตรัมให้น้อยลงจึงจำเป็นต้องมีการปรับสเกลของข้อมูลก่อนการวิเคราะห์โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์

2.7.1 Standard Normal Variate (SNV)

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ปรับเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมให้ปกติ โดยการลดการกระจายและผลกระทบจากการเลื่อนของฐานสเปกตรัม ซึ่งเทคนิคนี้จะต้องทำให้สเปกตรัมจนครบทุกสเปกตรัมในฐานข้อมูล ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$a_{ij} (SNV) = \frac{a_{ij} - \bar{x}_i}{SDev}$$

โดย	i	คือ ลำดับของสเปกตรัม
	j	คือ ลำดับของค่า Reflectance ในสเปกตรัมลำดับที่ i
	$a_{ij} (SNV)$	คือ ค่าของสเปกตรัมที่ผ่านการทำ SNV แล้ว
	a_{ij}	คือ ค่าของสเปกตรัมที่วัดได้
	\bar{x}_i	คือ ค่าเฉลี่ยของค่า Reflectance ในสเปกตรัมลำดับที่ i
	$SDev$	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า Reflectance ในสเปกตรัมลำดับที่ i

เคโมเมทริกซ์ (Chemometric) คือการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์และสถิติมาวิเคราะห์หรือแปลผลข้อมูลทางเคมี เช่น ข้อมูลสเปกตรัมทางสเปกโทรสโกปีและข้อมูลทางเคมีวิเคราะห์ เป็นต้น โดยเคโมเมทริกซ์นั้นมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์เนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมอย่างมากและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เช่น การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis; PCA) วิธีกำลังน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square method; PLS) และวิธีการทำนายจากกลุ่มตัวอย่าง (Classification) เป็นต้น

2.7.2 Principal Component Analysis (PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นเทคนิคที่ใช้แปลงและแสดงผลของการทดลองให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการสรุปและอภิปรายผล โดยเป็นการลดจำนวนตัวแปรของการทดลองลงเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ หลักการของ PCA คือแปลงตัวแปรในการทดลองที่ได้ ให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นที่ตั้งเป็นตัวแปรสมมติ (Principle Component ; PC) ซึ่งจะมีความเป็นอิสระต่อกัน (Orthogonal) หรือไม่มีความสัมพันธ์กันเพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากตัวแปรสมมติจะบอกได้ถึง ความเหมือนและความต่างกันของกลุ่มข้อมูล โดยขั้นตอนของเทคนิค PCA มีดังนี้

- 1.) ปรับสเกลในแนวตั้งด้วยการทำ Mean centring ของข้อมูลเริ่มต้นก่อนนำเอาข้อมูลมาทำการคำนวณด้วยเทคนิค PCA เพื่อไม่ให้ความแปรผันของตัวแปรสมมติคลาดเคลื่อน
- 2.) แยกตัวแปรของข้อมูลปกติ (X) โดยสมมติว่ามีจำนวนข้อมูลเป็น $I \times J$ โดยที่ I : ตัวอย่าง และ J : ตัวแปรอิสระในที่นี้คือความยาวคลื่น
- 3.) แยกข้อมูลปกติออกเป็นสองข้อมูลย่อยที่มีชื่อว่าสกอร์ (Scores, T) และโหลดดิง (Loadings, P)
ตั้งสมการ $X = T P + E$
- 4.) คำนวณค่า Eigenvalue (ξ) ตั้งสมการ $a = \sum_{i=1}^I t_{ia}^2$

5.) คำนวณค่าผลรวมของ Eigenvalue (ξ) ดังสมการ $\sum_{a=1}^I a = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I x_{ij}^2$

6.) คำนวณค่าความสำคัญ (% Variance) ดังสมการ $\% a = \frac{a}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I x_{ij}^2} \cdot 100$

เทคนิค PCA จะต้องศึกษาถึงความแปรผันของข้อมูล (Variation) ในแต่ละชุดเทียบกับจุดกำเนิดซึ่งอาจเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด ส่งผลให้ตัวแปรสมมติค่าแรกที่ได้จะให้ค่าความแปรผัน (Eigenvalue) ที่สูงที่สุดและจะลดลงตามลำดับ ดังนั้นค่าความสำคัญ (% Variance) ของตัวแปรสมมติ (PC) อันแรกจะมีค่ามากที่สุดและค่าความสำคัญจะน้อยลงเรื่อยๆ นอกจากนี้เทคนิค PCA สามารถคำนวณได้หลายวิธีแต่ทุกวิธีจะให้ผลลัพธ์ที่เป็นข้อมูลตัวอย่าง (Score) และข้อมูลตัวแปร (Loading) ที่เหมือนกัน

2.7.3 Partial Least Square (PLS)

กำลังสองน้อยสุดบางส่วนเป็นเทคนิคการจำแนกข้อมูลที่มีหลายตัวแปร จึงเหมาะกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความซับซ้อนและมีจำนวนตัวแปรสูง เช่น ข้อมูลสเปกตรัมที่มีตัวแปรหลายความยาวคลื่นโดยลักษณะการคำนวณของ PLS เหมือนเทคนิค PCA แต่มีความยุ่งยากมากกว่า ซึ่ง PLS มีสมการดังนี้

$$X = T P^T + E$$

โดย X คือ ข้อมูลการทดลอง
 T คือ ข้อมูลตัวอย่าง (Scores)
 P คือ ข้อมูลตัวแปร (Loading)

$$c = T q^T + f$$

โดย c คือ ค่าแสดงกลุ่ม (Class vector)
 q คือ ข้อมูลตัวแปรของ Class vector

การคำนวณหา Score และ Loading ของเทคนิค PLS จะคล้ายกับเทคนิค PCA แต่จะต่างกันที่ผลลัพธ์ที่ได้จาก PLS นั้นเกิดจากการพิจารณาทั้งข้อมูลการทดลองและ Class vector ในขณะที่ PCA จะพิจารณาข้อมูลจากการทดลองเพียงอย่างเดียว โดยการคำนวณหา Score และ Loading ของ PLS มี 2 แบบได้แก่ (1) PLS1 : การคำนวณโดยมี Class เป็น Vector และ (2) PLS2 : การคำนวณโดยมี Class เป็น Matrix

2.7.4 Linear Discriminant Analysis (LDA)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการระบุและทำนายกลุ่มของตัวอย่าง โดยเทคนิคนี้เหมาะสมกับข้อมูลที่มีตัวแปรมากกว่า 2 ตัวแปรและแต่ละตัวแปรมีน้ำหนักที่แตกต่างกันแต่ข้อจำกัดของเทคนิคนี้คือ การคำนวณ Variance-covariance matrix จะไม่สามารถทำได้หรือได้ผลที่ไม่ถูกต้องถ้าข้อมูลมีจำนวนตัวอย่างน้อยกว่าจำนวนตัวแปร หลักการของ LDA คือจะทำการแบ่งตัวแปรออกเป็นกลุ่มๆ หลังจากนั้นจะหาค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มตัวอย่างหรือที่เรียกว่า "Centroid" แล้วพิจารณาระยะห่างระหว่าง

ตัวอย่างที่ต้องการจัดกลุ่ม (Unknown) และ Centroid ของแต่ละกลุ่ม ถ้ากลุ่มใดให้ระยะห่างจาก Unknown น้อยที่สุดจะถือว่ากลุ่มตัวอย่างนั้นเป็นตัวแทนของ Unknown ซึ่งเทคนิค LDA จะนำเอาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Variance-covariance matrix) มาคำนวณด้วย โดยสมการคำนวณระยะห่าง LDA มีดังนี้

$$d_{ig}^2 = (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}_g) S_p^l (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}_g)^T$$

ซึ่ง S_p^l คำนวณได้จาก
$$S_p^l = \frac{1}{g-1} (\mathbf{I}_g - \mathbf{1}) S_g / \frac{1}{g-1} \mathbf{I}_g - \mathbf{1}$$

โดย	g	คือ จำนวนของกลุ่มข้อมูล
	i	คือ ตัวอย่าง i
	d_{ig}^2	คือ ค่าระยะห่าง LDA ระหว่างตัวอย่าง (\mathbf{x}_i) กับจุดศูนย์กลางกลุ่ม ($\bar{\mathbf{x}}_g$)
	\mathbf{x}_i	คือ ข้อมูลของตัวอย่าง
	$\bar{\mathbf{x}}_g$	คือ จุดศูนย์กลางของกลุ่ม g
	S_p^l	คือ Pooled variance-covariance matrix
	S_g	คือ Variance-covariance matrix
	\mathbf{I}_g	คือ จำนวนสมาชิกของกลุ่ม g

2.8 ค่าทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.8.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะใช้สัญลักษณ์ R แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนอง (y) ในที่นี้คือค่าความสดและตัวแปรอิสระ ($y_{\text{prediction}}$) คือค่าการทำนายความสด หากค่าที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่า ค่าตอบสนอง (y) และตัวแปรอิสระ ($y_{\text{prediction}}$) มีความสัมพันธ์กันมาก แสดงว่าสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองสามารถทำนายค่าที่ต้องการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) มายกกำลังสองจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) คือค่าที่แสดงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ($y_{\text{prediction}}$) ที่มีต่อตัวค่าตอบสนอง (y) ซึ่งเป็นการบอกสัดส่วนที่ตัวแปรอิสระ ($y_{\text{prediction}}$) สามารถอธิบายความแปรผันของค่าตอบสนอง (y) ได้ หากค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากแสดงว่าการทำนายค่าตอบสนอง (y) มีค่าที่สอดคล้องกัน

2.8.2 Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP)

ค่า Root mean square error of prediction เป็นค่าที่บอกถึงความแม่นยำในการใช้สมการสอบเทียบที่สร้างขึ้นมาทำนายความเข้มข้นหรือปริมาณของสารที่ต้องการวิเคราะห์จากเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ หากค่า *RMSEP* มีค่าต่ำหมายความว่าสมการสอบเทียบที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง โดยค่า *RMSEP* สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - y_{prediction})^2}{n}}$$

โดยที่ y คือค่าความสดที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัดค่า Haugh unit และ $y_{prediction}$ คือค่าความสดที่ได้จากการทำนาย โดย n คือจำนวนของชุดข้อมูล

2.8.3 ตารางการณ้จร (Contingency table)

เป็นค่าบ่งชี้ที่แสดงค่าความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มของตัวอย่าง (Unknown) หรือเป็นการตรวจสอบแบบจำลองที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มของข้อมูล เพื่อให้ได้แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยตารางการณ้จร (Contingency table) จะเป็นการนำแบบจำลองที่ได้ไปตรวจสอบจากข้อมูลอ้างอิงที่รู้ค่าตอบที่แน่ชัด (True class / Reference) แล้วเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทำนาย (Predicted class) ถ้าตารางการณ้จรทำนายได้ถูกต้องจะจัดเป็น “True” แต่ถ้าทำนายได้ผิดจะจัดเป็น “False” โดยขั้นตอนการทำตารางการณ้จร (Contingency table) จะเริ่มต้นจากการจำแนกกลุ่มของข้อมูล Unknown ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม A (Class = +1, Positive) ในที่นี้คือค่าหน่วยฮอก (Haugh unit) ที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่ม B (Class = -1, Negative) ในที่นี้คือค่าหน่วยฮอก (Haugh unit) ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ หลังจากนั้นจะจำแนกการทำนายกลุ่มของ Unknown ออกเป็น 4 ชนิด ซึ่งสามารถแสดงค่าความถูกต้องในการทำนายได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดง Contingency table ของข้อมูล 2 กลุ่ม (Class A และ Class B)

Predicted Class	True class (Reference)	
	Class A (Pass)	Class B (Fail)
Class A (Pass)	TP (True Positive)	FP (False Positive)
Class B (Fail)	FN (False Negative)	TN (True Negative)

- True Positive (TP) : ตัวอย่าง Unknown ที่เป็น Class A และทำนายได้ถูกต้องเป็น Class A
- True Negative (TN) : ตัวอย่าง Unknown ที่เป็น Class B และทำนายได้ถูกต้องเป็น Class B
- False Positive (FP) : ตัวอย่าง Unknown ที่เป็น Class B แต่ทำนายได้ผิดเป็น Class A
- False Negative (FN) : ตัวอย่าง Unknown ที่เป็น Class A แต่ทำนายได้ผิดเป็น Class B

นอกจากนี้ตารางการณักร (Contingency table) นั้นมีข้อกำหนดคือ $TP + FN = 100\%$ และ $FP + TN = 100\%$ เพราะฉะนั้นการคำนวณค่า TP, FN, FP, และ TN เป็นในรูปของเปอร์เซ็นต์นั้นสามารถกระทำได้ดังนี้

- $\%TP = 100 - FN / (TP + FN)$
- $\%TN = 100 - FP / (FP + TN)$
- $\%FN = 100 - TP / (TP + FN)$
- $\%FP = 100 - TN / (FP + TN)$

เพราะฉะนั้นเทคนิคการจำแนกข้อมูลที่ดีนั้นจะต้องให้ค่า $\%TP$ และค่า $\%TN$ สูงที่สุดซึ่งแสดงถึงว่าเทคนิคนั้นสามารถจำแนกข้อมูลได้มีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตรวจวัดความสดของไข่ไก่ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีร่วมกับเทคนิคทางเคโมเมทริกซ์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายความสดของไข่ไก่ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดบางส่วนและการทำนายเกรดของไข่ไก่สดด้วยวิธีการจำแนกกลุ่มแบบ LDA โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ (1) ส่วนของการเก็บข้อมูลและ (2) ส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยในส่วนที่ 1 จะถูกจัดทำที่บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ตั้งอยู่ที่ อ. บ้างบึง จ.ชลบุรี ซึ่งเป็นสถานที่ที่ได้ไปทำสหกิจศึกษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยในระยะ 2 เดือนแรกจะฝึกงานเกี่ยวกับฟาร์มและการใช้เครื่อง Haugh unit และในระยะ 2 เดือนหลังจะเป็นในส่วนของการทำงานวิจัยซึ่งประกอบไปด้วยการวางแผนการทดลอง, การเก็บไข่ไก่, การวัดความสดด้วยค่าหน่วยฮอก, การวัดด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและการจัดการข้อมูลหลังจากทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและในส่วนที่ 2 จะถูกจัดทำขึ้นที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งประกอบไปด้วย กระบวนการเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์และกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB)

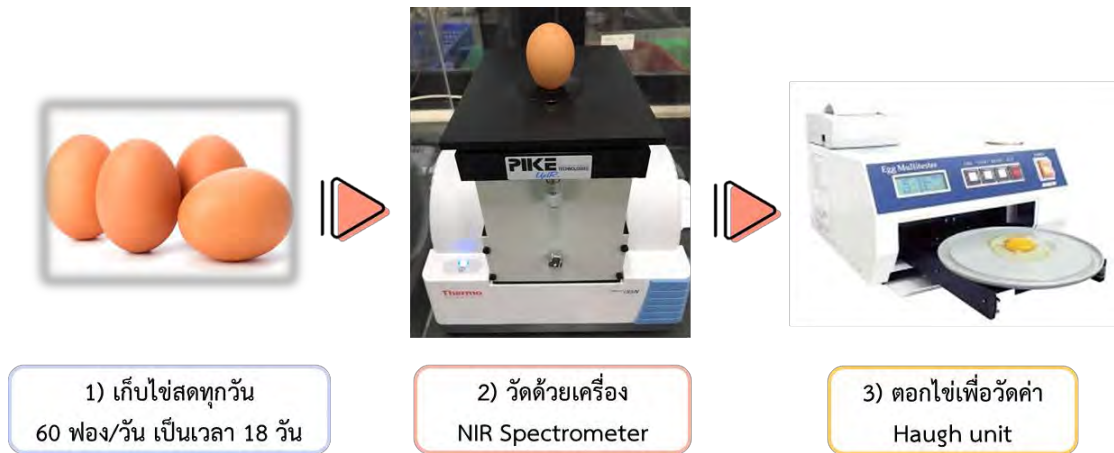
3.1 การเก็บไข่ไก่

ไข่ไก่ที่ใช้ในการทดลองได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ตั้งอยู่ที่ อ. บ้างบึง จ.ชลบุรี จำนวนทั้งหมด 1,722 ฟองที่ถูกเก็บแบบสุ่มมาจากแม่ไก่ 3 ช่วงอายุจำนวน 9,880 ตัวดังนี้

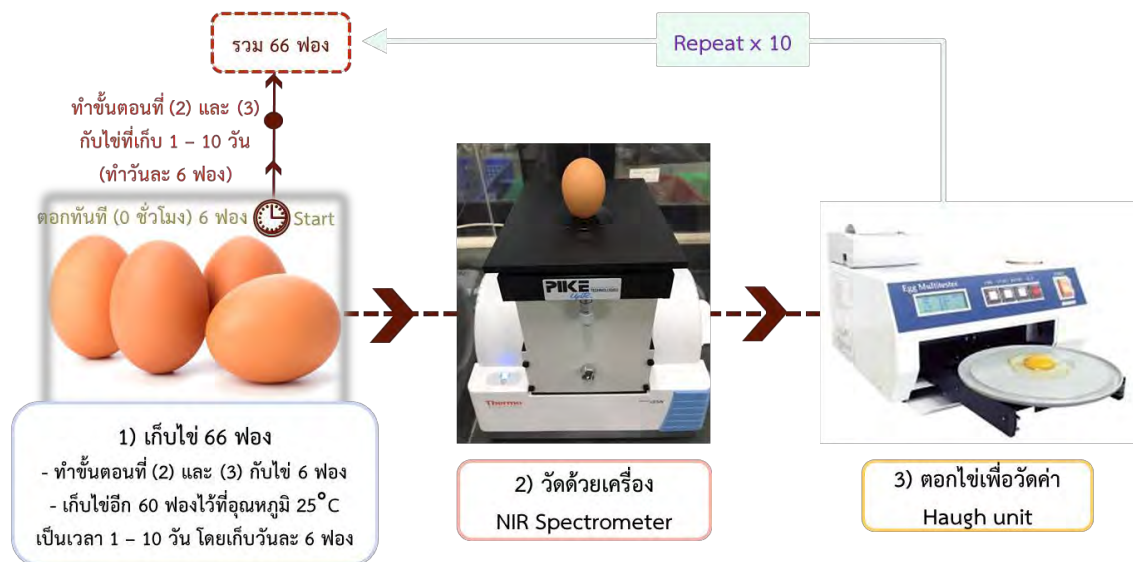
- (1) แม่ไก่ช่วงอายุ 20-30 สัปดาห์ (มาจากเล้าที่4) จำนวน 5,400 ตัว
- (2) แม่ไก่ช่วงอายุ 40-50 สัปดาห์ (มาจากเล้าที่2) จำนวน 1,408 ตัว
- (3) แม่ไก่ช่วงอายุ 70-80 สัปดาห์ (มาจากเล้าที่3) จำนวน 3,072 ตัว

โดยไข่ไก่จำนวน 1,722 ฟองนั้นแบ่งเป็น

- (1) ไข่ไก่สดจำนวน 1,080 ฟอง ซึ่งถูกเก็บวันละ 60 ฟอง (เล้าละ 20 ฟอง) เป็นเวลา 18 วันโดยทำการเก็บในช่วงเวลา 8.30 น. ถึง 9.30 น. ช่วงวันที่ 6 สิงหาคม ถึง 23 สิงหาคม พ.ศ. 2562
- (2) ไข่ไก่ที่ทำการเก็บรักษาในช่วงวันที่ 0 ถึง 10 จำนวน 642 ฟอง ซึ่งมาจากการเก็บไข่ไก่ครั้งละ 66 ฟอง (เล้าละ 22 ฟอง) จำนวน 10 ครั้งโดยทำการเก็บในช่วงเวลา 8.30 น. ถึง 9.30 น. ของช่วงวันที่ 4 สิงหาคม ถึง 23 สิงหาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งในแต่ละครั้งจะทำการแบ่งไข่ไก่ 66 ฟองออกเป็น 2 ส่วนโดยไข่ไก่ในส่วนที่ 1 จะถูกแบ่งไว้ 6 ฟอง เพื่อวัดความสดที่วันที่ 0 และไข่ไก่ในส่วนที่ 2 อีกจำนวน 60 ฟองจะถูกเก็บรักษาไว้ในห้องวิเคราะห์ไข่ที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) เป็นเวลา 1 ถึง 10 วัน เพื่อวัดความสดของไข่เก็บวันละ 6 ฟอง โดยแสดงแผนภาพการเก็บไข่ไก่ได้ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพการทดลองการเก็บสัญญาณเนียร์อินฟราเรดและการวัดค่าฮอกของไข่ไก่สด



รูปที่ 3.2 แสดงแผนภาพการทดลองการเก็บสัญญาณเนียร์อินฟราเรดและการวัดค่าฮอกของไข่ไก่ที่เก็บรักษา 0 - 10 วัน

3.2 การวัดความสดของไข่ไก่ด้วยหน่วยฮอก (Haugh unit)

ไข่ไก่ที่ผ่านการวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมแล้วจะถูกนำมาวัดความสดด้วยหน่วยฮอก ซึ่งสามารถคำนวณผ่านสมการ $HU = 100 \times \log(H - 1.7W^{0.37} + 7.6)$ จากสมการจะเห็นได้ว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าของหน่วยฮอกคือ H (ความสูงของไข่ขาวส่วนชั้น) และ W (น้ำหนักของไข่ไก่) แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้จะทำการวัดค่าของหน่วยฮอกโดยใช้เครื่องวัดค่า Haugh unit รุ่น Egg multiter EMT7300 จากประเทศญี่ปุ่นแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยสามารถแสดงวิธีการวัดความสดด้วยเครื่องวัดค่า Haugh unit ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดค่า Haugh unit รุ่น Egg Multitester EMT7300 จากประเทศญี่ปุ่น



รูปที่ 3.4 แสดงวิธีการวัดความสดด้วยเครื่องวัดค่า Haugh unit

3.3 การวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่

ไข่ไก่ที่ใช้ในการทดลองจำนวน 1,722 ฟองจะถูกนำมาวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่ด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Near infrared spectrometer) รุ่น Thermo Scientific Nicolet iS5N ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 1000 - 2500 นาโนเมตร ก่อนที่จะนำไปวัดความสดของไข่ไก่ด้วยค่าฮอก โดยเริ่มต้นจากการเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 3.5

โดยจะทำการตรวจวัดโดยใช้สภาวะดังนี้

- Mode: Reflection
- Intensity: $\text{Log}(1/\%R)$
- Number of scans: 16
- Laser power: 7 mW
- Aperture: 10 mm

โดยไข่ไก่จะทำการตรวจวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมทั้งหมด 2 ด้านคือด้านป้าน (Bottom) และด้านแหลม (Top) โดยวัดด้านละ 3 ซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เพราะฉะนั้นไข่ไก่ 1 ฟองจะมีสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมทั้งสิ้น 6 สเปกตรัม



01

เครื่อง NIR spectrometer
Thermo Scientific Nicolet iS5N



02

เครื่องคอมพิวเตอร์



03

เครื่องสำรองไฟ
Micropower
LCD line Interactive UPS

รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม



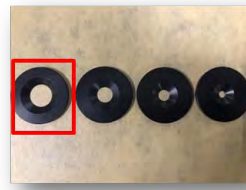
04

ทองคำ

(อุปกรณ์สำหรับปรับ Power
& Collect Background)

05

อุปกรณ์วาง Aperture



06

Aperture



07

กระดาษสำหรับใช้

ทำความสะอาด

Kimwipes

KIMTECH

Science* Brand

รูปที่ 3.5 (ต่อ) แสดงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม



รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งในการวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่

3.4 การจัดการข้อมูลหลังจากทำการตรวจวัดด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

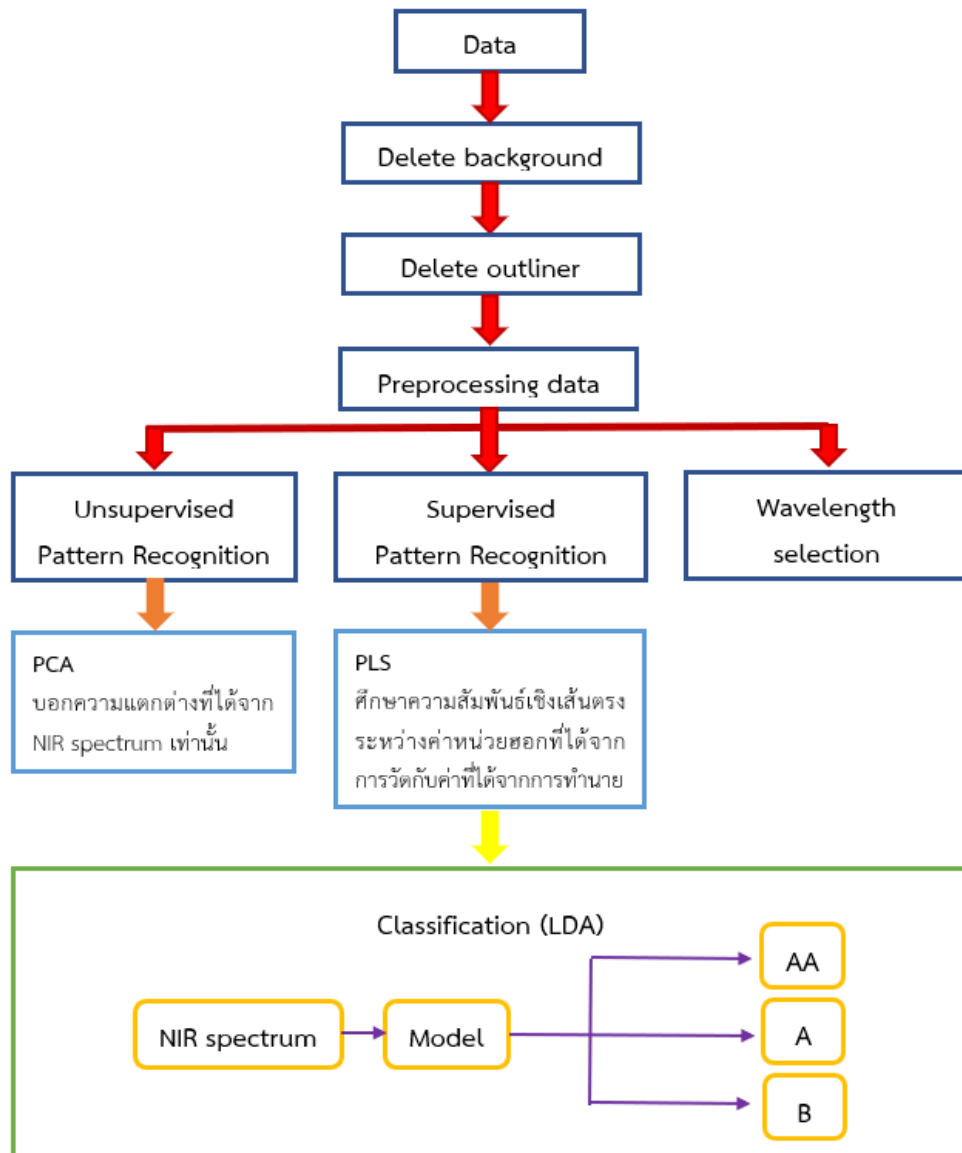
เมื่อทำการวัดไข่ไก่ด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แล้วจะได้ข้อมูลของสเปกตรัม ซึ่งเป็นไฟล์นามสกุล .CSV ซึ่งสามารถเปิดได้ด้วยโปรแกรม Microsoft excel แต่เนื่องจากไฟล์ที่ได้ 1 ไฟล์คือ 1 เส้นสเปกตรัมดังนั้นจึงต้องมีการจัดการข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์ต่อโดยการจัดเรียงสเปกตรัม (Spectrum) ที่ได้ให้สอดคล้องกับวันที่ทำการวัด (Day), ตำแหน่งที่ทำการวัด (Position) ครั้งที่ทำการวัดซ้ำ (Repetition), เล้าของแม่ไก่ที่นำไข่ไก่มาทำการทดลอง (House), ค่าหน่วยฮอก (HU), จำนวนวันที่เก็บไข่ไก่ก่อนนำมาวัดสำหรับไข่ที่เก็บเป็นเวลา 1-10 วัน (Storage time) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งแปลงค่ามาจากเลขคลื่น (Wavenumber) แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ (Data preprocessing) แล้วเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

Physical properties								Near infrared spectrum							
Day	No.	House	Storage time	Set	HU	Position	Repetition	Spectrum							
6/8/2019	13	4	0	3	91.9	1	1	2.25E-01	2.24E-01	2.23E-01	2.21E-01	2.20E-01	2.18E-01	2.17E-01	
6/8/2019	13	4	0	3	91.9	1	2	2.05E-01	2.04E-01	2.02E-01	2.01E-01	2.00E-01	1.98E-01	1.97E-01	
6/8/2019	13	4	0	3	91.9	1	3	1.89E-01	1.88E-01	1.87E-01	1.85E-01	1.84E-01	1.83E-01	1.81E-01	
6/8/2019	13	4	0	3	91.9	2	1	2.71E-01	2.70E-01	2.68E-01	2.67E-01	2.65E-01	2.63E-01	2.61E-01	
6/8/2019	13	4	0	3	91.9	2	2	2.74E-01	2.72E-01	2.71E-01	2.69E-01	2.67E-01	2.66E-01	2.64E-01	
6/8/2019	13	4	0	3	91.9	2	3	2.66E-01	2.65E-01	2.63E-01	2.62E-01	2.60E-01	2.58E-01	2.56E-01	
6/8/2019	14	4	0	3	92.2	1	1	1.57E-01	1.56E-01	1.55E-01	1.54E-01	1.53E-01	1.51E-01	1.50E-01	
6/8/2019	14	4	0	3	92.2	1	2	1.87E-01	1.86E-01	1.85E-01	1.84E-01	1.83E-01	1.81E-01	1.79E-01	
6/8/2019	14	4	0	3	92.2	1	3	1.03E-01	1.02E-01	1.01E-01	1.01E-01	9.96E-02	9.87E-02	9.75E-02	
6/8/2019	14	4	0	3	92.2	2	1	2.12E-01	2.10E-01	2.09E-01	2.08E-01	2.06E-01	2.04E-01	2.03E-01	
6/8/2019	14	4	0	3	92.2	2	2	2.09E-01	2.07E-01	2.06E-01	2.05E-01	2.03E-01	2.01E-01	1.99E-01	
6/8/2019	14	4	0	3	92.2	2	3	2.13E-01	2.11E-01	2.10E-01	2.08E-01	2.07E-01	2.05E-01	2.03E-01	
6/8/2019	15	2	0	3	79.7	1	1	2.44E-01	2.43E-01	2.42E-01	2.40E-01	2.39E-01	2.37E-01	2.35E-01	
6/8/2019	15	2	0	3	79.7	1	2	2.23E-01	2.22E-01	2.21E-01	2.19E-01	2.18E-01	2.16E-01	2.14E-01	
6/8/2019	15	2	0	3	79.7	1	3	2.51E-01	2.49E-01	2.48E-01	2.46E-01	2.45E-01	2.43E-01	2.41E-01	
6/8/2019	15	2	0	3	79.7	2	1	4.11E-01	4.09E-01	4.08E-01	4.06E-01	4.04E-01	4.01E-01	3.99E-01	
6/8/2019	15	2	0	3	79.7	2	2	4.10E-01	4.08E-01	4.06E-01	4.04E-01	4.02E-01	4.00E-01	3.97E-01	
6/8/2019	15	2	0	3	79.7	2	3	4.15E-01	4.14E-01	4.12E-01	4.10E-01	4.08E-01	4.06E-01	4.03E-01	
6/8/2019	16	2	0	3	91.2	1	1	3.06E-01	3.04E-01	3.03E-01	3.01E-01	2.99E-01	2.98E-01	2.95E-01	
6/8/2019	16	2	0	3	91.2	1	2	3.20E-01	3.19E-01	3.17E-01	3.15E-01	3.13E-01	3.11E-01	3.09E-01	
6/8/2019	16	2	0	3	91.2	1	3	3.55E-01	3.53E-01	3.51E-01	3.49E-01	3.47E-01	3.45E-01	3.42E-01	
6/8/2019	16	2	0	3	91.2	2	1	3.14E-01	3.12E-01	3.10E-01	3.08E-01	3.06E-01	3.04E-01	3.02E-01	
6/8/2019	16	2	0	3	91.2	2	2	3.17E-01	3.16E-01	3.14E-01	3.12E-01	3.10E-01	3.08E-01	3.06E-01	
6/8/2019	16	2	0	3	91.2	2	3	3.21E-01	3.19E-01	3.17E-01	3.16E-01	3.14E-01	3.12E-01	3.09E-01	

รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างการจัดการข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมแมตแล็บ (MATLAB)

ใช้โปรแกรม MATLAB (Matrix laboratory) เวอร์ชัน R2018a ในการปรับแต่งข้อมูลโดยทำการสร้างตัวแปรข้อมูล (Data) หลังจากนั้นทำการปรับข้อมูลด้วย 2 เทคนิค ได้แก่ 1.) Savitzky-Golay smoothing 2.) Standard Normal Variate (SNV) แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการปรับแล้วไปทำการวิเคราะห์ต่อไป ใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2018a ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยทำการสร้างตัวแปรข้อมูล ซึ่งตัวแปรของข้อมูลชุดนี้คือข้อมูลที่ผ่านมาการปรับแต่งแล้ว, สร้างตัวแปรค่าความยาวคลื่นและสร้างตัวแปรค่าหน่วยฮอกที่สอดคล้องกับข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากการวัดและสร้างสมการสอบเทียบทางเคโมเมทริกซ์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการสร้างสมการสอบเทียบที่ได้จาก Partial Least Square Regression (PLSR) สำหรับการใช้ทำนายความสดของไข่ไก่โดยความถูกต้องและความแม่นยำในการทำนายของสมการสอบเทียบที่สร้างขึ้นจะถูกประเมินด้วยค่าทางสถิติคือ Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP), Correlation coefficient (R) และค่าความถูกต้องในการจำแนกกลุ่ม (Correctly classify) โดยแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม MATLAB ได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม MATLAB

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไข่ไก่

ไข่ไก่ที่ใช้จากการทดลองนั้นได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ของบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ที่ อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี โดยแม่ไก่นั้นจะเป็นพันธุ์ HY-LINE BROWN โดยทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 4 สิงหาคม ถึง 23 สิงหาคม พ.ศ. 2562 รวมทั้งสิ้นเป็นเวลา 20 วัน ทั้งนี้คุณภาพของไข่ไก่โดยเฉลี่ยทั้งในเชิงกายภาพ (น้ำหนัก สีของไข่แดง ความสูงไข่ขาว) และในเชิงคุณภาพ (ค่าออกแสดงความสดของไข่ไก่) ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของไข่ไก่

สายพันธุ์ไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลอง: HY-LINE BROWN	
จำนวนไก่ที่ใช้ในการทดลอง (ตัว) : 9,880	
ช่วงอายุของแม่ไก่แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม :	
กลุ่มที่1: 20-30 สัปดาห์	(แม่ไก่จากเล้าที่ 4)
กลุ่มที่2: 40-50 สัปดาห์	(แม่ไก่จากเล้าที่ 2)
กลุ่มที่3: 70-80 สัปดาห์	(แม่ไก่จากเล้าที่ 3)
สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง : บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ตั้งอยู่ที่ อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	
จำนวนไข่ไก่ที่ใช้ในการทดลอง (ฟอง) : 1,722	
ค่าหน่วยฮอก (Haugh unit) เฉลี่ย : 78.54 ± 10.88	
ระดับชั้นคุณภาพ (ฟอง) :	
ระดับชั้นคุณภาพเอเอ (AA)	ค่า $HU \geq 72$: 1,324
ระดับชั้นคุณภาพเอ (A)	ค่า $HU = 60-71$: 260
ระดับชั้นคุณภาพบี (B)	ค่า $HU < 60$: 138
ค่าเฉลี่ยสีของไข่แดง :	9.15 ± 0.84
ความสูงเฉลี่ยของไข่ขาว (มิลลิเมตร) :	6.46 ± 1.35
น้ำหนักเฉลี่ยของไข่ไก่ที่ใช้ในการทดลอง (กรัม) :	61.30 ± 5.06

จากตารางที่ 4.1 จะแสดงถึงคุณสมบัติทางกายภาพของไข่ไก่ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ไข่ไก่ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนเท่ากับ 1,722 ฟอง มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 61.30 ± 5.06 กรัม และมีค่าหน่วยฮอกเฉลี่ยเท่ากับ 78.54 ± 10.88 โดยแบ่งเป็นระดับชั้นคุณภาพความสดของไข่ตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 แบ่งเป็นเกรดเอเอ (AA) ซึ่งต้องมีค่าฮอกมากกว่าหรือเท่ากับ 72 จำนวน 1,324 ฟอง (คิดเป็น 76.89 % ของไข่ไก่ทั้งหมด) ระดับชั้นคุณภาพเอ (A) ซึ่งมีค่าหน่วยฮอกมากกว่าหรือเท่ากับ 60 ถึง 71 จำนวน 260 ฟอง (คิดเป็น 15.10 % ของไข่ไก่ทั้งหมด) และระดับชั้นคุณภาพบี (B) ซึ่งมีค่าหน่วยฮอกน้อยกว่า 60 จำนวน 138 ฟอง (คิดเป็น 8.01 % ของไข่ไก่ทั้งหมด) นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยสีของไข่แดงมีค่าเท่ากับ 9.15 ± 0.84 และความสูงเฉลี่ยของไข่ขาวมีค่าเท่ากับ 6.46 ± 1.35 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

4.2 ความสดของไข่ไก่ที่ได้จากการวัดด้วยหน่วยฮอก

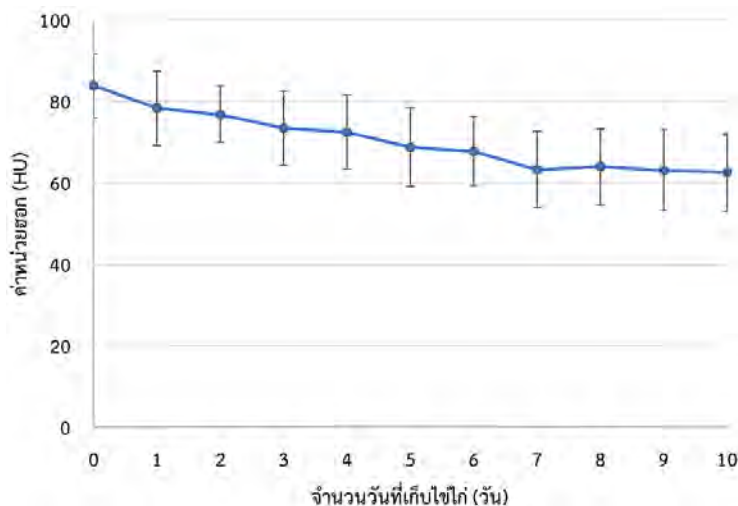
ค่าความสดของไข่ไก่นั้นจะใช้อ้างอิงจากค่าหน่วยฮอกซึ่งคำนวณได้จากน้ำหนักของไข่ไก่ทั้งหมด ฟองกับความสูงของไข่ขาว โดยค่าหน่วยฮอกของไข่ไก่ที่ใช้ในการทดลองนี้สรุปได้ดังตารางที่ 4.2 จากตารางจะเห็นได้ว่าเมื่อค่าหน่วยฮอกลดลง เมื่อค่าน้ำหนักของไข่ไก่และความสูงของไข่ขาวลดลง เนื่องจากเมื่อเก็บไข่ไก่เป็นระยะเวลาานานจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำภายในไข่ทำให้น้ำหนักของไข่ไก่ลดลง นอกจากนี้เอนไซม์ทริปซิน (Trypsin) จะทำหน้าที่ย่อยโปรตีนในไข่ขาวให้มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ไข่ขาวส่วนชั้น (Thick albumen) กลายเป็นไข่ขาวใส (Thin albumen) ส่งผลให้ความสูงของไข่ขาวส่วนชั้นลดลง ส่วนสีของไข่แดงจะขึ้นอยู่กับอาหารซึ่งมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับปริมาณของสารประกอบแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) (อ้างอิงจาก Kasetsart Extension Journal)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสูงสุด, ค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของค่าที่แสดงจากเครื่องวัดค่า Haugh unit

ค่าที่แสดงจากเครื่องวัดค่า Haugh unit	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย
น้ำหนักของไข่ไก่ (กรัม)	81.2	47.6	61.30 ± 5.06
ความสูงของไข่ขาว (มิลลิเมตร)	9.5	2.5	6.46 ± 1.35
สีของไข่แดง	11.6	4.7	9.15 ± 0.84
Haugh unit	97.1	35.6	78.54 ± 10.88

เนื่องจากความสดของไข่ไก่บอกด้วยค่าหน่วยฮอก ดังนั้นจากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บไข่ไก่นานขึ้นค่าหน่วยฮอกจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากค่าเฉลี่ยค่าหน่วยฮอก 83.80 ± 7.94 ในวันที่ 0 (วันที่เก็บไข่ไก่) ลดลงเหลือเพียง 63.29 ± 9.26 ในช่วงอาทิตย์แรก (7 วัน) หลังจากการเก็บ โดยหลังจากวันที่ 7 นั้นค่าหน่วยฮอกจะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เหตุที่อัตราการลดลงอย่างรวดเร็วของค่าหน่วยฮอกในช่วงอาทิตย์แรกของการเก็บนี้เกิดจากเอนไซม์ทริปซินทำหน้าที่ไปย่อยโปรตีนในไข่ขาวยังทำงานได้ดีอยู่ ทำให้เกิดการย่อยโปรตีนอย่างรวดเร็วส่งผลต่อค่าหน่วยฮอกอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาในการเก็บผ่านไป 7 วัน เอนไซม์ทริปซินจะเริ่มเสื่อมสภาพลง ส่งผลให้ความสามารถในการย่อยโปรตีนลดลง ดังนั้นค่าหน่วยฮอกจะเริ่มคงที่ แต่จะค่อย ๆ ลดลง

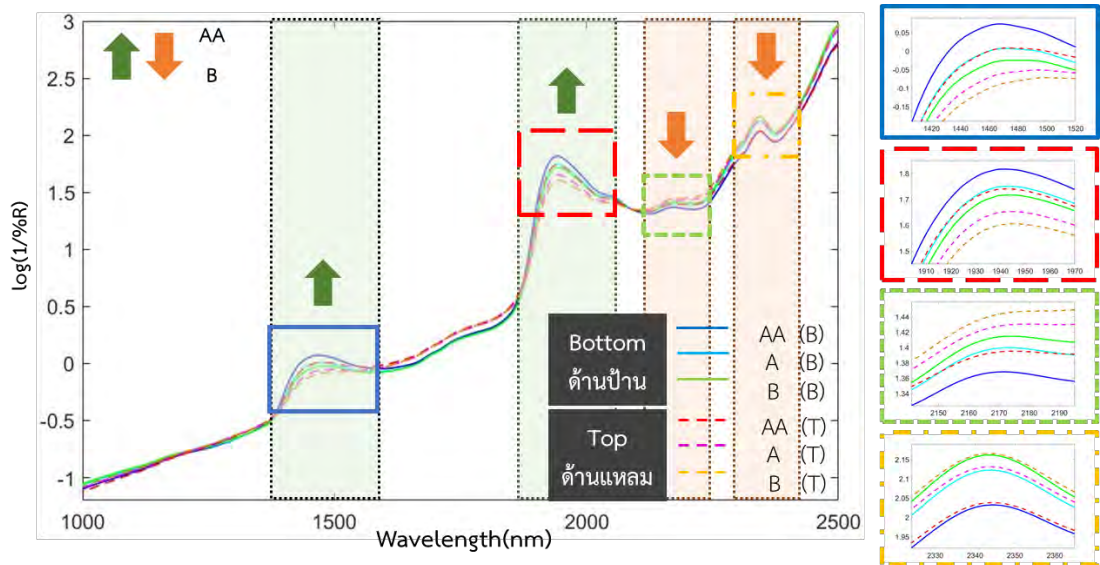
เพียงเล็กน้อยทั้งนี้อาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของช่องอากาศในไข่ (Air cell) ซึ่งเกิดจากการแพร่ผ่านของอากาศและน้ำที่เข้าไปในไข่ไก่เนื่องจากสารเคลือบผิวที่เปลือกไข่ไก่นั้นเสื่อมสภาพ (www.foodnetworksolution.com)



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยฮอก (Haugh unit) และระยะเวลาในการเก็บไข่ไก่

4.3 เนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่

ในการคำนวณค่าหน่วยฮอกไข่ไก่จะต้องทำการตอกเพื่อทำการวัดความสูงของไข่ขาว ด้วยเหตุนี้ก่อนทำการวัดค่าหน่วยฮอกของไข่ไก่ทุกฟอง ไข่ไก่ทุกฟองนั้นจะถูกนำไปวัดสัญญาณเนียร์อินฟราเรดในตำแหน่งด้านป้าน (Bottom) และตำแหน่งด้านแหลม (Top) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเนียร์อินฟราเรดต่อค่าหน่วยฮอกของไข่ไก่ สัญญาณเนียร์อินฟราเรดที่ได้นั้นจะทำการปรับข้อมูลด้วยเทคนิค Standard Normal Variate (SNV) เพื่อลดการรบกวนของสัญญาณอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทดลอง และเป็นการลดสัญญาณพื้นฐาน (Baseline) ของสเปกตรัมสัญญาณเนียร์อินฟราเรดเฉลี่ยของไข่ไก่แสดงในรูปที่ 4.2 จากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดพบว่ามีรูปแบบของสเปกตรัม จากไข่ไก่ทั้งสามเกรด (AA & A & B) ในตำแหน่งทั้งด้านป้านและด้านแหลมนั้นให้ลักษณะรูปแบบ (Pattern) ที่ไม่เหมือนกัน เนื่องจากความเข้มของสัญญาณ (Intensity) ที่เป็นค่า $\log(1/\%R)$ ของไข่ไก่แต่ละเกรดนั้นมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในช่วงสัญญาณที่สำคัญทั้งหมด 4 ช่วงดังนี้ ช่วงความยาวคลื่นที่ 1410 – 1520 นาโนเมตร และช่วงความยาวคลื่นที่ 1913 – 1970 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับค่าความสดของไข่ไก่แบบแปรผันตาม (เมื่อค่าความสดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเข้มของสัญญาณเพิ่มขึ้นด้วย) ส่วนช่วงความยาวคลื่นที่ 2141 – 2200 นาโนเมตร และช่วงความยาวคลื่นที่ 2324 – 2365 นาโนเมตร นั้นมีความสัมพันธ์กับค่าความสดของไข่ไก่แบบแปรผกผัน (เมื่อค่าความสดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเข้มของสัญญาณลดลง)



รูปที่ 4.2 แสดงเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่ที่ได้จากการวัดในตำแหน่งด้านป้าน (Bottom) และตำแหน่งด้านแหลม (Top)

จากการค้นคว้าข้อมูลความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีกับความสดของไข่ไก่จากเอกสารอ้างอิงพบว่าในช่วงความยาวคลื่นที่ 1410 – 1520 นาโนเมตรเป็นสัญญาณที่แสดงถึง 2nd overtone ของหมู่เอไมด์ (CONH₂) ที่พบได้ในโปรตีน Ovalbumin เนื่องจากค่าหน่วยออกเป็นค่าที่บ่งชี้ความสดของไข่ไก่ที่มีตัวแปรสำคัญคือความสูงของไข่ขาวส่วนชั้น โดยในไข่ไก่สดจะมีไข่ขาวส่วนชั้น (Thick albumen) มากกว่าไข่ขาวใส (Thin albumen) แต่เมื่อผ่านระยะเวลาการเก็บรักษาไปไข่ขาวส่วนชั้นจะมีความหนืดลดลงซึ่งเกิดจากโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีน ovalbumin ในไข่ขาวเกิดการเปลี่ยนแปลงไปมีขนาดเล็กหรือเสื่อมสภาพจากการย่อยโดยเอนไซม์ภายในไข่ไก่ ทำให้ไข่ขาวส่วนชั้นเปลี่ยนเป็นไข่ขาวใส ถึงแม้ว่าโปรตีนในไข่ขาวจะมีหลายชนิดแต่ ovalbumin เป็นโปรตีนที่มีปริมาณมากที่สุดในไข่ขาว (คิดเป็น 54% ของไข่ขาว) ในไข่ไก่สดจะมี ovalbumin สูงแต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป ovalbumin จะเริ่มมีการเปลี่ยนเป็น s-ovalbumin ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น ดังนั้นไข่ที่เก็บระยะเวลานานขึ้นจึงมี ovalbumin น้อยลงซึ่งสอดคล้องกับสัญญาณของเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตามนั้นคือเมื่อ ovalbumin ลดลงในไข่ไก่ ความเข้มของสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมจะลดลงด้วยเช่นกัน (7-9)

สำหรับช่วงความยาวคลื่นที่ 1913 – 1970 นาโนเมตรเป็นสัญญาณที่แสดงถึง 1st overtone ของน้ำ (H₂O) เนื่องจากเมื่อไข่ไก่ถูกเก็บไว้ในเวลาที่นานขึ้น เมื่อบริเวณเปลือกไข่ไก่จะเสื่อมสภาพทำให้น้ำในไข่ไก่สามารถแพร่ผ่านรูเล็ก ๆ บนเปลือกไข่ออกสู่บรรยากาศได้ ส่งผลให้ไข่ไก่สูญเสียน้ำ ดังนั้นไข่ไก่สดที่ถูกเก็บไว้จะมีปริมาณน้ำในไข่ไก่น้อยลงซึ่งสอดคล้องกับสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตามนั้นคือเมื่อปริมาณน้ำในไข่ไก่ลดลงความเข้มของสัญญาณเนียร์อินฟราเรดก็จะลดลงตามไปด้วย (9-11)

ในช่วงความยาวคลื่นที่ 2141 – 2200 นาโนเมตรเป็นสัญญาณที่แสดงถึง 1st overtone และ Combination band ของหมู่เอไมด์ CONH₂(H) ในโปรตีน 3 ชนิดที่เคลือบอยู่บริเวณเปลือกไข่ไก่ ได้แก่ Ovalbumin, Ovotransferrin และ Lysozyme แต่เมื่อพิจารณาจากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวพบที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความเข้มของสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของโปรตีนทั้ง 3 ชนิดที่บริเวณเปลือกไข่^(12,13)

ในช่วงความยาวคลื่นที่ 2324 – 2365 นาโนเมตร แสดงถึงสัญญาณของ 2nd overtone ν(CO) จากแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ด้วยสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตถือเป็นองค์ประกอบหลักของเปลือกไข่ ซึ่งทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับเปลือกไข่ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวพบว่าเป็นช่วงความยาวคลื่นของหมู่ CO ใน CaCO₃ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความเข้มของสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม กล่าวคือแคลเซียมคาร์บอเนตอาจเกิดการเปลี่ยนรูปร่างเชิงโครงสร้าง (Morphological change) เมื่อสัมผัสกับอากาศเป็นระยะเวลาานาน^(10,14) โดยความสัมพันธ์ระหว่างเกรตของไข่ไก่ (บ่งบอกถึงความสด) กับช่วงความยาวคลื่นของเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่ รวมถึงความเป็นไปได้ที่เกิดขึ้นในเชิงเคมี และกายภาพได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงช่วงสัญญาณที่สำคัญจากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมของไข่ไก่ และความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีในไข่ไก่

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ความสัมพันธ์ของ ความเข้มสัญญาณ กับความสดของไข่ไก่	การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี	
1410 - 1520	แปรผันตาม	Ovalbumin 2 nd overtone of CONH ₂	ovalbumin → s-ovalbumin ไข่ไก่สดจะมี ovalbumin สูงแต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป ovalbumin จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเป็น s-ovalbumin ประมาณ 5% และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ดังนั้นไข่เก็บจึงมี ovalbumin น้อยลง
1913 - 1970	แปรผันตาม	Water 1 st overtone of H ₂ O	เมื่อไข่ไก่มีระยะเวลาในการเก็บที่นานขึ้นน้ำในไข่จะแพร่ผ่านรูเล็ก ๆ บนเปลือกไข่ ออกสู่บรรยากาศทำให้ไข่สูญเสียน้ำ ดังนั้นไข่ไก่สดจึงมีน้ำมากกว่าไข่ไก่เก็บ
2141 - 2200	แปรผกผัน	1 st overtone & Combination band CONH ₂ (H)	โปรตีนในไข่ขาว 3 ชนิดที่เคลื่อนบริเวณเปลือกไข่คือ ovotransferrin, ovalbumin และ lysozyme ซึ่งจากการพิจารณา NIR spectrum ของไข่ไก่ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวพบว่าเป็นช่วงความยาวคลื่นของหมู่เอไมด์ (CONH ₂ (H)) ในโปรตีน 3 ชนิด
2324 - 2365	แปรผกผัน	CaCO ₃ 2 nd overtone of V (CO)	แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO ₃) คือองค์ประกอบหลักของเปลือกไข่ซึ่งจากการพิจารณา NIR spectrum ของไข่ไก่ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวพบว่าเป็นช่วงความยาวคลื่นของหมู่ CO ใน CaCO ₃

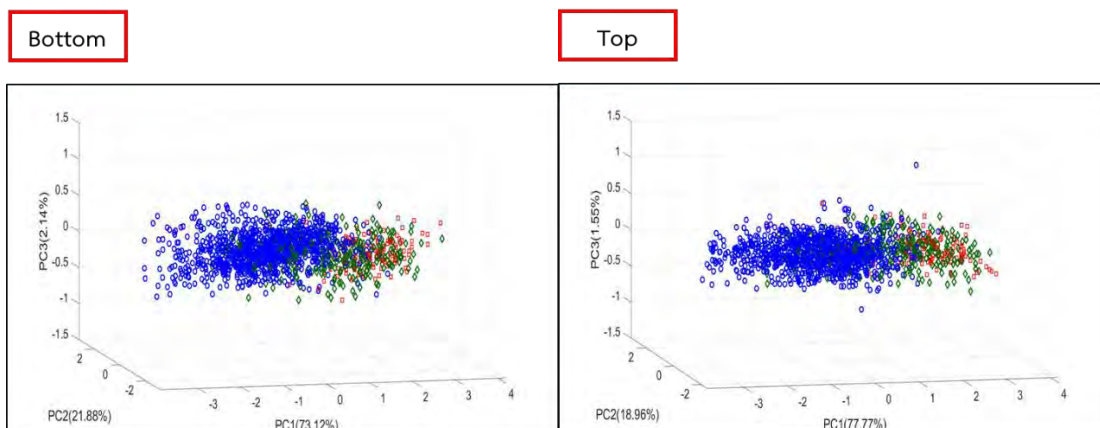
4.4 การทำนายค่าความสดจากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมด้วยเทคนิคเคโมเมทริกซ์



เนื่องด้วยสัญญาณเนียร์อินฟราเรดเป็นสัญญาณที่ได้จากโอเวอร์โทนของการสั่นของโมเลกุลหรือสารประกอบในตัวอย่าง ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้จากเพียงความยาวคลื่นใดความยาวคลื่นหนึ่งได้ แต่จำเป็นต้องวิเคราะห์จากทั้งสเปกตรัม ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวต้องอาศัยหลักการทางสถิติและคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร (Multivariate analysis) โดยการวิเคราะห์จะแบ่งเป็นส่วน ๆ ดังนี้

- เทคนิค Principal Component Analysis (PCA) จะใช้วิเคราะห์ดูความเหมือนและความต่างของรูปแบบสัญญาณเนียร์อินฟราเรดที่ได้จากไซโกเกรตต่าง ๆ เพื่อบ่งบอกความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์ความสดของไซโกจากสัญญาณเนียร์อินฟราเรด
- เทคนิค Partial Least Square (PLS) จะใช้วิเคราะห์หาสมการในการคำนวณค่าหน่วยฮอกจากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดที่ได้ เพื่อดูความเป็นไปได้ในการใช้สเปกตรัมของเนียร์อินฟราเรดในการวิเคราะห์หาค่าหน่วยฮอก โดยความถูกต้องและความแม่นยำจะแสดงอยู่ในรูปของค่า R และ $RMSEP$
- เทคนิค Linear Discriminant Analysis (LDA) จะใช้ในการวิเคราะห์และทำนายกลุ่มตัวอย่างจากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดที่ได้ เพื่อดูความเป็นไปได้ในการใช้สเปกตรัมของเนียร์อินฟราเรดในการทำนายกลุ่มของตัวอย่าง (ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ความสด) โดยความถูกต้องและความแม่นยำจะดูจากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายกลุ่มตัวอย่าง

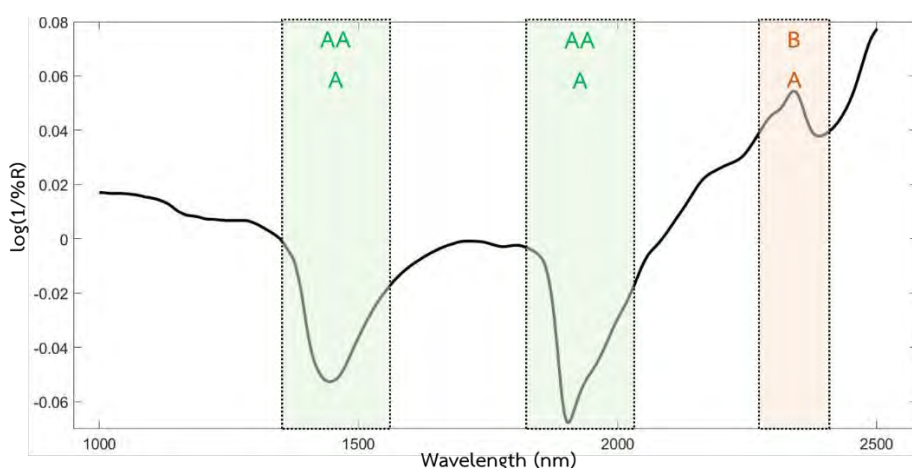
4.4.1 การจัดกลุ่มเกรดของไซโกด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA)

เทคนิค PCA จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์และจัดกลุ่มตัวอย่างโดยอาศัยความเหมือนและความแตกต่างของข้อมูล ซึ่งในที่นี้คือสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม โดยจากเทคนิค PCA จะทำการโปรเจกต์ข้อมูลลงในแกนของตัวแปรแฝง (Latent variable) ที่เรียกว่า “Principal Component, PC” ซึ่งตัวแปรแฝงนี้จะเกิดจากสมการวิเคราะห์ถดถอยของตัวแปรปกติ (ความยาวคลื่นของสัญญาณเนียร์อินฟราเรด) ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลสองประเภทคือข้อมูลที่เป็นสกอร์ (Score) ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่บ่งบอกความสัมพันธ์ของตัวอย่าง และข้อมูลที่เป็นโหลดดิง (Loading) จะบ่งบอกความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยสกอร์ของ PC1 – PC3 ที่ได้จากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดของไซโกที่แบ่งเกรดตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดง Principal Component Analysis ของไข่ไก่ตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 (เกรด AA (), เกรด A () และเกรด B ())

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่ากลุ่มของตัวอย่างถูกจัดเรียงแยกกันอย่างชัดเจนสำหรับกลุ่มของไข่ไก่เกรด AA ที่มีค่าหน่วยออก ≥ 72 และกลุ่มของไข่ไก่เกรด B ที่มีค่าหน่วยออก < 60 ในขณะที่กลุ่มของไข่ไก่เกรด A ที่มีค่าหน่วยออก $60 - 71$ จะแทรกอยู่ระหว่างกลางและมีการซ้อนทับกันกับไข่ไก่เกรด AA และ B แสดงให้เห็นว่าสัญญาณเนียร์อินฟราเรดมีรูปแบบที่แตกต่างกันสำหรับไข่ไก่แต่ละเกรด และมีแนวโน้มเดียวกันไม่ว่าจะเป็นการวัดสัญญาณที่ด้านป้านหรือด้านแหลม จากข้อมูลสกออร์ที่ได้จาก PC1-PC3 ซึ่งมีค่า % variance ของตำแหน่งด้านป้านและด้านแหลมเท่ากับ 97.14% และ 98.28% ตามลำดับ จึงเป็นการยืนยันได้ว่าสัญญาณของเนียร์อินฟราเรดมีแนวโน้มที่จะจำแนกเกรดของไข่ไก่ได้ และเมื่อพิจารณาจะพบว่าเกรดของไข่ไก่จะแยกได้จากแกน PC1 เป็นหลัก



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟโหลดติง (Loadings, P) ของ PC1

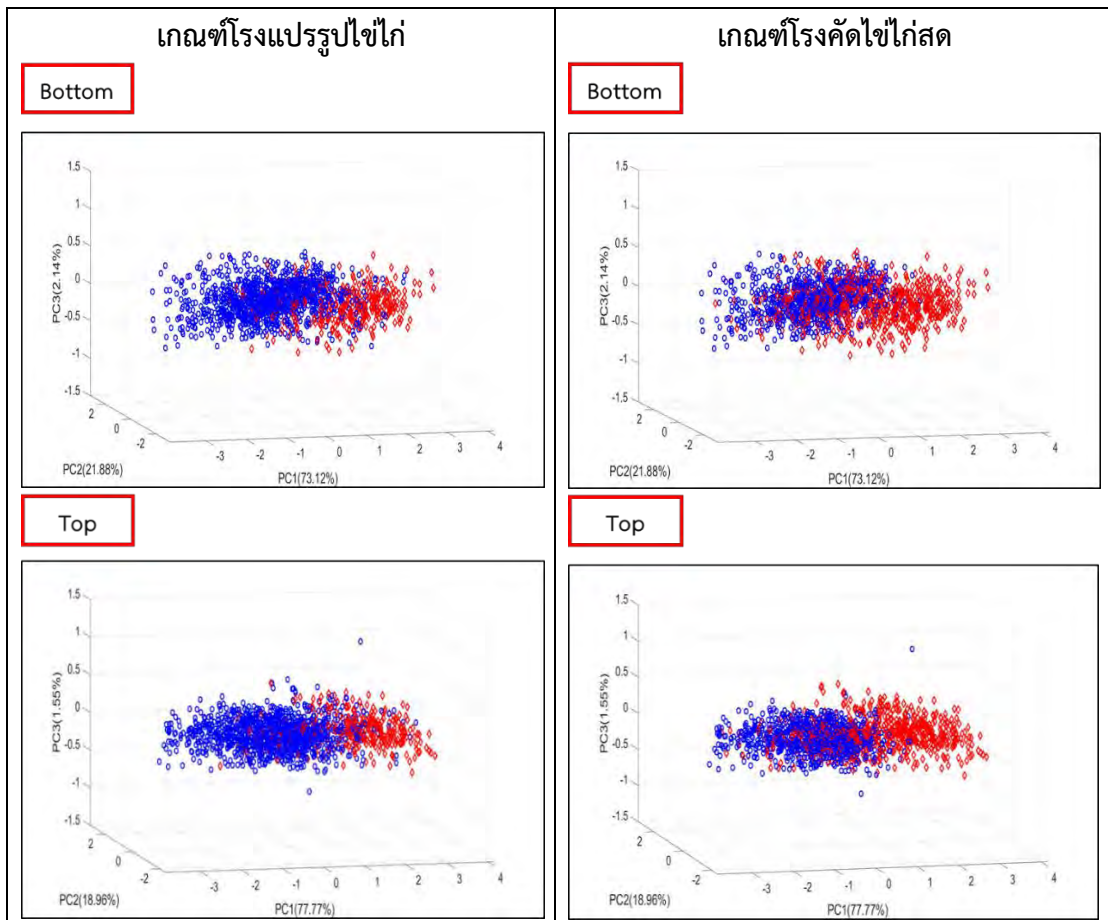
นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.4 ที่แสดงกราฟโหลดติง (Loadings plot) ของ PC1 จะเห็นได้ว่าช่วงความยาวคลื่นของเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมที่สอดคล้องกับไข่ไก่เกรด AA จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 1410 – 1520 นาโนเมตร, 1913 – 1970 นาโนเมตร และไข่ไก่เกรด B จะอยู่ในช่วง



2324 – 2365 นาโนเมตรตามลำดับ ซึ่งจากวิเคราะห์ด้วย Loading ของ PC1 นั้นให้ผลสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากรูปที่ 4.2 แสดงว่าช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวสามารถใช้เป็นตำแหน่งที่บ่งบอกความสดและเกรดของไซโกได้

เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายของทางบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีเกณฑ์ในการจำแนกความสดของไซโกตามเกณฑ์โรงงานแปรรูปไซโกและโรงคัดไซโกสด ซึ่งใช้เกณฑ์ที่แตกต่างกันกับเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 โดยมีข้อกำหนดเกณฑ์ความสดของไซโกดังนี้

- เกณฑ์โรงงานแปรรูปไซโก : ผ่านเกณฑ์ต้องมีค่าหน่วยฮอก ≥ 70
- เกณฑ์โรงคัดไซโกสด : ผ่านเกณฑ์ต้องมีค่าหน่วยฮอก ≥ 80

สกอร์ของ PC1 – PC3 ที่ได้จากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดของไซโกที่แบ่งเกรดตามเกณฑ์ของโรงงานแปรรูปไซโกและโรงคัดไซโกสดแสดงในรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่ากลุ่มของตัวอย่างถูกจัดเรียงแยกกันอย่างชัดเจนสำหรับกลุ่มของไซโกที่แบ่งตามเกณฑ์โรงงานแปรรูปไซโก ในขณะที่กลุ่มของไซโกที่แบ่งตามเกณฑ์โรงคัดไซโกสดจะมีการซ้อนทับกันของข้อมูลมากกว่า เนื่องด้วยเมื่อพิจารณาจากค่าหน่วยฮอกเฉลี่ยของไซโกสดทั้งหมดที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยหน่วยฮอกของไซโกนั้นมีค่าเพียง 78.54 ± 10.88 เพราะฉะนั้นการใช้เกณฑ์ของโรงคัดไซโกสดที่ใช้ค่าหน่วยฮอก ≥ 80 จึงไม่สอดคล้องกับความสดของไซโกในกลุ่มตัวอย่างที่มี จากข้อมูลของสกอร์นั้นจะเห็นได้ว่าสัญญาณเนียร์อินฟราเรดนั้นมีรูปแบบสเปกตรัมที่แตกต่างกันสำหรับไซโกที่ผ่านเกณฑ์และไซโกที่ไม่ผ่านเกณฑ์ และมีแนวโน้มเดียวกันไม่ว่าจะเป็นการวัดสัญญาณที่ด้านบ้านหรือด้านแหลม ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าสัญญาณของเนียร์อินฟราเรดมีแนวโน้มที่จะใช้เป็นข้อมูลตัวแทนในการจำแนกไซโกที่ผ่านเกณฑ์และไซโกที่ไม่ผ่านเกณฑ์ออกจากกันได้โดยพิจารณาการแยกจากแกน PC1 เป็นหลัก

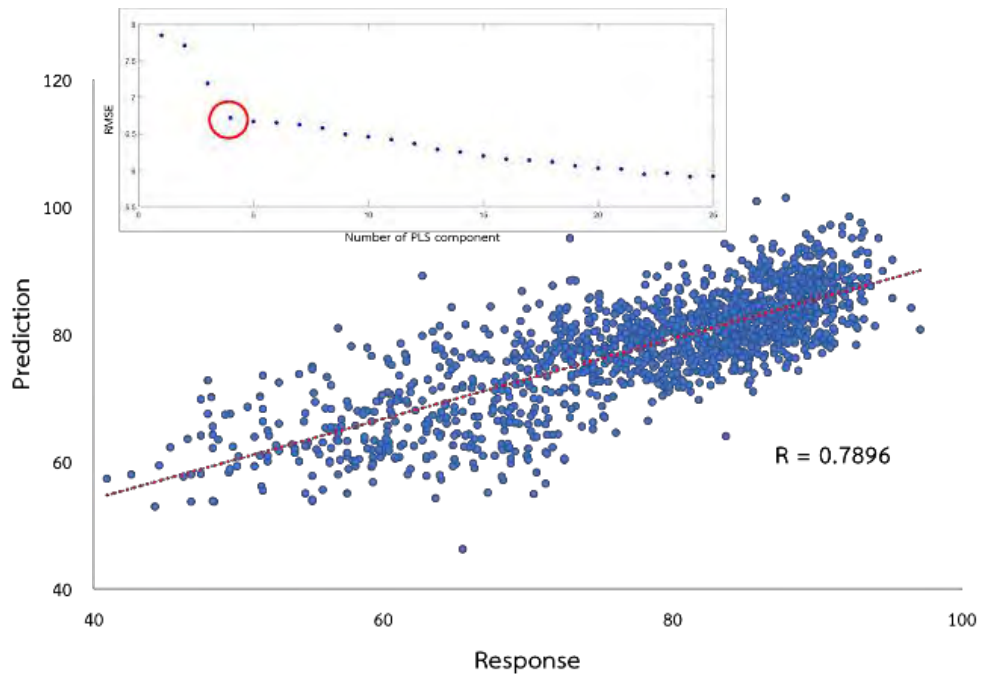


รูปที่ 4.5 แสดง Principal Component Analysis ของไข่ไก่ตามเกณฑ์โรงงานแปรรูปไข่ไก่ และเกณฑ์โรงคัดไข่ไก่สด ของบริษัทซีพีเอฟ (ผ่านเกณฑ์ (), และตกเกณฑ์ ())

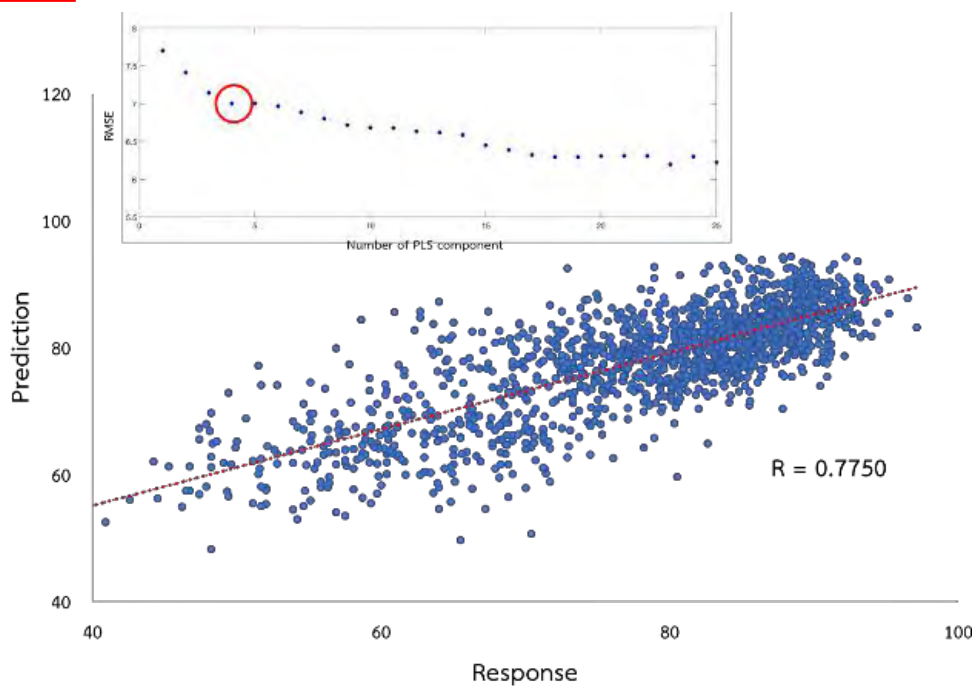
4.4.2 การวิเคราะห์ค่าหน่วยฮอกของไข่ไก่ด้วยเทคนิค Partial Least Square (PLS)

เทคนิค PLS จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายค่าหน่วยฮอกของไข่ไก่โดยอาศัยสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) โดยเทคนิค PLS จะทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละความยาวคลื่น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมนั้นจะดูได้จาก จำนวน PLS components ที่ใช้ โดยจำนวน PLS component ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากการสร้างสมการและมีการทำนายค่าที่ให้ความถูกต้องมากที่สุดหรือมีความผิดพลาดน้อยที่สุด (RMSE ต่ำที่สุด) ในงานวิจัยนี้เทคนิคที่ใช้ในการหา PLS components ที่เหมาะสม จะใช้กระบวนการที่ Leave-One-out Cross-validation นอกจากนี้ความถูกต้องและความแม่นยำของสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสำหรับทำนายค่าหน่วยฮอกจะถูกวัดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; R) และค่า Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP) โดยผลที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งจะอ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 คือเกรด AA จะมีค่าหน่วยฮอก ≥ 72 , เกรด A จะมีค่าหน่วยฮอก 60-71 และเกรด B จะมีค่าหน่วยฮอก < 60

Bottom



Top



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของค่าหน่วยออกจริงและค่าหน่วยออกที่ทำนายได้จากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดที่วัดได้จากไข่ไก่ตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 (เกรดเอเอ (AA), เกรดเอ (A), เกรดบี (B)) และค่า $RMSE$ ที่ใช้จำนวน PLS component ต่าง ๆ แสดงในรูปย่อย

จากรูปที่ 4.6 จากการทำนายค่าหน่วยออกที่แสดงความสดของไข่ไก่โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์พบว่าจำนวน PLS component ที่ดีที่สุดสำหรับการใช้สร้างค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเท่ากับ 4 ซึ่งจะให้ค่า Correlation coefficient (R) อยู่ในช่วง 0.78 – 0.79 และ Root Mean Square Error of Prediction ($RMSEP$) อยู่ในช่วง 6.75 - 7.00 ซึ่งนับว่ายังมีความผิดพลาดสูง เพราะฉะนั้นสมการที่ใช้ในการทำนายหาค่าหน่วยออก โดยอาศัยสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมยังคงมีความน่าเชื่อถือไม่เพียงพอ เนื่องจากยังมีความผิดพลาดในการทำนายคลาดเคลื่อนจากค่าหน่วยออกจริงสูงถึง 10% ผู้วิจัยจึงคาดว่าการทำงานเกรดของไข่ไก่โดยอาศัยรูปแบบสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมจะให้ผลที่สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้มากกว่า

4.4.3 การทำนายเกรดของไข่ไก่ด้วยเทคนิค Linear Discriminant Analysis (LDA)

เทคนิค Linear Discriminant Analysis (LDA) ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์และทำนายเกรดของไข่ไก่โดยอาศัยสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัม โดยความถูกต้องและความแม่นยำในการทำนายจะดูจากความถูกต้องในการทำนายกลุ่มของตัวอย่างในลักษณะของตารางที่เป็น contingency table โดยที่คอลัมน์นั้นคือกลุ่มตัวอย่างจริง (เกรดของไข่ไก่) และแถวคือกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำนายไว้ ยกตัวอย่างเช่นถ้าในคอลัมน์เป็นไข่ไก่เกรด AA และแถวเป็นเกรด B หมายถึงตัวอย่างดังกล่าวเป็นไข่ไก่เกรด AA แต่ถูกทำนายเป็นไข่ไก่เกรด B เป็นต้น โดยค่าที่แสดงตามแนวทแยงของตาราง (Diagonal value) นั้นคือค่าความถูกต้องของการทำนายเกรดของไข่ไก่ได้ถูกต้อง สำหรับผลการวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 ในการจำแนกเกรดไข่ไก่ ได้แสดงในตารางที่ 4.4 จากตารางที่ 4.4 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายเกรดของไข่ไก่จะให้การทำนายในแนวทแยงมุม (Diagonal) สูงที่สุดสำหรับการทำนายเกรด AA และเกรด B ของไข่ไก่ ในขณะที่ไข่ไก่เกรด A จะมีค่าความถูกต้องในการทำนายต่ำ อาจเป็นเนื่องจากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดของไข่ไก่เกรด A นั้นมีความคล้ายคลึงกับทั้งสัญญาณที่ได้จากไข่ไก่เกรด AA และเกรด B จึงให้ทำให้การทำนายมีความคลาดเคลื่อนสูง ในขณะที่การทำนายเกรด AA และเกรด B ของไข่ไก่มีความแม่นยำถึง 80-84% และ 70-75% ตามลำดับ และมีความคลาดเคลื่อนที่จะทำนายไข่ไก่เกรด AA เป็นเกรด B และการทำนายไข่ไก่เกรด B เป็นเกรด AA จะมีโอกาสเพียง < 2 % และ 3 - 5 %

ตารางที่ 4.4 เพอร์เซ็นต์ในการทำนายเกรดของไข่ไก่ตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 เกรด AA มี $HU \geq 72$, เกรด A มีค่า HU 60-71 และเกรด B มีค่า $HU < 60$

Bottom				Top			
เกรดไข่ไก่ที่ทำนายด้วยเทคนิค LDA	เกรดของไข่ไก่ตามเกณฑ์			เกรดไข่ไก่ที่ทำนายด้วยเทคนิค LDA	เกรดของไข่ไก่ตามเกณฑ์		
	AA	A	B		AA	A	B
AA	83.93	22.27	3.15	AA	80.10	22.20	4.65
A	14.13	33.60	26.77	A	18.12	34.13	20.16
B	1.94	44.13	70.0	B	1.77	43.65	75.19

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังประยุกต์ใช้เทคนิค LDA ในการทำนายกลุ่มของไข่ไก่ที่ผ่านเกณฑ์และตกเกณฑ์โดยอ้างอิงตามเกณฑ์โรงงานแปรรูปและเกณฑ์โรงคัดไข่ไก่ ของบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) โดยเปอร์เซ็นต์ในการทำนายเกรดของไข่ไก่ตามมาตรฐานของบริษัทได้แสดงไว้ในดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 เพอร์เซ็นต์ในการทำนายกลุ่มของไข่ไก่ที่ผ่านเกณฑ์และตกเกณฑ์โดยอ้างอิงตามเกณฑ์โรงงานแปรรูป ไข่ไก่ที่ผ่านเกณฑ์มี $HU \geq 70$ และไข่ไก่ที่ตกเกณฑ์มีค่า $HU < 70$

Bottom			Top		
เกรดไข่ไก่ที่ทำนายด้วยเทคนิค LDA	เกรดของไข่ไก่ตามเกณฑ์		เกรดไข่ไก่ที่ทำนายด้วยเทคนิค LDA	เกรดของไข่ไก่ตามเกณฑ์	
	ผ่านเกณฑ์	ตกเกณฑ์		ผ่านเกณฑ์	ตกเกณฑ์
ผ่านเกณฑ์	85.66%	15.31%	ผ่านเกณฑ์	84.01%	15.99%
ตกเกณฑ์	14.34%	84.69%	ตกเกณฑ์	16.31%	83.69%

ตารางที่ 4.6 เพอร์เซ็นต์ในการทำนายกลุ่มของไขไก่ที่ผ่านเกณฑ์และตกเกณฑ์โดยอ้างอิงตามเกณฑ์
โรงคัดไข่ไก่ ไขไก่ที่ผ่านเกณฑ์มี $HU \geq 80$ และไขไก่ที่ตกเกณฑ์มีค่า $HU < 80$

Bottom			Top		
เกรดไขไก่ที่ ทำนายด้วย เทคนิค LDA	เกรดของไขไก่ตามเกณฑ์		เกรดไขไก่ที่ ทำนายด้วย เทคนิค LDA	เกรดของไขไก่ตามเกณฑ์	
	ผ่านเกณฑ์	ตกเกณฑ์		ผ่านเกณฑ์	ตกเกณฑ์
ผ่านเกณฑ์	79.46%	30.97%	ผ่านเกณฑ์	79.12%	26.73%
ตกเกณฑ์	20.54%	69.03%	ตกเกณฑ์	20.88%	73.27%

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายกลุ่มของไขไก่ที่ผ่าน
เกณฑ์และตกเกณฑ์โดยอ้างอิงตามเกณฑ์โรงงานแปรรูปและเกณฑ์โรงคัดไข่ไก่จะให้การทำนายในแนว
ทแยงมุม (Diagonal) สูงที่สุดโดยมีความแม่นยำในการทำนายถึง 83-86% และ 69-80% ตามลำดับ
นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนที่จะทำนายไขไก่ที่ผ่านเกณฑ์เป็นไขไก่ที่ตกเกณฑ์และทำนายไขไก่ที่ตก
เกณฑ์เป็นไขไก่ที่ผ่านเกณฑ์โดยอ้างอิงตามเกณฑ์โรงงานแปรรูปพบว่าจะมีโอกาสเพียง 14 - 17 %
และ 15 % ตามลำดับ รวมไปถึงความคลาดเคลื่อนที่อ้างอิงตามเกณฑ์โรงคัดไข่ไก่พบว่าจะมีโอกาส
ทำนายไขไก่ที่ผ่านเกณฑ์เป็นไขไก่ที่ตกเกณฑ์และทำนายไขไก่ที่ตกเกณฑ์เป็นไขไก่ที่ผ่านเกณฑ์
คลาดเคลื่อนถึง 20 % และ 26 -30 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิค LDA จะสามารถทำนาย
กลุ่มของไขไก่ตามเกณฑ์โรงงานแปรรูปได้ค่อนข้างแม่นยำมากกว่าตามเกณฑ์โรงคัดไข่ไก่

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจวัดความสดของไข่ไก่ ในตำแหน่งด้านป้านและตำแหน่งด้านแหลม เพื่อป้องกันปัญหาจาก Baseline shift ซึ่งจะส่งผลให้การวิเคราะห์เกิดความคลาดเคลื่อนและผิดพลาดสูง สัญญาณเนียร์อินฟราเรดที่ได้จึงจำเป็นต้องเข้าสู่กระบวนการเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์เพื่อปรับข้อมูลด้วย วิธี Savitzky-Golay smoothing และวิธี Standard Normal Variate พบว่าสัญญาณเนียร์อินฟราเรดของไข่ไก่ที่มีความสดต่างกันนั้น ให้ลักษณะรูปแบบที่ไม่เหมือนกันโดยจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในช่วงสัญญาณที่สำคัญทั้งหมด 4 ช่วงดังนี้ ช่วงความยาวคลื่นที่ 1410 – 1520 นาโนเมตร (2nd overtone ของหมู่เอไมด์ที่พบได้ในโปรตีน Ovalbumin) และช่วงความยาวคลื่นที่ 1913 – 1970 นาโนเมตร (1st overtone ของน้ำ) มีความสัมพันธ์กับค่าความสดของไข่ไก่แบบแปรผันตาม ส่วนช่วงความยาวคลื่นที่ 2141 – 2200 นาโนเมตร (1st overtone และ combination band ของหมู่เอไมด์ในโปรตีน 3 ชนิดที่เคลือบอยู่บริเวณเปลือกไข่ไก่) และช่วงความยาวคลื่นที่ 2324 – 2365 นาโนเมตร (2nd overtone $\nu(\text{CO})$ ของแคลเซียมคาร์บอเนต) มีความสัมพันธ์กับค่าความสดของไข่ไก่แบบแปรผกผัน จึงเป็นการยืนยันถึงช่วงความยาวคลื่นที่เป็นเอกลักษณ์ในการตรวจวัดความสดของไข่ไก่

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักพบว่าสกออร์ที่ได้จาก PC1-PC3 มีค่า % variance ของตำแหน่งด้านป้านและด้านแหลมเท่ากับ 97.14% และ 98.28% ตามลำดับ ส่วนจากการวิเคราะห์ผลจากกราฟโหลดดิงของ PC1 นั้นพบว่ากลุ่มของไข่ไก่เกรด AA และเกรด B แยกกันอย่างชัดเจนในขณะที่กลุ่มของไข่ไก่เกรด A จะแทรกอยู่ระหว่างกลางและมีการซ้อนทับกันกับไข่ไก่เกรด AA และ B จึงเป็นการยืนยันได้ว่าสัญญาณของเนียร์อินฟราเรดมีแนวโน้มที่จะจำแนกกลุ่มของไข่ไก่ได้ และจากสมการสอบเทียบทางเคโมเมทริกซ์สำหรับใช้ทำนายค่าหน่วยฮอกซึ่งเป็นตัวแทนความสดของไข่ไก่ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วนพบว่า PLS component ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 4 ซึ่งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ในช่วง 0.78 – 0.79 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองของการทำนาย ($RMSEP$) อยู่ในช่วง 6.75 - 7.00 ซึ่งนับว่ายังมีความผิดพลาดสูง นอกจากนี้การทำนายเกรดของไข่ไก่ตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 6702-2553 ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การจำแนกประเภทเชิงเส้นพบว่าสามารถทำนายเกรด AA และเกรด B ของไข่ไก่มีความแม่นยำถึง 80-84% และ 70-75% ตามลำดับ โดยมีความคลาดเคลื่อนที่จะทำนายไข่ไก่เกรด AA เป็นเกรด B และทำนายไข่ไก่เกรด B เป็นเกรด AA ไม่เกิน 2 % และ 3 - 5 % ตามลำดับ แต่ให้ค่าความถูกต้องในการทำนายไข่ไก่เกรด A ต่ำ และเมื่อพิจารณาการทำนายเกรดของไข่ไก่จากเกณฑ์ที่อ้างอิงตามเกณฑ์โรงงานแปรรูป (ค่าหน่วยฮอก ≥ 70) และเกณฑ์โรงคัดไข่ไก่ (ค่าหน่วยฮอก ≥ 80) ของบริษัทซีพีเอฟพบว่ามีความแม่นยำถึง 83-86% และ 69-80% ตามลำดับ ซึ่งค่าการทำนายของทั้งสองตำแหน่งให้ผลการทำนายที่มีแนวโน้มเดียวกัน จึงเป็นการยืนยันได้ว่าสามารถทำนายกลุ่มของไข่ไก่จากสัญญาณเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมได้อย่างถูกต้องและมีความแม่นยำสูง

อ้างอิง

1. Chen, L.; Wei, W.; Zhi, X.; Du, B. Application of NIR analysis technology in determining the freshness grade of eggs. *Advances in Graphic Communication, Printing and Packaging*. **2019**, *543*, 1008-1015.
2. Lin, H.; Zhao, J.; Sun, L.; Bi, X.K.; Cai, J. Effective variables selection in eggs freshness Graphically oriented local multivariate analysis using NIR spectroscopy. *International Conference on Chemical Material and Food Engineering*. **2015**, 13-18.
3. Lin, H.; Zhao, J.; Sun, L.; Chen, Q. S.; Zhou, F. Freshness measurement of eggs using near infrared (NIR) spectroscopy and multivariate data analysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. **2011**, *12*, 182-186.
4. Zhao, J.; Lin, H.; Chen, Q.; Huang, X.; Sun, Z.; Zhou, F. Identification of egg's freshness using NIR and support vector data description. *Journal of Food Engineering*. **2010**, *98*, 408-414.
5. Nour, N.A.; Ngadi, M.; Prasher, S.; Karimi, Y. Prediction of egg freshness and albumen quality using visible/near infrared spectroscopy. *Food and Bioprocess Technology*. **2011**, *4*, 17, 731-736.
6. Aboonajmi, M.; Najafabadi, T.A. Prediction of poultry egg freshness using VIS-NIR spectroscopy with maximum likelihood method. *International Journal of Food Properties*. **2014**, 2166-2176.
7. Vagnini, M.; Miliani, C.; Cartechini, L.; Rocchi, P.; Brunetti, B. G.; Sgamellotti, A. FT-NIR spectroscopy for non-invasive identification of natural polymers and resins in easel paintings. *Anal Bioanal Chem*. **2009**, *395*, 2107-2118.
8. Wang, Y.; Murayama, K.; Myojo, Y.; Tsenkova, R.; Hayashi, N.; Ozaki, Y. Two-dimensional fourier transform Near infrared spectroscopy study of heat denaturation of ovalbumin in aqueous solutions. *American Chemical Society*. **1998**, *102*, 6655-6662.
9. กานดา ล้อแก้วมณี. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพไข่. *ข่าวสารเกษตรศาสตร์*. **2558**, *60*, 1-8.
10. Zhao, Q.; Lv, X.; Jia, Y.; Chen, Y.; Xu, G.; Qu, L. Rapid determination of the fat moisture and protein contents in homogenized chicken eggs based on near-infrared reflectance spectroscopy. *Poultry Science*. **2018**, *97*, 2239-2245.

11. impublications (imp). An Introduction to near infrared (NIR) spectroscopy: Specialized Information Services. <http://www.impublications.com/content/introduction-near-infrared-nir-spectroscopy> (accessed Oct 29, 2019).
12. Gautron, J.; Nys, Y. Eggshell matrix proteins and natural defenses of the egg. *Symposium COA/INRA Scientific Cooperation in Agriculture*. **2006**, 159-164.
13. Ma, S.; Freedman, T.B.; Dukor, R.K.; Nafie, L.A. Near-infrared and mid-infrared fourier transform vibrational circular dichroism of proteins in aqueous solution. *Society for Applied Spectroscopy*. **2010**, *64*, 615-626.
14. IFAS Extension University of Florida (UF). Concepts of eggshell quality: Specialized Information Services. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/VM/VM01300.pdf> (accessed Oct 29, 2019).
15. Charoen Pokphand Foods (CPF). ธุรกิจการเลี้ยงสัตว์: Specialized Information Services. <https://www.cpfworldwide.com/th/business/farm> (accessed Nov 10, 2019).
16. CP brandsite (CP). ผลิตภัณฑ์ซีพี: Specialized Information Services. <https://www.cpbrandsite.com/product> (accessed Nov 10, 2019).
17. CP brandsite (CP). ความปลอดภัยทางอาหาร (Food Safety): Specialized Information Services. <https://fact.cpbrandsite.com/facts/5> (accessed Nov 10, 2019).
18. Postharvest Technology Innovation Center (PHTIC). การประยุกต์เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับการตรวจหาสารตกค้างในผลิตผลเกษตร: Specialized Information Services. <http://www.phtnet.org/2017/10/579/> (accessed Nov 10, 2019).
19. Food Network Solution (FNS). ไข่ (Egg): Specialized Information Services. <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1146/egg> (accessed Nov 12, 2019).
20. Wikipedia. Egg white: Specialized Information Services. https://en.wikipedia.org/wiki/Egg_white (accessed Nov 12, 2019).
21. NABEL Co., Ltd. เครื่องตรวจสอบคุณภาพไข่: Specialized Information Services. <http://det6500.com/th/egg-quality/> (accessed Nov 12, 2019).
22. Reich, G. Mid and Near infrared spectroscopy. *Analytical Techniques in the Pharmaceutical Sciences*. **2016**, 61-138.

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวณัฐสุดา เหมือนขจร เกิดเมื่อวันที่ 9 เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2540 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบางพลีราษฎร์บำรุง จังหวัดสมุทรปราการ เมื่อปีการศึกษา 2558 เคยได้รับรางวัลนักเรียนที่มีผลการเรียนยอดเยี่ยม ตลอดหลักสูตร ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่6 อันดับที1 เมื่อ พ.ศ. 2559 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2559 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 64/62 หมู่บ้านนครทอง ซอย1 หมู่1 ตำบลราชาเทวะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ รหัสไปรษณีย์ 10540 อีเมล Al_1997_@hotmail.com