การคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์แบบไม่ทำลาย
โดยเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

NONDESTRUCTIVE CLASSIFICATION OF PORK MEATBALL CONTAINING BORAX BY NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

สิริกาญจน์ บุญเปี่ยม
SIRIKARN BOONPIAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-AI-M-054-265

การคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์แบบไม่ทำลาย โดยเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

NONDESTRUCTIVE CLASSIFICATION OF PORK MEATBALL CONTAINING BORAX BY NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

สิริกาญจน์ บุญเปี่ยม
SIRIKARN BOONPIAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559
KMITL-2016-AI-M-054-265

12845796
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NONDESTRUCTIVE CLASSIFICATION OF PORK MEATBALL CONTAINING BORAX BY NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

SIRIKARN BOONPIAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SAFETY MANAGEMENT
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-AI-M-054-265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2016
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์แบบไม่ทำลายโดยเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

NONDESTRUCTIVE CLASSIFICATION OF PORK MEATBALL CONTAINING BORAX BY NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

ชื่อนักศึกษา นางสาวสิริกาญจน์ บุญเปี่ยม

รหัสประจำตัว 57608024

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา การจัดการความปลอดภัยอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ	
ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ	
ดร.ระจิตร สุวพานิช	
รศ.ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล	

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 19 ธันวาคม 2559 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 19 เดือน ธ.ค. พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์แบบไม่ทำลาย โดยเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด
นักศึกษา	นางสาวสิริกาญจน์ บุญเปี่ยม
รหัสประจำตัว	57608024
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	การจัดการความปลอดภัยอาหาร
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	-

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้สมการการคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ นอกจากนี้ยังศึกษาการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู จากเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด โดยการศึกษานี้ใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรด ช่วงความยาวคลื่น 680 – 2500 นาโนเมตร ในการคัดแยกคุณภาพลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ โดยใช้กลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ จำนวน 162 ตัวอย่าง และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ จำนวน 486 ตัวอย่าง พบว่าเมื่อทำการปรับสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) สามารถคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ได้ 99.84 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 300 ppm ได้ 100.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 100 ppm และ 50 ppm (99.69% และ 96.91% ตามลำดับ) จากนั้นทำการทำนายค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (50 ppm 100 ppm และ 300 ppm) พบว่าการทำ pretreatment ด้วยวิธี smoothing ร่วมกับอนุพันธ์อันดับ 1 ให้ผลในการสร้างสมการในทำนายค่าความยืดหยุ่น ที่มีความแม่นยำที่สุด คือ R = 0.92 RMSEP = 0.34 g/cm นอกจากนี้ พบว่าอุณหภูมิในระหว่างการวัดมีผลต่อการสร้างสมการในการทำนาย

จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้วิธีการตรวจสอบแบบด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี ในการตรวจสอบคุณภาพลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ได้

คำสำคัญ : ลูกชิ้นหมู, สารบอแรกซ์, แสงย่านใกล้อินฟราเรด, การคัดแยก, ความยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis title	Nondestructive classification of pork meatball containing borax by near infrared spectroscopy
Student	Miss Sirikarn Boonpiam
Student ID	57608024
Degree	Master of Science
Program	Food safety management
Year	2016
Thesis advisor	Assoc. Prof. Dr.Sontisuk Teerachaichayut
Thesis co-advisor	-

ABTRACT

This research aims to classify pork meatball containing borax and without borax in order to predict texture of pork meatballs using near infrared spectroscopy (NIRS) in range 680 – 2500 nm. For classification of pork meatball containing borax and without borax, a set of pork meatball without borax (162 samples) and a set of pork meatball containing borax (486 samples) were used in this research. Second derivative spectra pretreatment was used and obtained 99.84% accuracy of classification. The result of classification for pork meatball containing borax 300 ppm gave the higher accuracy (100%) than 100 ppm and 50 ppm (99.69% and 96.91% respectively). For the prediction of texture in pork meatball containing borax 50 ppm, 100 ppm and 300 ppm. Good results of prediction for containing borax using smoothing spectra pretreatment and first derivative pretreatment (R = 0.92, RMSEP = 0.34 g/cm respectively) was obtained. Moreover, we found that the temperature during measurement affected the accuracy of the model.

Therefore the reflectance NIR spectroscopy is possible to use for nondestructive classification of pork meatball containing borax.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาถ่ายทอดความรู้ ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าในการทำวิจัยในครั้งนี้ และช่วยตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในการสอบวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ดร.ณัฐภรณ์ สุทธิวิจิตรภักดี สำหรับคำปรึกษาในการใช้เครื่องมือ และถ่ายทอดความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องมือ NIRS ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้า โดยวิธีไม่ทำลายสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอขอบพระคุณรศ.ดร.อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ และ ดร.ระจิตร สุวพานิช เป็นอย่างสูงที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการสอบวิทยานิพนธ์เพื่อให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกๆท่านที่ประสิทธ์ประสาทความรู้และวิชาการต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษา ณ สถาบันฯ แห่งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆนักวิทยาศาสตร์ ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเจ้าหน้าที่ ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้า โดยวิธีไม่ทำลายสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณมารดาของข้าพเจ้า ดร.น้ำเงิน บุญเปี่ยม ที่ให้กำลังใจในการเรียนและการทำวิจัยตลอดมา และเป็นบุคคลตัวอย่างที่ข้าพเจ้ายึดถือเป็นบุคคลตัวอย่าง

ขอขอบคุณผู้จัดการแผนกประกันคุณภาพ บริษัท นูทริกซ์ จำกัด มหาชน ที่อนุญาตให้ข้าพเจ้าลางานเพื่อไปนำเสนอผลงานเรียนจบ ณ เมืองคาโกชิม่า ประเทศญี่ปุ่น เป็นระยะเวลาหลายวัน (27/11/2559 – 8/12/259)

ขอขอบคุณพี่ๆน้องๆและเพื่อนๆ ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) และ สถาบันเทคโนโลยีประจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยหาเนื้อหาและช่วยกำลังแรงกายอยู่ทำแลปด้วยกันตลอดทั้งวันทั้งคืน เป็นระยะเวลา 2 เดือน

หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับผิดนั้นไว้แต่เพียงผู้เดียว

สิริกาญจน์ บุญเปี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญภาพ VIII
สัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ IX
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 บอแรกซ์ 4
2.1.1 คุณสมบัติทางเคมีของบอแรกซ์ 4
2.1.2 การใช้บอแรกซ์ในอุตสาหกรรม 4
2.1.3 กลไกการเกิดพิษของบอแรกซ์ 5
2.1.4 การเป็นพิษของบอแรกซ์ 5
2.1.5 ขนาดของบอแรกซ์ที่เป็นอันตราย 6
2.1.6 การขับถ่ายบอแรกซ์ออกจากร่างกาย 6
2.2 อินฟราเรดย่านใกล้สเปกโทรสโกปี 6
2.2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโทรสโกปี 6
2.2.2 สเปกโทรสโกปี 7
2.2.3 การเกิดอันตรกิริยากับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร 7
2.2.4 รูปแบบที่วัตถุมีปฏิกิริยาต่อแสงย่านใกล้อินฟราเรด 10
2.2.5 ข้อได้เปรียบของการใช้เทคนิค NIRS 11
2.2.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล near infrared 11
2.2.7 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.8 เทคนิคการลดผลกระทบปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม 13
2.2.9 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ 16
2.2.10 วิธีการสร้างสมการ calibration 17
2.2.11 วิธีการทดสอบสมการ (validation test) 17
2.2.12 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRS 19
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 21
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ 21
3.2 วิธีการทดลอง 22

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 25
4.1 การสร้างสมการในการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ 25
4.2 การสร้างสมการในการคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นของสารบอแรกซ์ 38
4.3 การสร้างสมการทำนายความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู 40

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 43

เอกสารอ้างอิง 44
ภาคผนวก 47
ภาคผนวก ก 48
ภาคผนวก ข 52
ภาคผนวก ค 55
ภาคผนวก ง 58
ภาคผนวก จ.. 60
ภาคผนวก ฉ 79

ประวัติผู้วิจัย 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ลำดับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดในแถบสเปกตรัมโดยเรียงจากพลังงานสูงไปต่ำ 8
2.2 การใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า..... 8
2.3 การแบ่งช่วงของรังสีอินฟราเรด..... 9
2.4 เกณฑ์การพิจารณาค่า R และ R^2 18
2.5 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRS 19
4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ 25
4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA ... 26
4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (20°C)..... 28
4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (20°C)..... 29
4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (30°C) 31
4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์(ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (30°C)..... 31
4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (40°C) 33
4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (40°C)..... 33
4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (20°C ทำนาย 40°C) 34
4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (20°C ทำนาย 30°C) 36
4.11 (a) แสดงค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นที่ใส่สารบอแรกซ์เข้มข้น 50 ppm 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.11 (b) แสดงค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นที่ใส่สารบอแรกซ์เข้มข้น 100 ppm 37
4.11 (c) แสดงค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นที่ใส่สารบอแรกซ์เข้มข้น 300 ppm 37
4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆ 38
4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นที่ใส่สารบอแรกซ์ 41
4.14 แสดงค่าความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ 41
4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู 42

1จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 50 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 61
2จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 50 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 63
3จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 50 ppm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 65
4จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 100 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 67
5จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 100 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 69
6จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 100 ppm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 71
7จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 300 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 73
8จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 300 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 75
9จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 300 ppm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 รูปแบบการวัด 10
2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล NIRS 11
2.3 ผลของการเฉลี่ยเคลื่อนที่ และ savitzky-golay smooth 13
2.4 ตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ก่อน ทำการปรับแก้ด้วย MSC 15
2.5 ตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาค หลัง ทำการปรับแก้ด้วย MSC 15
3.1 ขั้นตอนการผลิตลูกชิ้นหมูที่ใส่และไม่ใส่สารบอแรกซ์ 22
4.1 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ... 27
4.2 แสดงกราฟ original การดูดกลืนแสงของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ข้อมูลเฉลี่ยความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) กลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์และสารบอแรกซ์บริสุทธิ์ ..27
4.3 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (20°C) 30
4.4 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (30°C) 32
4.5 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (40°C) 34
4.6 แสดงการทำนายโดยกำหนดให้ลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 20°C ทำนายลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 40°C 35
4.7 แสดงการทำนายโดยกำหนดให้ลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 20°C ทำนายลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 30°C 36
4.8 แสดงความแม่นยำในการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆ 40
4.9 แสดงผลการทำนายค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมู 42

1ฉ เครื่อง texture analyzer รุ่น TA-XT Plus 80
2ฉ หัว probe P/5S 80
3ฉ ตุ้มน้ำหนักสำหรับตั้งค่าเครื่อง 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
NIRS	near infrared spectroscopy
PLS-DA	partial least squares-discriminant analysis
PLSR	partial least square regression
R	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)
N	number of sample
F	factors
1^{st} derivative	Savitzky-Golay first derivative
2^{nd} derivative	Savitzky-Golay second derivative
MSC	multiplicative scatter correction pretreatment
SNV	standard normal variable transformation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ความปลอดภัยในอาหารนั้นเป็นเรื่องสำคัญของมนุษย์ทุกคน เพราะมนุษย์จะต้องมีการบริโภคอาหารเพื่อการดำรงชีวิต อาหารนั้นจะต้องมีประโยชน์ต่อร่างกายและยังต้องมีคุณภาพ ในด้านความสะอาดและถูกสุขลักษณะ ซึ่งต้องปราศจากสิ่งเจือปนที่เป็นอันตรายทั้งทางกายภาพ จุลินทรีย์และเคมี เพราะจะทำให้มีผลเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ตั้งแต่มีอาการเจ็บป่วยไปจนถึงขั้นเสียชีวิต (ชนินทร์ และคณะ, 2542)

ในบรรดาสารพิษที่เป็นอันตรายในอันดับต้นๆที่พบในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์คือ สารบอแรกซ์ ซึ่งมักจะใส่ในอาหารเพื่อให้อาหารมีความกรอบ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ซึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆที่สามารถพบได้ เช่น ลูกชิ้น หมูยอ ผักผลไม้ดอง เป็นต้น (ชนินทร์ และคณะ, 2542)

ชนินทร์ และคณะ (2542) รายงานการควบคุมสารบอแรกซ์ในประเทศไทยได้มีการตรวจพบการใช้สารบอแรกซ์ผสมในอาหารมานาน จนกระทั่งปี พ.ศ.2498 ทางกรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม ได้ประกาศให้ประชาชนได้รับทราบถึงความเป็นพิษของสารบอแรกซ์เป็นครั้งแรก

ภายหลังมีการวิเคราะห์อาหาร โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ตรวจพบสารบอแรกซ์ในผงชูรส พบว่ามีสารบอแรกซ์ปลอมปนอยู่มากถึงร้อยละ 78.75 ของตัวอย่างผงชูรสทั้งหมด ดังนั้นในปี พ.ศ.2536 กระทรวงสาธารณสุข จึงได้ออก “ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร” ฉบับที่ 151 (พ.ศ. 2536) เมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537

รายงานผลการวิจัย เรื่อง สำรวจสถานการณ์ของ สารบอแรกซ์ วัตถุห้ามใช้ในอาหาร พบว่ามีการใช้สารนี้ในอัตราที่สูง (ชนินทร์ และคณะ, 2542) ซึ่งทางสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (2542) ได้มีการออกประกาศเตือนประชาชนที่บริโภคอยู่เป็นประจำและได้ดำเนินการต่อผู้ผลิต ผู้จำหน่ายอย่างเข้มงวดโดยมีการใช้มาตรการทางกฎหมาย แต่ก็ยังมีการฝ่าฝืนอยู่เสมอและยังมีการพบว่า มีการจำหน่ายสารบอแรกซ์กันอย่างเสรี

นอกจากนั้น ปี พ.ศ.2531 ทางกระทรวงอุตสาหกรรมได้มีการออก “ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง ระบุวัตถุมีพิษธรรมดา ตามพระราชบัญญัติวัตถุมีพิษ ฉบับที่41 พ.ศ. 2531” ซึ่งประกาศให้ กรดบอริก, บอแรกซ์, บอแรกซ์ เพนตะไฮเดรต และบอแรกซ์ เดคาไฮเดรต เป็นวัตถุมีพิษและได้มีการยกเลิกไป ต่อมาภายหลังได้มีประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก (2544) เรื่อง ให้สารบอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก ฉบับที่ 8 พ.ศ.2544” ให้แสดงคำเตือนที่บรรจุภัณฑ์ว่า “อันตราย อาจทำให้ไตวาย ห้ามใช้ในอาหาร” โดยใช้ตัวอักษรสีแดงขนาดใหญ่กว่าตัวอักษรอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตรวจวิเคราะห์หาสารบอแรกซ์ปลอมปนในอาหาร ในปัจจุบันมีวิธีการตรวจวิเคราะห์สารบอแรกซ์ที่ให้ผลในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งวิธีการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพนั้น สามารถใช้ test kit ที่ทางสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายสามารถใช้ทดสอบได้ในเบื้องต้น โดยการใช้น้ำยาทดสอบ เริ่มจากทำการสับตัวอย่างอาหารให้มีขนาดเล็กแล้วหยดน้ำยาทดสอบลงไป จากนั้นจุ่มกระดาษขมิ้นเพื่อทำการทดสอบ โดยนำไปตากแดด 10 นาที แล้วนำกระดาษขมิ้นมาตรวจสอบสี ซึ่งหากมีปริมาณสารบอแรกซ์ในตัวอย่างอาหาร กระดาษขมิ้นจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีส้ม ซึ่งวิธีการตรวจวิเคราะห์นี้มีข้อจำกัดคือ สามารถตรวจสอบอาหารที่มีการปนเปื้อนของสารบอแรกซ์อยู่ในตัวอย่างอาหารต้องมีค่ามากกว่า 100 ppm เป็นวิธีแบบทำลายตัวอย่าง อีกทั้งยังมีการใช้สารเคมีทำให้เป็นพิษแก่ธรรมชาติ

วิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณในการหาสารบอแรกซ์โดยการใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ มีข้อจำกัดคือ มีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน เป็นวิธีแบบทำลายตัวอย่าง อีกทั้งยังใช้พลังงานสิ้นเปลือง

ในปัจจุบันนี้ได้มีเทคนิคการวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ (near-infrared) นำมาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถวัดได้โดยตรงเข้าไปในเนื้อตัวอย่างโดยไม่ถูกทำลาย และสามารถวัดได้หลายรูปแบบจึงได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง มีการใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่อินฟราเรดย่านใกล้ ที่นำไปสู่วิธีการเพื่อใช้ในกระบวนการควบคุมและประกันคุณภาพมาตรฐานสินค้าโดยเป็นวิธีที่ยอมรับอย่างเป็นทางการ (official method) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ทำให้ประหยัดเวลา และลดต้นทุนการผลิตได้ในระยะยาว ซึ่งเทคนิคนี้มีการใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในกลุ่มอุตสาหกรรมทั้งที่เป็นอาหารและไม่ใช่อาหาร (food industries and non-food industries) และผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านนี้จะต้องเรียนรู้ด้านวิชาเคโมเมททริกซ์ (chemo metric) (ศุมาพร, 2555)

ในต้นศตวรรษ 1970 เริ่มมีกลุ่มงานห้องปฏิบัติการ ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIRS เครื่องมือที่ใช้ NIRS ก็เริ่มเข้าสู่ตลาดในเชิงพาณิชย์ และมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในด้านการตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณของความชื้น โปรตีน และน้ำมัน ในการพัฒนาสมการแคลิเบรชั่น (calibration) ที่เชื่อถือได้ (ศุมาพร, 2555)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาสมการสำหรับการคัดแยกลูกชิ้นหมูที่มีสารบอแรกซ์กับไม่มีสารบอแรกซ์ จากเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อให้ได้เทคนิคในการคัดแยกลูกชิ้นหมูที่มีสารบอแรกซ์แบบไม่ทำลาย

1.2.2 เพื่อให้ได้สมการสำหรับการคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ไม่มีสารบอแรกซ์ (control) กับลูกชิ้นหมูที่มีสารบอแรกซ์ผสมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จากเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 เพื่อให้ได้สมการสำหรับการทำนายความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู จากเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการสร้างสมการสำหรับการคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ไม่มีสารบอแรกซ์ กับลูกชิ้นหมูที่มีสารบอแรกซ์ และสร้างสมการสำหรับทำนายความยืดหยุ่นของลูกชิ้น จากเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถได้เทคนิคและสมการในการคัดแยกลูกชิ้นหมูที่มีสารบอแรกซ์แบบไม่ทำลาย พร้อมทั้งยังสามารถทำการสร้างสมการทำนายความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูได้ ซึ่งโดยจากเทคนิคนี้สามารถใช้ให้เป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภคไม่มากก็น้อย เนื่องจากสามารถทำให้ทราบว่าลูกชิ้นหมูที่กำลังจะบริโภคเข้าไปนั้นว่า มีสารบอแรกซ์ผสมปนอยู่ภายในลูกชิ้นหมูหรือไม่ โดยค่าความเข้มข้นของสารบอแรกซ์ต้องมีค่า 50 ppm ขึ้นไป เนื่องจากงานวิจัยนี้มีช่วงความเข้มข้นของบอแรกซ์ คือ 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm ซึ่งหากปริมาณสารบอแรกซ์ที่บริโภคเข้าไปเกิดการตกค้างในร่างกาย ก็จะทำให้ผู้บริโภคเสียชีวิตได้

ดังนั้นจึงทำให้เกิดความปลอดภัยในอาหารแก่ผู้ที่รับประทานลูกชิ้นหมู โดยวิธีการที่ค้นพบในครั้งนี้ สามารถใช้เตือนผู้บริโภคได้ และท้ายที่สุดคือ ผลงานฉบับนี้ได้สามารถนำไปเสนอผลงานทางวิชาการและตีพิมพ์ในระดับนานาชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 บอแรกซ์

2.1.1 คุณสมบัติทางเคมีของบอแรกซ์

บอแรกซ์ (borax) เป็นสารเคมีที่เป็นเกลือของสารประกอบโบรอน มีชื่อทางเคมีว่า โซเดียมบอเรต (sodium borate) โซเดียมเตตราบอเรต (sodium tetraborate) โซเดียมไบบอเรต (sodium biborate) โซเดียมพัยโรบอเรต (sodium pytoborate) โซเดียมเตตราบอเรต เดคาไฮเดรท (sodium tetraborate decahydrate) ไดโซเดียม เตตราบอเรต เดคาไฮเดรท (disodium tetraborate decahydrate) ชื่อทางการค้าของบอแรกซ์ คือ น้ำประสานทอง ผงกรอบ สารข้าวตอก ผงกันบูด และเพ่งแซ เป็นต้น มีสูตรทางเคมีว่า $Na_2B_4O_7.10H_2O$ มีน้ำหนักโมเลกุล 381.4 ลักษณะไม่มีกลิ่น เป็นผลึก ละเอียดหรือเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ 95% (ปราณี, 2529)

2.1.2 การใช้บอแรกซ์ในอุตสาหกรรม

บอแรกซ์ (borax) เป็นสารเคมีที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมทำแก้วเพื่อช่วยให้เกิดความเหนียวแข็งแรง ใช้เป็นส่วนผสมในการฉาบภาชนะเครื่องเคลือบดินเผาเพื่อให้มีความมันวาว ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางใช้เป็นวัตถุกันเสียช่วยหยุดยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในแป้งทาตัว อุตสาหกรรมทำยาเป็นยาฝาดสมาน (astringent) ใช้เป็นส่วนผสมในยาทารักษาโรคผิวหนัง ยาฆ่าเชื้อโรค ยากลั้วคอ ยาล้างตา นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารประสานในการเชื่อมทอง ในอุตสาหกรรมฟอกหนังใช้เป็นยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อราเพื่อรักษาเนื้อไม้ ยากำจัดตะไคร่น้ำในสระว่ายน้ำ ใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้ชุบเคลือบโลหะ ใช้ในการผลิตถ่านไฟฉาย ใช้ทำสบู่ น้ำยาดัดผม ทำปุ๋ย เป็นต้น

ต่อมาในปี ค.ศ.1870 มีการค้นพบว่าบอแรกซ์ และกรดบอริก ในปริมาณที่ใช้ทางยานั้นช่วยถนอมอาหารได้ 50 ปีต่อมา ในปี ค.ศ.1920 บอเรต (borate) ได้รับพิจารณาว่าเป็นสารที่ถนอมอาหารได้ดีที่สุดที่จะเพิ่มคุณลักษณะความรับประทานของอาหาร เช่น ปลา เนื้อ เนยเหลว และครีม (กรรณิการ์, 2530)

เนื่องจากบอแรกซ์ มีคุณสมบัติทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) กับสารประกอบอินทรีย์ โพลีไฮดรอกซี่ (organic polyhydroxy compound) ทำให้เกิดลักษณะหยุ่น กรอบ และยังมีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันเสีย จึงทำให้เกิดการนำเอาบอแรกซ์ผสมลงไปในลูกชิ้น หมูยอ ทอดมัน ไส้กรอก แป้งกรุบ ลอดช่อง ผงวุ้น ทับทิมกรอบ มะม่วงดอง ผักกาดดอง ผักกาดเค็ม เพื่อให้อาหารเหล่านั้นมีความกรอบ แข็ง คงตัวอยู่ได้นาน และยังมีการพบว่า มีการนำเอาบอแรกซ์ไปละลายน้ำ แล้วทาหรือชุบลงในเนื้อหมู เนื้อวัว เพื่อให้ดูสดตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ปลอมปนมากับผงชูรสอีกด้วย เนื่องจากบอแรกซ์มีลักษณะภายนอกเป็นผลึกคล้ายคลึงกับผลึกของผงชูรส (ปราณี, 2529)

2.1.3 กลไกการเกิดพิษของบอแรกซ์

สารประกอบโบรอนที่นิยมใช้กันมาก คือ กรดบอริค (boric acid) และบอแรกซ์ (borax) ซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่ได้รับอย่างเป็นประจำ พิษของบอแรกซ์มีผลต่อเซลล์ของร่างกายเกือบทั้งหมด เมื่อร่างกายได้รับเข้าไปแล้วจะทำให้เกิดความผิดปกติ รุนแรงมากน้อยขึ้นกับความเข้มข้นของสารบอแรกซ์ที่ร่างกายได้รับ และเกิดการสะสมในอวัยวะโดยเฉพาะไต เป็นอวัยวะที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด อาการจะปรากฏให้เห็นภายใน 1 สัปดาห์ ส่วนกระเพาะอาหารและลำไส้จะอักเสบ ตับถูกทำลาย สมองบวมช้ำ และมีการคั่งของเลือด อาการทั่วไป มีไข้ ผิวหนังมีลักษะแตกเป็นแผล บวมแดงคล้ายถูกน้ำร้อนลวก อาจมีปัสสาวะออกน้อย หรือไม่ออกเลยเนื่องจากสมรรถภาพการทำงานของไตล้มเหลว (ปราณี, 2529)

สารประกอบโบรอนที่เข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทาน จะถูกดูดซึมได้เกือบทั้งหมดจากทางเดินอาหาร ส่วนกลไกทางชีวเคมีในร่างกาย ซึ่งทำให้เกิดอาการเป็นพิษ พบว่าสารบอแรกซ์ที่รับประทานเข้าไปนั้น จะไปสะสมในสมองของส่วนกลาง (central nervous system) และไปลด oxygen uptake, ammonia formation, glutamic synthetic และ oxidation ของ adrenalin บอแรกซ์นั้นมีพิษต่อเซลล์ของร่างกายเกือบทั้งหมด และมีผลโดยตรงต่ออวัยวะของร่างกาย (ปราณี, 2529)

ในกรณีที่ได้รับสารประกอบโบรอนเพียงครั้งเดียวในจำนวนมากๆ หรือได้รับติดต่อกันหลายครั้ง จะพบการสะสมของโบรอนได้ในสมองและตับ ระบบประสาทส่วนกลางถูกรบกวน (central nervous system irritation) สมองบวมช้ำ มีการคั่งของโลหิต ตัวถูกทำลาย (ปราณี, 2529)

2.1.4 อาการเป็นพิษของบอแรกซ์

ในปี ค.ศ. 1904 ได้มีรายงานการทดลองให้อาสาสมัครบริโภคกรดบอริคมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อวัน เป็นระยะเวลา 50 วันจะมีอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร รบกวนระบบย่อยอาหารและสุขภาพ ดังนั้นความเห็นที่ว่าสารโบรอนเป็นอันตรายต่อสุขภาพจึงมีน้ำหนักมากขึ้น ในทศวรรษของ 1950 สารโบรอนจึงมีการห้ามใช้เป็นสารถนอมอาหารในเกือบทั่วโลก (ปราณี, 2529)

Gosselin *et al.* (1984) ศึกษาและทดลองในคน โดยใช้อาสาสมัครชายจำนวน 12 คน รับประทานบอแรกซ์ เป็นเวลา 30 - 70 วัน โดยเริ่มจากการรับประทานวันละ 4 - 5 กรัม และลดปริมาณเหลือ 3 กรัมต่อวัน ต่อมาลดลงเหลือ 0.5 กรัมต่อวัน ผลจากการศึกษาปรากฏว่า อาสาสมัครเหล่านั้น มีอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร และในหนูทดลองปรากฏว่าหนูที่ได้รับบอแรกซ์หรือกรดบอริค ในปริมาณสูงๆ ติดต่อกันเป็นเวลานานๆ จะทำให้การเจริญเติบโตของหนูลดลง กินอาหารได้น้อย ผิวหนังที่ฝ่าเท้าและหลังลอก และถ้าให้บอแรกซ์ขนาด 1,750 – 5,250 ppm ในอาหารที่ให้หนูกิน 90 วันต่อเนื่อง จะมีผลทำให้อัณฑะฝ่อ การตกไข่ลดลง และถ้าให้บอแรกซ์ขนาด 1,000 – 2,000 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นานติดต่อกัน 60 วัน จะมีผลทำให้สเปิร์ม (sperm) ลดน้อยลง จากการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาฤทธิ์และพิษของแอลกอฮอล์ร่วมกับบอแรกซ์ ในน้ำดื่มของหนูที่มีการผสมแอลกอฮอล์ 20% ร่วมกับบอแรกซ์ 1.5% (1.1750 ppm) เป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่าหนูเหล่านั้นเกิดอาการรุนแรงถึงตาย และพบว่าหนูที่ได้รับบอแรกซ์เหล่านั้น มีโบรอนสะสมอยู่ที่ตับ ไต และสมอง

2.1.5 ขนาดของบอแรกซ์ที่เป็นอันตราย

ในปี พ.ศ. 2536 กระทรวงสาธารณสุข จึงได้ออก "ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร" ฉบับที่ 151 (พ.ศ. 2536) เมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537 เพราะพิษของบอแรกซ์นั้นมีผลต่อเซลล์ของร่างกายในมนุษย์เกือบทั้งหมดซึ่งจะมีความผิดปกติตั้งแต่ รุนแรงระดับน้อยจนไปถึงรุนแรงระดับมาก ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของบอแรกซ์ที่ร่างกายได้รับ

ความสามารถในการสะสมของบอแรกซ์ในอวัยวะต่างๆของร่างกายได้รับ และสะสมที่บริเวณกรวยไต ทำให้เกิดการอักเสบ โดยเฉพาะในเด็ก หากรับประทานเกิน 5 กรัม ในทีเดียวจะสามารถทำให้ตายได้ ส่วนผู้ใหญ่ถ้ารับในปริมาณที่มากกว่า 15 กรัม ในทีเดียวก็จะสามารถทำให้ตายได้เช่นกัน (วราภรณ์, 2542)

2.1.6 การขับถ่ายบอแรกซ์ออกจากร่างกาย

บอแรกซ์ที่เข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานนั้น จะถูกดูดซึมได้เกือบทั้งหมด ที่ทางเดินอาหาร การขับถ่ายส่วนใหญ่ถูกขับทางผ่านไตออกมากับปัสสาวะ มีส่วนน้อยเท่านั้นที่จะขับออกมาจากเหงื่อ ส่วนที่ถูกขับทิ้งผ่านทางไตนั้น จะใช้เวลาหลายวันกว่าจะขับถ่ายหมด ถึงแม้จะได้รับสารประกอบโบรอนเข้าไปเพียงครั้งเดียว โดยจะขับถ่ายได้มากที่สุดในช่วง 2-3 วันแรก และขับถ่ายออกจากร่างกายทางปัสสาวะใช้เวลานานมากกว่า 7 วัน จึงจะขับถ่ายหมด ถึงแม้จะได้รับสารเข้าไปเพียงครั้งเดียว (กรรณิการ์, 2530)

2.2 อินฟราเรดย่านใกล้ สเปกโทรสโกปี

2.2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโทรสโกปี

ในปีค.ศ. 1800 Sir William Herschel ได้ค้นพบพลังงานรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ย่านใกล้อินฟราเรด (infrared radiation) ว่าเป็นแสงที่ถัดอยู่จากแสงสีแดง และมีพลังงานที่สูงกว่า แต่เราไม่สามารถมองเห็นสเปกตรัม (spectrum) ได้ โดยเป็นพลังงานอย่างหนึ่งที่แตกต่างจากแสงธรรมดา คือความร้อนแผ่รังสี (radiant heat) และสเปกตรัมความร้อน (thermo metrical spectrum) (ศุมาพร, 2555)

ในปีค.ศ. 1949 กรมวิชาการเกษตรของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA) เริ่มต้นแผนงานการคัดเลือกไข่ โดย Karl Norris ได้เกี่ยวข้องโดยใช้แสงที่มองเห็นได้ (visible light) ในการตรวจสอบ (ศุมาพร, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 1980 ได้มีการพัฒนาสร้างเครื่อง NIR สเปกโทรมิเตอร์โดยสเปกตรัมของ NIR มีลักษณะกว้างเตี้ย (broad band) ซ้อนทับกัน (overlapping) และความเข้มต่ำ (low absorptivity) และในปีค.ศ. 1985 เครื่องมือ NIRS เริ่มมีหน่วยประมวลผล (microprocessors) หน่วยความจำ (memory) ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างสามารถเก็บข้อมูลแคลิเบรชั่น (calibration set) และใส่ข้อมูลได้มีประสิทธิภาพสูง และสามารถวิเคราะห์ผลได้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ในการใช้งาน เช่น การปรับให้เรียบ (smoothing) การปรับเทียบเส้นโค้ง (curve-fitting) การถดถอย (regression) (ศุมาพร, 2555)

จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1990 ได้มีการนำเทคนิคเคโมเมทริกซ์ (chemo metric) หรือการคำนวณทางสถิติในเชิงเคมี เข้ามาประมวลผล และจัดการข้อมูลสเปกตรัม NIR ทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ของช่วงคลื่นNIR (ศุมาพร, 2555)

2.2.2 สเปกโทรสโกปี (spectroscopy) (ศุมาพร, 2545)

สเปกโทรสโกปีเป็นวิชาการวัดและวิเคราะห์รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งสสารจะถูกดูดกลืนเข้าไปหรือเปล่งออกมา

2.2.2.1 รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation)

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีคุณสมบัติ 2 แบบ ได้แก่ คลื่น (wave) และอนุภาค (particle) คุณสมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าแบบคลื่น มีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดคลื่นไซน์ (sine wave) ประกอบด้วย 2 ส่วนที่ตั้งฉากกัน คือ ส่วนที่มีสมบัติไฟฟ้า (electric field) และ ส่วนที่มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก (magnetic field) ซึ่งมีระยะระหว่างยอดคลื่นที่อยู่ติดกันเรียกว่า "ความยาวคลื่น" คุณสมบัติที่เป็นคลื่นสามารถเกิดปรากฏการณ์เกี่ยวกับการสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) การเลี้ยวเบน (diffraction) หรือการกระเจิง (scattering)

2.2.2.2 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงลำดับแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดเริ่มตั้งแต่รังสีสูงสุดจนไปถึงคลื่นวิทยุที่มีพลังงานต่ำสุด (ตารางที่ 2.1)

2.2.3 การเกิดอันตรกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร (radiation interaction)

อะตอมหรือโมเลกุลเกิดอันตรกิริยากับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในรูปแบบต่างๆ (ตารางที่ 2.2) ซึ่งขึ้นกับพลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดอันตรกิริยา โดยพลังงานในช่วงรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า มีทั้งหมด 5 ช่วง และสามารถแสดงการใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงได้ (นิพนธ์, 2545) ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ลำดับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดในแถบสเปกตรัมโดยเรียงจากพลังงานสูงไปต่ำ

พลังงาน (kJ / mol)	เลขคลื่น (cm^{-1})	ความยาวคลื่น(nm)	ความถี่ (Hz)	ชนิดรังสี	ชนิดการเปลี่ยนแปลง
10^3 - 10^5	10^7 - 10^9	1 - 0.01	10^{17}-10^{19}	เอ็กซ์	อิเล็กตรอนวงใน
$3x10^2$ - 10^3	2,500 - 10^7	400 - 1	10^{14} - 10^{17}	อัลตร้า-ไวโอเลต	อิเล็กตรอนวงนอก
150 -$3x10^2$	12,500 - 25,000	800 – 400	$4x10^{14}$- $8x10^{14}$	วิสิเบิล	อิเล็กตรอนวงนอก
48 – 150	4,000 –12,500	2,500-800	10^{14}- $4x10^{14}$	อินฟราเรดย่านใกล้	การสั่นของโมเลกุล
< 10^{-5}	< 0.1	< 10^5	< $3x10^9$	คลื่นวิทยุ	เหนี่ยวนำแม่เหล็ก

ที่มา: ดัดแปลงจาก ศุมาพร (2555)

ตารางที่ 2.2 การแบ่งช่วงของรังสีอินฟราเรด

ช่วง	ความยาวคลื่น (nm)	จำนวนคลื่น (cm^{-1})	ย่านอันตรกิริยา
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	800 – 2,500	12,500 – 4,000	โอเวอร์โทน, คอมบิเนชั่น
อินฟราเรดย่านกลาง (MIR)	2,500 – 25,000	4,000 – 400	การสั่นแบบพื้นฐาน
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	25,000 – 100,000	400 - 10	การหมุน

ที่มา: นิพนธ์ (2545)

NIRS เป็นการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR radiation) กับสสาร คือ สสารที่โมเลกุลประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจน (X-H) อะตอม X ได้แก่ C, O, N, S ฯลฯ อันตรกิริยาดังกล่าว คือการที่โมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เข้าไปมีผลต่อการสั่นของพันธะต่างๆในโมเลกุล ระดับการดูดกลืนรังสีของสสารต่างๆ จะเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นต่างๆซึ่งจะปรากฏออกมาเป็นสเปกตรัม เพื่อนำไปทำการประมวลผลในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ (ศุมาพร, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 การใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	**ประโยชน์**
เอ็กซ์เรย์ (X-Ray)	ศึกษาการแทรนซิชั่นจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state) ในระดับพลังงานอิเล็กตรอน (electron energy level) ที่มีหมายเลขควอนตัมเป็น 1, 2 หรือ 3 เมื่อแต่ละธาตุเกิดการแทรนซิชั่นจะให้พลังงานออกมาเป็นค่าเฉพาะตัวซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของแต่ละธาตุ ส่วนความยาวคลื่นและความเข้มของรังสีที่ปลดปล่อยออกมานั้นจะใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์
อัลตร้าไวโอเลต-วิสิเบิล (UV – Visible)	ศึกษาการดูดกลืนรังสี อัลตร้าไวโอเลต-วิสิเบิล โดยโมเลกุลของตัวอย่าง การดูดกลืนแสงนี้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนตัวนอกสุด 1 ตัวถูกกระตุ้นให้เคลื่อนออกจากออร์บิทัลโดยสถานะพื้นไปยังสถานะถูกกระตุ้น การดูดกลืนจึงขึ้นกับโครงสร้างอิเล็กตรอนนของโมเลกุลเป็นสำคัญ
อินฟราเรดย่านใกล้ (NIR)	โมเลกุลที่ประกอบด้วย X-H, X=C, N, O,... สามารถเกิดอันตรกิริยากับรังสีทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นและ เปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นแบบข้ามขั้น สามารถใช้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงNIR ไปใช้เพื่อการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ
อินฟราเรดย่านกลาง (MIR)	ศึกษาการสั่นของโมเลกุล ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อหาหมู่ฟังก์ชั่น โดยพิจารณาจากค่าความถี่ของการสั่นของกรุ๊ปต่างๆ ที่มีความจำเพาะ
ไมโครเวฟ (microwave)	ใช้การศึกษาการหมุนของโมเลกุล โมเลกุลที่สามารถหมุนได้จะต้องมีโมเมนต์ขั้วคู่อย่างถาวร เช่น CO, HCl เมื่อโมเลกุลหมุนจะเกิดสนามไฟฟ้าที่ทำปฏิกิริยาร่วมกับส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟได้

ที่มา: ศุมาพร (2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 รูปแบบที่วัตถุมีปฏิกิริยาต่อแสงย่านใกล้อินฟราเรด

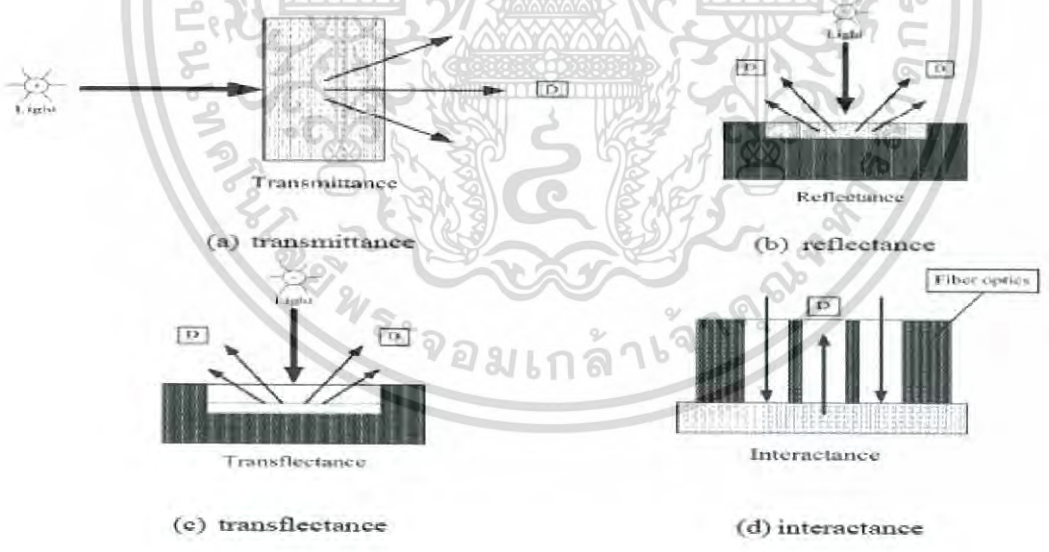
เครื่อง NIR spectroscopy จะทำการปล่อยแสงผ่านมาที่ตัวอย่าง แล้วจะเกิดการกระทำกับสารในตัวอย่างได้หลายรูปแบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดการวางตัวอย่างก่อนทำการวัดด้วย NIR เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณค่าที่เคมีที่สนใจ (ศุมาพร, 2545)

2.2.4.1 transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ส่องผ่านตัวอย่างในทิศทางตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ ดังภาพที่ 2.1 (a)

2.2.4.2 reflection เป็นการวัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของตัวอย่าง และรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างในส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างด้วย ดังภาพที่ 2.1 (b)

2.2.4.3 tranflection เป็นการวัดปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบลงบนตัวอย่าง แล้วผ่านตัวอย่างลงไปกระทบกับแผ่นรองเซรามิก ทอง หรืออะลูมิเนียม ที่อยู่ชั้นข้างใต้สุด แล้วสะท้อนกลับมายัง detector ดังภาพที่ 2.1 (c)

2.2.4.4 interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe ซึ่งแสงเกิดจากแหล่งกำเนิดย่านใกล้อินฟราเรด ส่องผ่านมายังที่ตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก จากนั้นแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างนั้นจะถูกส่งไปยังบริเวณของ detector ที่บริเวณส่วนกลางของ fiber optics probe ดังภาพที่ 2.1 (d)



ภาพที่ 2.1 รูปแบบการวัด (a) transmittance, (b) reflectance, (c) transflectance และ (d) interactance

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kawano (2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

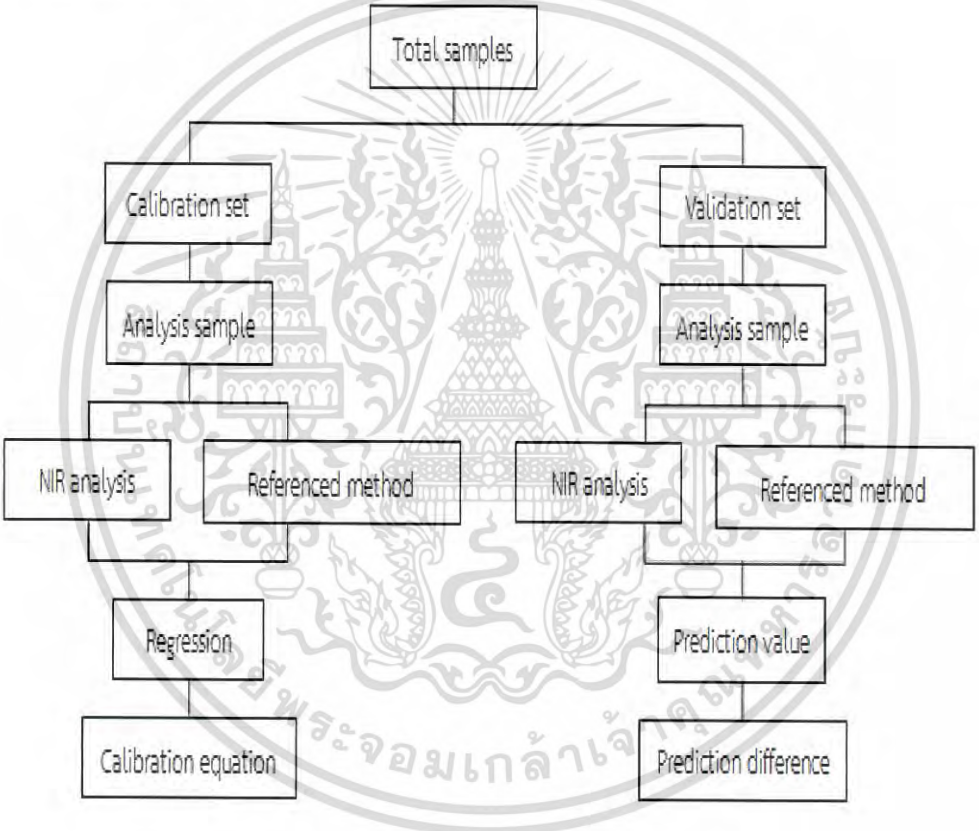
2.2.5 ข้อได้เปรียบของการใช้เทคนิค NIRS (วารุณี, 2545)

2.2.5.1 เป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง รวมทั้งวิธีการเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยาก และใช้ตัวอย่างในปริมาณน้อย

2.2.5.2 เป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ประหยัดระยะเวลา มีความเชื่อถือได้และมีความปลอดภัยสูง

2.2.5.3 เป็นวิธีที่สามารถใช้ทดแทนการวิเคราะห์ทางเคมีได้ และในระยะยาวสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ อีกทั้งยังไม่ใช้สารเคมีในการเตรียมตัวอย่าง จึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.5.4 ในการวัดสเปกตรัมแต่ละครั้งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อทำนายค่าต่างๆ ได้หลายค่าในเวลาเดียวกัน



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล NIRS

ที่มา: Kawano *et al.* (1992)

2.2.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล near infrared spectra

ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ในการทำนาย (calibration set) และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา (validation set) โดยการสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายนั้นทำเพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการทราบ และจะต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำ calibration นั้นมาทำการตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของสมการ เมื่อได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงนำสมการไปใช้ทำนายคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาจากสเปกตรัม NIR ที่ทำการวัดออกมาได้ (ภาพที่ 2.2) โดยที่กลุ่มตัวอย่างที่ดีจะต้องมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์อย่างเพียงพอ (Kawano *et al.*, 1992)

ซึ่งจะต้องมีการสุ่มตัวอย่างเนื่องจากในการสุ่มตัวอย่างนั้นถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการที่จะได้สมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ดี ทำให้ค่าผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบลดลง ซึ่งจะเป็นวิธีมาตรฐานและมีความแม่นยำ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด เนื่องจากมันจะส่งผลกระทบต่อสมการที่สร้างขึ้น (Kawano, 2002)

2.2.7 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ (อนุพันธ์, 2545)

2.2.7.1 การหาค่าเฉลี่ย (mean)

เป็นการนำสเปกตรัมหลายๆ สเปกตรัมที่ได้จากการสแกนมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำระหว่างการวัดสเปกตรัมจากเครื่องมือเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นจากความร้อนของอุปกรณ์ตรวจวัดรวมถึงจำนวนครั้งที่ใช้ในการสแกนขึ้นอยู่กับการใช้งาน

2.2.7.2 การปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล (centering)

เป็นการทำให้ค่าเฉลี่ยหรือค่าศูนย์กลางของข้อมูลทั้งหมดเท่ากันเป็นศูนย์ ซึ่งจะส่งผลให้การวิเคราะห์เป็นการใช้ความแปรปรวนรอบๆ ค่าเฉลี่ยเท่านั้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะเป็นการช่วยในการแปรผลทำได้ในเชิงเปรียบเทียบ

2.2.7.3 การทำให้เป็นค่ามาตรฐาน (standardization)

เป็นการทำให้ค่ามาตรฐานที่เป็นค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆมาหารด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น ผลที่ได้คือจะทำให้ความแปรปรวนของสเปกตรัมที่ทุกๆ ความยาวคลื่นนั้นมีค่าเท่ากับ 1 หรืออาจทำให้ตัวแปรในโมเดลนั้นๆ มีค่าเท่ากันทั้งหมด ซึ่งนิยมใช้ในกรณีที่มีหลายตัวแปร

2.2.7.4 การลดสัญญาณรบกวน

โดยเครื่องมือทั่วไปที่ใช้สำหรับการวัดสเปกตรัมของรังสีย่านใกล้อินฟราเรดจะถูกออกแบบให้มีความคลาดเคลื่อนต่ำในการวัดค่า log (1/R) และค่าความยาวคลื่น ซึ่งบางครั้งอาจเกิดจากสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงหรือสาเหตุอื่นๆ ที่สามารถส่งผลทำให้สเปกตรัมไม่เรียบ

นอกจากวิธีทางคณิตศาสตร์แล้วยังมีวิธีอื่นอีกที่นิยมใช้ คือการเฉลี่ยเคลื่อนที่ (running mean smooth or n-point smooth), การปรับเรียบแบบซาวิตซ์กีโกเลย์ (savitzky – golay smooth)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

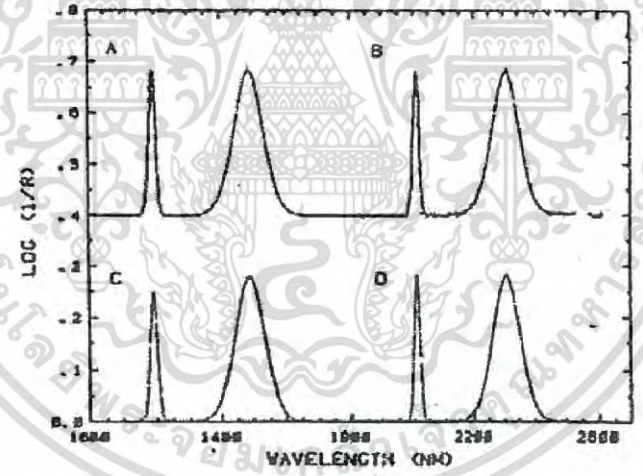
2.2.7.5 การเฉลี่ยเคลื่อนที่ (running mean smooth or n - point smooth)

เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดโดยใช้หลักการการแทนที่ค่า log (1/R) เริ่มต้นในแต่ละจุดหรือในแต่ละความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่า log (1/R) ที่ทำการคำนวณในช่วงของความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วงอยู่ตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ ซึ่งจำนวนของจุดคือ n = 2m + 1 โดยที่ m คือจำนวนของจุดทั้งสองด้านของจุดกึ่งกลาง วิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่จะทำให้ค่า log (1/R) ของสเปกตรัมมียอดที่แหลม (narrow peak) แต่ส่วนสเปกตรัมยอดมีฐานกว้างเท่าเดิม

2.2.7.6 การปรับเรียบแบบซาวิตซ์กีโกเลย์ (savitzky – golay smooth)

เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับการทำให้สัญญาณสเปกตรัมเรียบ ซึ่งจะเลือกใช้ในกรณีที่ ข้อมูลมีสัญญาณรบกวนมากๆ, ต้องการทำให้สัญญาณเรียบและยังต้องคงรูปร่างของสเปกตรัมเริ่มต้นไว้, เมื่อรูปร่างของสเปกตรัมเหล่านั้นมียอดแหลมเป็นจำนวนมาก

โดยหลักการนี้เริ่มต้นด้วยการ กำหนดให้จำนวนข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นเหมือนกับวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่ (n = 2m + 1) จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัม log (1/R) มาทำการกำหนด least square เพื่อให้ได้สมการที่มีความต่อเนื่อง และสามารถเป็นข้อมูลตัวแทนของบริเวณดังกล่าวได้



ภาพที่ 2.3 ผลของการเฉลี่ยเคลื่อนที่ และ savitzky-golay smooth ที่มีต่อยอดของสเปกตรัม
A คือ สเปกตรัมเริ่มต้น B คือ สเปกตรัมที่มีสัญญาณรบกวน C คือ สเปกตรัมที่ผ่านการเฉลี่ยเคลื่อนที่ D คือ สเปกตรัมที่ผ่านการทำให้เรียบด้วย savitzky-golay
ที่มา: Hruschka, (1987)

2.2.8 เทคนิคการลดผลกระทบปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม (อนุพันธ์, 2545)

2.2.8.1 การแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ (derivative transformation)

1. อนุพันธ์อันดับ 1 (first derivative)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการหาความชันของสเปกตรัมสามารถช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าที่เพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือจากการเคลื่อนตัวของสเปกตรัมในแกน Y อันเนื่องมาจากอิทธิพลของความชื้นที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบ และขนาดของอนุภาคที่ความแตกต่างกัน ซึ่งการทำ first derivative จะทำให้การแปลความหมายนั้นได้ยาก จึงทำให้หันมาใช้วิธี second derivative มากกว่า first derivative ซึ่งจะนิยมใช้กับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอกันและมีความกระจายตัวของอนุภาคอย่างทั่วถึง

$$\textit{first derivative} = \textit{slope}$$

$$\textit{first derivative} = B - A \qquad (2.1)$$

โดยที่ A และ B เป็นค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของเซกเมนต์ (segments) ที่มีช่วงเท่ากันและอยู่ติดกัน

2. อนุพันธ์อันดับ 2 (second derivative)

เป็นการทำการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัม ซึ่งสเปกตรัมที่ได้นั้นจะมีรูปร่างที่ต่างไปจากสเปกตรัมเริ่มต้น ซึ่งในการหาการเปลี่ยนแปลงของความชัน สามารถแยกจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันอยู่ได้ และสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีนี้ จะมีจุดยอดที่มีค่าเป็นบวกในด้านซ้ายและด้านขวา ส่วนจุดยอดตรงกลางจะอยู่ด้านตรงข้ามที่มีค่ามากที่สุดและบริเวณตรงกับจุดยอดเริ่มต้น ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมนั้นสามารถแยกจุดยอดของสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนกันของสเปกตรัมเริ่มต้นได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีนี้ จึงเป็นวิธีที่นิยมมากกว่าวิธี first derivative

$$\textit{second derivative} = \textit{change in slope}$$

$$= \textit{first derivative แรก} - \textit{first derivative ถัดมา}$$

$$= (B - A) - (C - B)$$

$$\textit{second derivative} = 2B - A - C \qquad (2.2)$$

โดยที่ A, B และ C เป็นค่าเฉลี่ยของเซกเมนต์ที่อยู่ติดกันและมีช่วงเซกเมนต์ที่เท่ากัน

3. การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative correction, MSC)

เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อลดผลที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattered light) ต่อสเปกตรัม NIR ที่ได้จากการสะท้อนแพร่ (diffuse reflectance) และแบบส่องผ่าน (transmittance) MSC ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้สามารถลดผลกระทบแบบผลคูณ (multiple effect) ได้ด้วย หรือผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงให้เท่ากันตลอดช่วงของความยาวคลื่น วิธีการคือการหมุนสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย ภาพที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงถึงตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันก่อนทำการปรับแก้ด้วย MSC และ ภาพที่ 2.5 แสดงถึงตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคหลังทำการปรับแก้ด้วย MSC

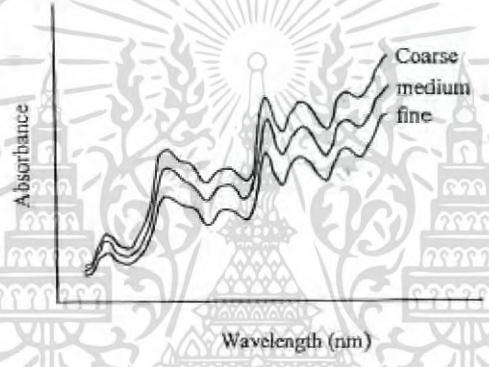
$$X_{iw} = a_i + b_i x_w \qquad (2.3)$$

โดยที่ X_{iw} = ค่า log (1/R) ของตัวอย่างคลื่น W ของตัวอย่างที่มี p ความยาวคลื่น

X_w = ค่าเฉลี่ย log (1/R) ที่มีความยาวคลื่น w ของตัวอย่างทั้งหมด

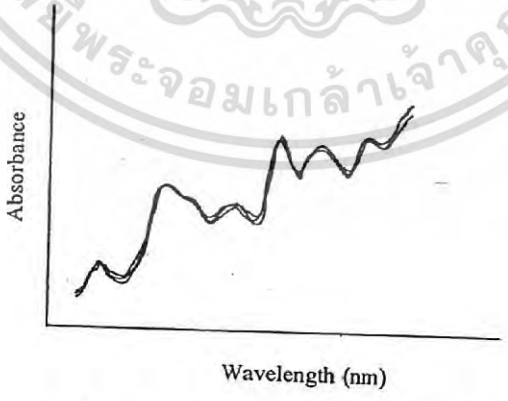
W = 1,....,p

a_i และ b_i = ค่าคงที่สำหรับสมการความถดถอยของตัวอย่าง i



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ก่อนทำการปรับแก้ด้วย MSC

ที่มา: อนุพันธ์ (2545)



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาค หลังทำการปรับแก้ด้วย MSC

ที่มา: อนุพันธ์ (2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8.2 วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานและการปรับแนวโน้ม (standard normal viriate, SNV และ detrending)

การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (SNV) เป็นวิธีที่มักจะใช้คู่กับการปรับแนวโน้มของเส้นสเปกตรัม (detrending) โดยใช้การปรับแก้ด้วย SNV แล้วจึงตามด้วยการปรับแก้แนวโน้มหรือการลดความโน้มเอียงของเส้นสเปกตรัม ทั้งนี้ก็เพื่อปรับแก้ผลที่เกิดจากการกระเจิงแสงที่มักจะส่งผลเป็นแบบผลคูณต่อค่าการดูดกลืนแสง โดยผลจากการปรับแก้จะคล้ายกับวิธีการปรับแก้แบบ MSC ส่วนวิธีการปรับแนวโน้มนี้จะใช้ต่อจากวิธี SNV เพื่อทำการปรับแก้เพิ่มเติม โดยจะเป็นวิธีที่ลดความแปรปรวนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของเส้นสเปกตรัม (baseline shift) แต่โดยทั่วไปแล้วการปรับแบบวิธี SNV อย่างเดียวก็เพียงพอ

$$A_{i(SNV)} = \frac{(A_i - a_i)}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{p}(A_{i,j} - a_i)^2}{(p-1)}}} \qquad (2.4)$$

โดยที่ $A_{i,j}$ คือ ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น j (ความยาวคลื่นมีทั้งหมด p ความยาวคลื่น) ของตัวอย่าง i และ a_i คือ ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงตลอดช่วงสเปกตรัมของตัวอย่าง i

2.2.8.3 การปรับเป็นค่ามาตรฐาน (normalization)

โดยทั่วไปจะเป็นการปรับแก้กลุ่มของสเปกตรัมเพื่อให้ได้สเปกตรัมที่มีจุดสำคัญให้เด่นชัดขึ้น และเป็นการกำจัดความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆที่เราไม่ต้องการออกไป ซึ่งช่วยให้เราสามารถศึกษาทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมกับค่าวิเคราะห์ทางเคมี หรือจะเป็นการลดความซับซ้อนของมูลค่าซึ่งจะช่วยให้การนำข้อมูลของสเปกตรัมไปทำสมการเปรียบเทียบ (calibration equation) ได้ง่ายยิ่งขึ้น

2.2.8.4 การปรับแต่งด้วยวิธี smoothing

เป็นการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ที่มีการแทนค่าดูดกลืนแสงแต่ละความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของความยาวคลื่นที่ตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ จากนั้นมีการเลื่อนช่วงไปหนึ่งความยาวคลื่น แล้วทำการคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงของความยาวคลื่น จึงสามารถช่วยลดปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสงได้ โดยจะได้สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมเดิมแต่จะมีความเรียบและความสม่ำเสมอมากกว่าเดิม

2.2.9 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ

2.2.9.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; R) คือ ค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) หากมีค่า R เข้าใกล้ 1 หรือมีค่าเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงว่า สมการที่สร้างขึ้นนั้นสามารถนำมาใช้อธิบายค่าทำนายที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) กับค่าของตัวแปรตาม (Y) ที่มีความสัมพันธ์กันมาก

2.2.9.2 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (standard error of calibration; SEC) คือค่าที่บอกถึงสมการที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถนำไปใช้ในการทำนายต่อไปได้ดีหรือไม่ และในการค่าที่คำนวณออกมาได้นี้ควรมีค่าน้อยๆ

2.2.9.3 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (standard error of prediction; SEP) คือ ค่าที่บอกถึงการนำเอาสมการที่สร้างขึ้นนั้นมาทำนายปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากเครื่อง NIR ซึ่งจะมีความแม่นยำสูงหรือต่ำนั้น ต้องดูค่า SEP นี้ได้จากการคำนวณ ซึ่งถ้ามีค่าน้อยๆ แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นนี้มีความแม่นยำสูง

2.2.9.4 ค่าเฉลี่ย (mean) คือ การนำค่าของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIR (average of difference between actual value and NIR value; bias) คือ ค่าเฉลี่ยของการทำนายข้อมูลที่ตัวแปรตาม (Y) เทียบกับค่าเฉลี่ยข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X) นั้นมีความแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งจากการคำนวณควรมีค่าน้อยๆ

2.2.9.5 อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม (validation set ต่อค่า SEP (ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP; RPD) คือ ค่าของสัดส่วนระหว่างค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายได้จาก NIR กับค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์จริง ซึ่งค่า RPD ที่ดีที่ได้จากการคำนวณควรจะต้องมีค่าสูงๆ

2.2.10 วิธีการสร้างสมการ calibration (ศุมาพร, 2545)

2.2.10.1 wavelength selection

เป็นการเลือกความยาวคลื่นเฉพาะซึ่งเป็นตัวแปรอิสระให้สัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามนั้น โดยทำการพิจารณาจากข้อมูลทางสถิติ คือ Simple linear regression (SLR) และ multiple linear regression (MLR)

2.2.10.2 full spectrum method

เป็นการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่นทั้งหมดในสเปกตรัม (full spectrum) มาสร้างสมการโดยทำการลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) และสร้างตัวแปรกลุ่มใหม่ขึ้นมา วิธีทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่ principle component regression (PCR) และ partial least square regression (PLSR)

2.2.11 วิธีการทดสอบสมการ (Validation test) (ศุมาพร, 2545)

เมื่อได้สมการ calibration มาแล้วจะต้องนำสมการที่ได้นั้นมาทวนสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของสมการว่าสามารถใช้งานได้จริง สามารถนำมาใช้ในการประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใด ซึ่งวิธีที่นิยมใช้มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.11.1 full cross validation วิธีนี้เป็นการทำการทดสอบในลักษณะทดสอบภายใน (internal validation) ซึ่งจะวัดดูค่า RMSECV (root mean square error of cross validation) เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการประเมินโดยการใช้สมการ calibration กับค่าที่วิเคราะห์ได้ (measured value or true value) ถ้ามีค่าแตกต่างกันน้อย แสดงว่าสมการ calibration ที่ใช้นั้นมีประสิทธิภาพเป็นค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งในการใช้วิธี Full cross calibration นิยมใช้กับวิธีการวิเคราะห์โดยวิธี PLSR และไม่นิยมใช้กับวิธีวิเคราะห์โดยวิธี MLR เนื่องจากวิธี MLR นั้นเป็นวิธีที่ใช้ตัวอย่างมากๆ เพราะผลที่ได้ออกมาอาจจะไม่ถูกต้อง

2.2.11.2 การทดสอบผลประเมิน (prediction testing) วิธีนี้เป็นการทดสอบโดยการนำกลุ่มตัวอย่างชุดใหม่ (external validation) มาประเมินค่าจากสมการ calibration ที่ได้ โดยตัวอย่างชุดใหม่นั้นนำมาวิเคราะห์ต้องมีการเตรียมตัวอย่างและมีการวัดสเปกตรัมในสภาวะการทดลองเหมือนกัน รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของสเปกตรัมจะต้องเหมือนกับกลุ่ม calibration set มีข้อควรระวังคือ ตัวอย่างในกลุ่มใหม่นี้จะต้องมีค่าที่ต้องการประเมินต้องอยู่ในช่วงของกลุ่ม calibration set การทดสอบในลักษณะนี้มีวิธีการคือ นำตัวอย่างกลุ่มใหม่มาวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการ เช่น ค่าโปรตีนโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ reference methods แทนค่าข้อมูลชุด x และนำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRS จากนั้นนำค่าที่ได้ไปแทนที่ในสมการ calibration แทนที่ด้วยข้อมูลชุด y นำผลที่ได้จากทั้งสองวิธีมาพิจารณาเปรียบเทียบโดยมีค่าทางสถิติที่ใช้วัดคือค่า SEP (standard error of prediction) หรือค่า RMSEP (root mean square error of prediction) และ bias ซึ่งค่าทางสถิติเหล่านี้จะบอกถึงประสิทธิภาพของสมการ calibration ถ้าผลการทพนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับผลที่อ้างอิง และให้ค่าทางสถิติที่ดี แสดงว่าสมการที่ใช้ในการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีนั้นยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ทำนายในตัวอย่างต่อไปได้อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การพิจารณาค่า R และ R^2

Value of R	Value of R^2	Interpretation
Up to ± 0.5	0.5 Up to 0.25	Not usable in NIRS calibration
±0.51 to 0.7	0.26 to 0.49	Poor correlation, research the reasons
±0.71 to 0.8	0.50 – 0.64	Rough screening
±0.81 to 0.9	0.66 to 0.81	Screening and approximate calibration
±0.91 to 0.95	0.83 to 0.90	Usable with caution for most applications, including research
±0.96 to 0.98	0.92 to 0.96	Usable in most applications, including quality assurance
±0.99 >	0.98>	Usable in any application

ที่มา: Williams (2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.12 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRS

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเทคนิค NIR คือ ปัจจัยเกี่ยวกับเครื่องมือ ปัจจัยเกี่ยวกับตัวอย่าง และปัจจัยที่เกี่ยวการปฏิบัติของเจ้าหน้าที่ แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRS

ปัจจัยเกี่ยวกับเครื่องมือ	ปัจจัยเกี่ยวกับตัวอย่าง	ปัจจัยเกี่ยวกับการปฏิบัติของเจ้าหน้าที่
มาตราส่วนความยาวคลื่น	องค์ประกอบทางเคมี	การสร้างสมการแคลิเบรชั่น
ระดับความเข้มแสง	ความหนาแน่น	การเตรียมตัวอย่าง
การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องมือ	ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง	การเก็บรักษาตัวอย่าง
ฝาปิดหรือชิ้นส่วนที่ใช้ปิดอุปกรณ์ที่ใส่ตัวอย่าง	ปัจจัยเสริมที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ	การบรรจุตัวอย่างในอุปกรณ์ใส่ตัวอย่าง
ความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิของตัวอย่าง	
ความไม่คงที่ของเครื่องมือต่อเครื่องมือ	อุณหภูมิห้อง	
การปรับแต่งสัญญาณทางคณิตศาสตร์	แฟกเตอร์สำหรับการแปรผัน	

ที่มา: ดัดแปลงจากวารุณี และ ศุมาพร (2555)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bechmann and Jorgensen (1998) ได้ประยุกต์ใช้ NIR diffuse reflectance สแกนปลาคอดแช่แข็งจำนวน 115 ตัวอย่าง ที่ผ่านการละลายน้ำแข็งโดยสแกนผ่านผิวหนังของปลา ใช้เทคนิค principal component analysis (PCA) ในการลดจำนวนตัวแปรสเปกตรัมลดลงเหลือ 459 ตัวแปร แล้วนำไปสร้างสมการทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมี 4 พารามิเตอร์ได้แก่ water holding capacity, Total volatile basic nitrogen, Formaldehyde และ Di-methylamine พบว่าสมการที่ได้มีความถูกต้องเทียบเท่ากับการใช้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงแบบไม่ลดจำนวนตัวแปร โดยพบว่าปริมาณน้ำในน้ำเนื้อปลาส่งผลต่อความถูกต้องในการทำนายองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ

Nilsen and Esaiassen (2005) ใช้ VIS- NIR spectrometer ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงและค่าแสดงความสดของเนื้อปลา ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่าความสด (freshness) ของเนื้อปลาจะใช้การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความสด เรียกวิธีนี้ว่า quality index method (QIM) โดยคะแนนที่ได้เรียกว่า QIM score อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่าวิธีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสนั้นมีค่าใช้จ่ายสูง และอีกทั้งยังต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้นั้นก็มีความแปรปรวนเนื่องจากหลายตัวแปร เช่น ผู้ทดสอบ ตัวอย่าง สภาพแวดล้อม งานวิจัยฉบับนี้จึงได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิค NIR สามารถใช้ในการทำนายค่า QIM score ได้

Lu *et al.*, (2009) ทำการตรวจหาสารเมลามีนบริสุทธิ์ในนมผง โดยการใช้ NIRS และใช้หลักการพื้นฐานของ least squares-support vector machine (LS-SVM) และใช้ PLS-DA ช่วยในการจัดแบ่งกลุ่ม (PC) ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยคะแนนข้อมูลใน 2 กลุ่มแรกถูกนำมาใช้ในใส่ใน LS- SVM ดังนั้นเมื่อนำมาเทียบกับ PLS - DA จะเห็นว่าประสิทธิภาพการทำงานของ LS - SVM นั้นดีกว่า มีความแม่นยำสูงถึง 100 % ทั้งในกลุ่มทดสอบ (training set) และกลุ่มปฏิบัติใช้งาน (testing set) ซึ่งในการตรวจสอบหาสารเมลามีนบริสุทธิ์ในนมผง สามารถหาได้ในปริมาณที่ต่ำกว่า 1 ppm สรุปได้ว่า NIRS ร่วมกับการวิเคราะห์ LS- SVM เป็นวิธีการที่รวดเร็วและแม่นยำสามารถใช้การตรวจหาเมลามีนบริสุทธิ์ในนมผง

Kapper *et al.*, (2012) ทำการศึกษาทำนายคุณภาพของเนื้อหมูด้วยเทคโนโลยี NIRS ในห้องแลป โดยมีตัวอย่างซี่โครงหมูทั้งหมด 131 ตัวอย่าง โดยทำการสร้างสมการทำนายจาก % การสูญเสียน้ำในตัวอย่างเนื้อหมู, ค่าสี (L*, a*, b*), และค่ากรด-ด่างที่สูง สำหรับสมการที่ใช้การทำนายมีแสดงถึงซี่โครงหมูมีคุณภาพที่ดีนั้นได้ ค่า $R^2 > 0.70$ และค่า residual prediction deviation (RPD) ≥ 1.9 สำหรับ % การสูญเสียน้ำในตัวอย่างเนื้อหมู สมการที่ได้ มีค่า $R^2 = 0.73$ และ RPD = 1.9 และ มีการจัดกลุ่มทำ calibration set 76% จากตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งค่าสี L* (R^2 0.75 และ RPD 2.0) ค่าสี a* (R^2 0.51 และ RPD 1.4) ค่าสี b* (R^2 0.55 และ RPD 1.5) และค่ากรด-ด่างที่สูง (R^2 0.36 และ RPD 1.3) จากค่าที่ได้จากสามารถทำให้สรุปสมการทำนายว่า % การสูญเสียน้ำในตัวอย่างเนื้อหมู และ ค่าสี L* สามารถใช้ในการทำนายคุณภาพซี่โครงหมูได้

Balage *et al.* (2015) ทำการทำนายคุณภาพเนื้อหมูโดยการใช้ Visible และ near infrared reflectance spectroscopy (Vis/NIRS) ใช้ในการทำนาย ค่ากรด - ด่างที่สูง, ค่าสี, ไขมันในกล้ามเนื้อ และแรงตัดจากเนื้อหมูตัวอย่าง และสร้างการคัดแยกให้สามารถแยกความนุ่มเนื้อกับความชุ่มฉ่ำน้ำในเนื้อ โดยสเปกตรัมที่ใช้อยู่ในช่วง 400 – 1495 nm โดยมีตัวอย่างทั้งหมด 134 ตัวอย่าง ใน 1 ตัวอย่างมีข้อมูล 200 ข้อมูล โดยแบ่ง 67 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมด ให้เป็นกลุ่ม calibration set และอีก 33 % เป็นกลุ่ม validation set และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ PLS (partial least squares) ในการพัฒนาแต่ละคุณสมบัติที่เป็นลักษณะเด่น ซึ่งค่า R^2 และ RPD ที่ได้จากการคำนวณใช้เป็นการหาความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการทดสอบ โดยค่ากรด – ด่างที่สูง และค่าสี สามารถใช้ในการพัฒนาการทำนายคุณภาพคุณสมบัติของตัวอย่างเนื้อหมูได้ด้วย VIS/NIRS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 เนื้อหมูที่ผ่านการผสมปรุงรสเป็นเนื้อหมูแบตเตอร์ ขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัม ยี่ห้อบีเอ็มฟู้ด, บีเอ็ม พรีเมียมฟู้ด จำกัด, นนทบุรี

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 ช้อนตักสาร

3.1.2.2 เตาแก๊ส

3.1.2.3 ถุงซิปล็อค ขนาด 7 x 10 เซนติเมตร

3.1.2.4 กระชอน และถาดอะลูมิเนียม

3.1.2.5 หม้อต้มลูกชิ้น

3.1.2.6 แม่พิมพ์หัวลูกชิ้น (โรงกลึงจงเฮง, Thailand)

3.1.2.7 บีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.1.2.8 เทอร์โมมิเตอร์ปรอทสีแดง 100°C

3.1.2.9 หัววัด P/5S , ฐานเรียบ (Stable Micro System, UK)

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 $Na_2B_4O_7 : 10\ H_2O$ (Disodium tetra borate decahydrate) (Dalian, China)

3.1.4 เครื่องมือ

3.1.4.1 เครื่องปั้นลูกชิ้น (โรงกลึงจงเฮง, Thailand)

3.1.4.2 thermometer infrared (Dwyer, U.S.A.)

3.1.4.3 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (Denver instrument TB-214)

3.1.4.4 hot plate (Teba, Comfoeta, Thailand)

3.1.4.5 water bath รุ่น T22LAS (Tomas Kagaku, Japan)

3.1.4.6 เครื่อง short wave length near infrared spectroscopy (Unity, Spectra 2500, U.S.A.)

3.1.4.7 เครื่อง texture analyzer รุ่น TA-XT Plus (Stable Micro System, UK)

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

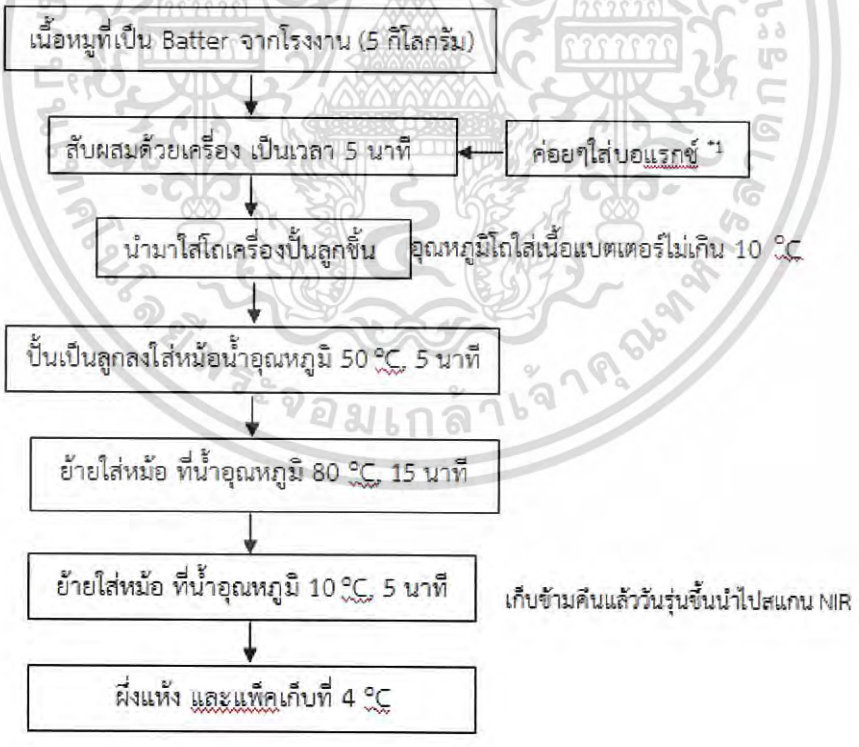
3.1.4.9 โปรแกรม Exponent® Version 6.4.1.0 (Stable Micro System, UK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 เตรียมผลิตตัวอย่างลูกชิ้นหมู

เริ่มจากการประกอบเครื่องปั้นลูกชิ้น โดยใส่แม่พิมพ์ปั้นลูกชิ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส ที่โถเครื่องปั้นลูกชิ้น จากนั้นนำเนื้อหมูที่เป็นแบตเตอร์ (คือ เนื้อหมูที่ผ่านการปรุงรสมาแล้ว) 5 กิโลกรัม สับผสมด้วยเครื่องสับผสมใหญ่ 2 นาที เพื่อให้เนื้อแบตเตอร์มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ใส่สารบอแรกซ์ตามที่กำหนด (50 ppm ใส่ 0.0250 กรัม/ 5 กิโลกรัม, 100 ppm ใส่ 0.0500 กรัม/ 5 กิโลกรัม, 300 ppm ใส่ 1.5000 กรัม/ 5 กิโลกรัม และไม่ใส่สารบอแรกซ์) และปั่นผสมต่อ 3 นาที เพื่อทำให้สารบอแรกซ์นั้นกระจายทั่วถึงเนื้อแบตเตอร์ ตั้งน้ำอุ่น 2 หม้อ หม้อที่ 1 กำหนดให้มีน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (±2) ซึ่งหม้อนี้มีไว้เพื่อในการเซ็ตเจลของลูกชิ้น เมื่อเครื่องปั้นลูกชิ้นออกมาให้หย่อนลูกชิ้นหมูลงในหม้อนี้ แช่นานประมาณ 5 นาที และหม้อที่ 2 กำหนดให้น้ำมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (±5 องศาเซลเซียส) ลงในหม้อแช่นานประมาณ 15 นาที ซึ่งหม้อนี้มีไว้เพื่อทำให้ลูกชิ้นหมูสุก จากนั้นย้ายลูกชิ้นหมูไปทำให้เย็น (cool down) ในหม้อที่มีน้ำอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แช่ไว้ประมาณ 5 นาที จากนั้น ผึ่งแห้งและทำการบรรจุใส่ถุงซีลให้เรียบร้อย เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.1) และในวันรุ่งขึ้นนำไปสแกนด้วยเครื่อง short wave length near infrared spectroscopy



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตลูกชิ้นหมูที่ใส่และไม่ใส่สารบอแรกซ์

*1 กำหนดปริมาณสารบอแรกซ์ตามความเข้มข้น 50 ppm (0.0250 g.), 100 ppm (0.0500 g.), 300 ppm (1.5000 g.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วัดค่าการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

การวัดการดูดกลืนพลังงานด้วยเครื่อง short wave length near infrared spectroscopy, reflectance mode (Unity, Spectra 2500, U.S.A.) ช่วงความยาวคลื่น 680 – 2,500 นาโนเมตร โดยการวัดระบุตำแหน่งทำ 2 ด้าน โดยให้เป็นมุม 180 องศากันทั้ง 2 ด้านที่อุณหภูมิเดียวกัน (กำหนดอุณหภูมิลูกชิ้นหมูขณะทำการสแกน NIRS คือ 20 องศาเซลเซียส, 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส)

ในการให้อุณหภูมิแก่ลูกชิ้นหมูที่ 20 องศาเซลเซียส, 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียสนั้น โดยการใช้ water bath ในการคุมอุณหภูมิ และใช้ thermometer infrared ในการวัดอุณหภูมิก่อนทำการวัดดูดกลืนแสง

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

3.2.3.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

การแบ่งกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์

กำหนดให้ ค่าความยาวคลื่นเป็นตัวแปรต้น (x) และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่บอแรกซ์และไม่ใส่บอแรกซ์เป็นตัวแปรตาม (y)

1. กำหนดกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (control) คือ 0 และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ คือ 1 โดยจำนวนของกลุ่ม control 54 ตัวอย่าง และจำนวนกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์คือ 162 ตัวอย่าง

2. แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มโดยกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (prediction set) โดยแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลเท่าๆกัน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม calibration set เป็นจำนวนไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์และแบ่งเป็นกลุ่ม prediction set เป็นจำนวนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

3. นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยที่ได้ของแต่ละตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการทำ pretreatment ข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีการต่างๆและสร้างสมการเพื่อใช้ในการคัดแยก

4. ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี partial least squares – discriminant analysis (PLS-DA) โดยเลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการพิจารณา ที่ค่า R (coefficient of correlation) ให้มีค่าสูงสุด, RMSECV (root mean square error of cross validation) ต้องมีค่าต่ำที่สุด และพิจารณาจาก factor ที่มีค่าต่ำที่สุดด้วยเช่นกัน

5. จากข้อมูลกลุ่ม calibration เมื่อได้สมการ calibration มาให้นำสมการที่ได้ไปใช้ในการคัดแยกตัวอย่างในกลุ่ม Prediction set เพื่อดูความแม่นยำของ สมการโดยใช้โปรแกรม The Unscambler (version 9.7, Camo, Oslo, Norway)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

การวัดเนื้อสัมผัสในลูกชิ้นหมู

กำหนดให้ ค่าความยาวคลื่นเป็นตัวแปรต้น (x) และค่าtexture ที่วัดได้เป็นตัวแปรตาม (y)

1. ตั้งโปรแกรม เครื่อง texture analyzer การวัด texture แบบ return to start, distance = 1.00 mm, หัวที่ใช้วัด: P/5S
2. กำหนดอุณหภูมิลูกชิ้นหมูในการวัดเนื้อสัมผัส

ทำให้ลูกชิ้นหมูให้ได้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีใส่ถุงซิปล็อค พร้อมแช่ในน้ำแข็ง ส่วนอุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส แช่ใน Hot plate จากนั้นวัดอุณหภูมิลูกชิ้นหมูด้วยเครื่อง thermo infrared โดยการวัดระบุตำแหน่งทำ 2 ด้าน โดยให้เป็นมุม 180 องศากันทั้ง 2 ด้าน โดยที่ 2 ด้าน วัดต่อ 1 อุณหภูมิ

3. การอ่านค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมู (gel strength)

นำค่าที่เครื่อง texture analyzer อ่านได้คือค่า breaking force จากนั้นนำมาหารระยะที่หัวโพรบกดลงบนตัวอย่าง (1 มิลลิเมตร) จะทำให้ได้ค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูหรือ gel strength (Yongsawatdigul *et al.*, 2002) ดังสมการ (3.1) จะได้ค่าความยืดหยุ่น มีหน่วยเป็น g/cm

$$\textit{Gel strength (g/cm)} = \textit{Breaking force (g)} / \textit{Distance (cm)} \qquad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การสร้างสมการในการคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์

ในการสร้างสมการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) โดยการผลิตลูกชิ้นทั้งหมด 648 ตัวอย่าง โดยอุณหภูมิลูกชิ้นที่ใช้ในขณะสแกน NIR คือ 20 องศาเซลเซียส 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นแบ่งเป็นลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ เป็นจำนวน 162 ตัวอย่าง และ กลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ เป็นจำนวน 486 ตัวอย่าง โดยกำหนดให้กลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ คือ 0 และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ คือ 1 หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ โดยสุ่มแบ่งกลุ่มเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ (calibration set) จำนวน 648 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set) จำนวน 454 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ในช่วงคลื่น 680 – 2500 นาโนเมตร

ในการสร้างสมการโดยการใช้วิธีการวิเคราะห์การคัดแยกถดถอยบางส่วน ด้วยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ The Unscambler (version 9.7, Camo, Oslo, Norway) จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมที่ใช้สำหรับการสร้างสมการ (calibration set) มาทำการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.1 และพบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมแบบดั้งเดิมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด (F=5, total accuracy = 99.84%)

ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

spectral pretreatment	factor	pork meatball without borax		pork meatball containing borax		%total Accuracy
		correct	incorrect	correct	incorrect	
original	9	152	10	485	1	98.30%
smoothing	9	152	10	485	1	98.30%
1st derivative	7	151	11	486	0	98.30%
2nd derivative	**5**	**161**	**1**	**486**	**0**	**99.84%**
MSC	5	147	15	480	6	96.98%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

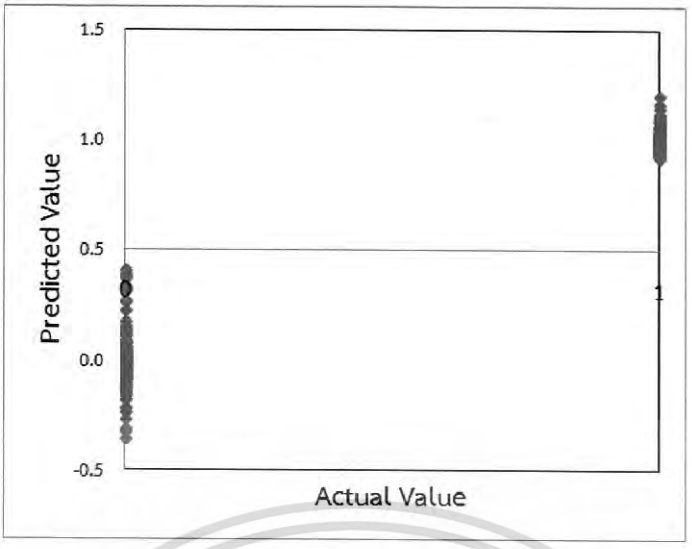
หลังจากนั้นทำการเลือกสมการที่ดีที่สุดมาจากตารางที่ 4.1 ซึ่งพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนาย จึงทำให้พบว่าการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี 2^{nd} derivative นั้นความแม่นยำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ที่สูงสุด (99.84%) ดังนั้นจึงเลือกสมการที่ปรับแต่งด้วยวิธี 2^{nd} derivative นี้มาทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยใช้กลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) พบว่ากลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำที่ 100.00% ซึ่งการทำนายเกิดจากการใช้ข้อมูลลูกชิ้นหมูทั้งหมด 454 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS- DA

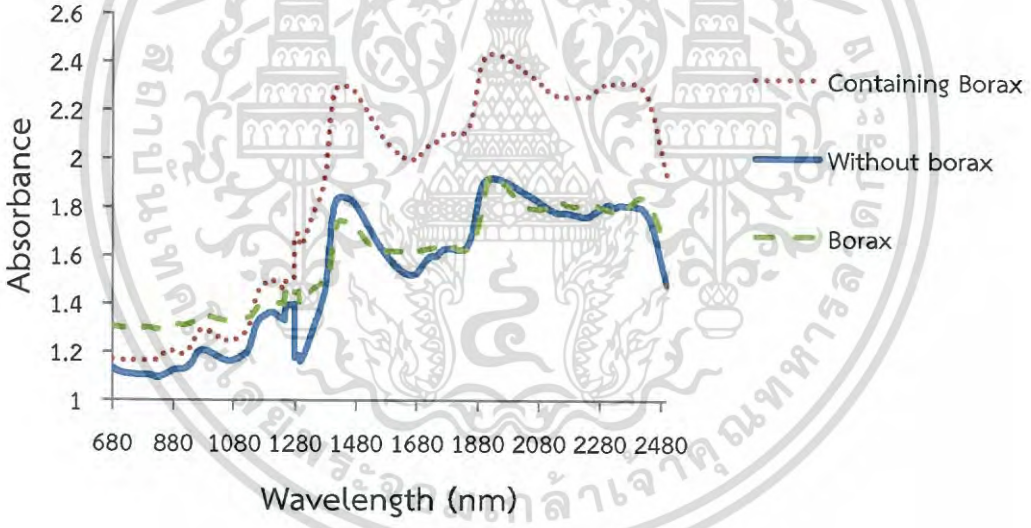
sample	factor	number of samples	
		calibration set	prediction set
without borax	5	162	113
correct		161	113
incorrect		1	0
		99.37%	100.00%
containing borax	5	486	341
correct		486	341
incorrect		0	0
		100.00%	100.00%
% total accuracy		99.84%	100.00%

ส่วนในภาพที่ 4.1 แสดงการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ และไม่ใส่สารบอแรกซ์ ในกลุ่ม prediction set โดยได้มีการกำหนดให้ 0 คือกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ซึ่งถ้าความสามารถในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ มีเกณฑ์ที่น้อยว่า 0.5 แสดงว่า ทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าได้มากกว่า 0.5 แสดงว่า ทำนายไม่ถูกต้อง ส่วนกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ กำหนดให้เป็น 1 หากความสามารถในการทำนายกลุ่มนี้มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่า ทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่า ทำนายไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์



ภาพที่ 4.2 แสดงกราฟ original การดูดกลืนแสงของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ข้อมูลเฉลี่ยความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) กลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ และสารบอแรกซ์บริสุทธิ์

จากภาพที่ 4.2 คือเมื่อทำการวัดค่าดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด ในตัวอย่างของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ข้อมูลเฉลี่ยความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) กลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ และสารบอแรกซ์บริสุทธิ์ เพื่อดูความเหมือนและแตกต่างระหว่างลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์เทียบกับลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ และเทียบกับสารบอแรกซ์บริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองถัดมาทำการแบ่งกลุ่มการตรวจสอบการคัดแยกลูกชิ้นหมูโดยมีการควบคุมอุณหภูมิของลูกชิ้นหมูขณะทำการสแกนเพื่อหาความสามารถในการคัดแยกของลูกชิ้นหมูที่อุณหภูมิขณะสแกนที่แตกต่างกัน แบ่งเป็น กลุ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งในการสร้างสมการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์และลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ โดยกำหนดให้กลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ คือ 0 และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ คือ 1 หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ โดยสุ่มแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ (calibration set) จำนวน 216 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set) จำนวน 152 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ในช่วงคลื่น 680 – 2500 นาโนเมตร เพื่อสร้างสมการว่าอุณหภูมิที่เท่าไหร่นั้นมีความสามารถในการคัดแยกได้ดีที่สุด โดยวิธีที่สร้างสมการใช้วิธีการวิเคราะห์การคัดแยกถดถอยบางส่วนด้วยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ The Unscambler (version 9.7, Camo, Oslo, Norway)

จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมที่ใช้สำหรับการสร้างสมการ (calibration set) มาทำการปรับแต่งด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3 คือลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อทำการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ วิธีการแบบ original, การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing และการปรับแต่งด้วยวิธี 1st derivative ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด (F=5, total accuracy = 100.00%) และทำการเลือกสมการที่ดีที่สุดมา

ตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (20°C)

spectral pretreatment	factor	pork meatball without borax		pork meatball containing borax		% total accuracy
		correct	incorrect	correct	incorrect	
original	5	54	0	162	0	100.00%
smoothing	5	54	0	162	0	100.00%
1st derivative	**5**	**54**	**0**	**162**	**0**	**100.00%**
2nd derivative	4	54	0	154	8	96.29%
MSC	5	53	1	154	0	99.53%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

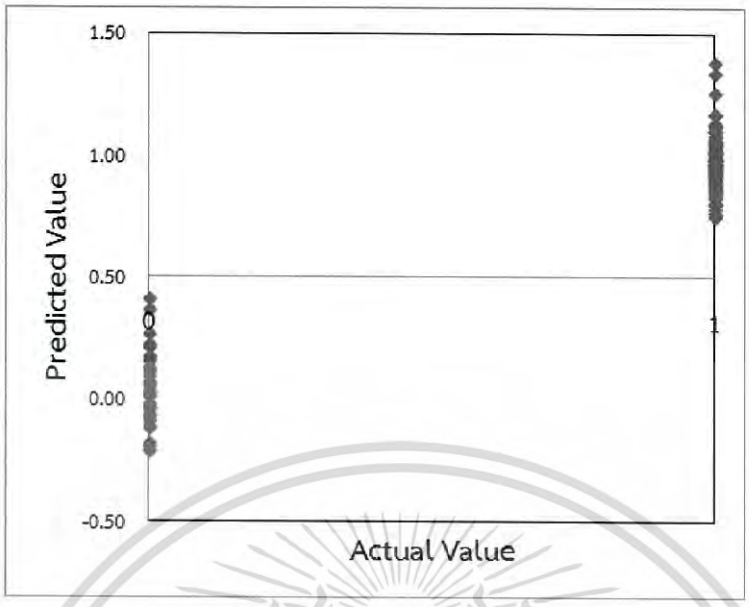
จากตารางที่ 4.3 ซึ่งพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนาย จึงทำให้พบว่าการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ พบว่า วิธีการแบบ original, การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing และการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 1st derivative ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ นั้นมีความแม่นยำสูงที่สุด (100.00%) แต่เราเลือกการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ด้วยวิธีการแบบ original เพราะไม่ผ่าน pretreatment และนำมาเมื่อทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยใช้กลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) พบว่ากลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการให้ค่าเปอร์เซ็นต์ 100.00% เช่นกัน ซึ่งการทำนายเกิดจากการใช้ข้อมูล ลูกชิ้นหมูทั้งหมด 152 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (20°C)

sample	factor	number of samples	
		calibration set	prediction set
without borax	5	162	113
correct		161	113
incorrect		1	0
		99.37%	100.00%
containing borax	5	486	341
correct		486	341
incorrect		0	0
		100.00%	100.00%
% total accuracy		99.84%	100.00%

จากภาพที่ 4.3 แสดงการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ โดยมีการกำหนดให้ 0 คือกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ซึ่งหากความสามารถในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ มีเกณฑ์ที่น้อยว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าได้มากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง ส่วนกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ กำหนดให้เป็น 1 หากความสามารถในการทำนายกลุ่มนี้มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (20°C)

จากนั้นนำลูกชิ้นหมูอุณหภูมิ 30°C มาทำการสร้างสมการ (calibration set) โดยทำการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างๆ พบว่า เมื่อมีการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ วิธีการแบบ original, การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing และการปรับแต่งด้วยวิธี 1st derivative ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด (F=5, total accuracy = 100.00%)

หลังจากนั้นทำการเลือกสมการที่ดีที่สุดมาจากตารางที่ 4.5 ซึ่งพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายพบว่า การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ พบว่า วิธีการแบบ original, การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing และการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 1st derivative ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการนั้นมีความแม่นยำสูงที่สุด (100.00%) แต่เราเลือกการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ด้วยวิธีการแบบ original เพราะไม่ผ่าน pretreatment และนำมาทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยใช้กลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) พบว่ากลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการให้ค่าเปอร์เซ็นต์ 100.00% เช่นกัน ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

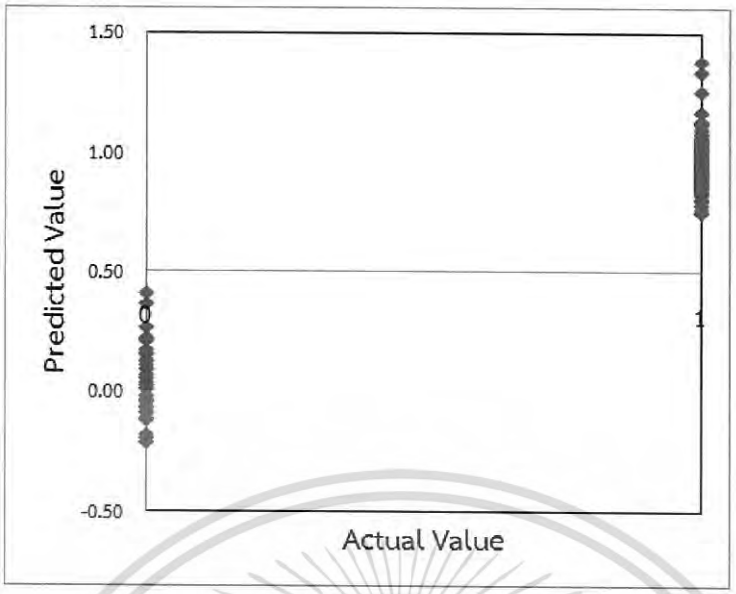
ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (30°C)

spectral pretreatment	factor	pork meatball without borax		pork meatball containing borax		% total accuracy
		correct	incorrect	correct	incorrect	
original	**5**	**54**	**0**	**162**	**0**	**100.00%**
smoothing	**5**	**54**	**0**	**162**	**0**	**100.00%**
1st derivative	**5**	**54**	**0**	**162**	**0**	**100.00%**
2nd derivative	3	52	2	162	0	99.07%
MSC	6	51	3	156	6	98.61%

ตารางที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (30°C)

sample	factor	number of samples	
		calibration set	prediction set
without borax	5	54	38
correct		54	38
incorrect		0	0
		100.00%	100.00%
containing borax	5	162	114
correct		162	114
incorrect		0	0
		100.00%	100.00%
% total accuracy		100.00%	100.00%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (30°C)

จากภาพที่ 4.4 คือการแสดงการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และไม่ใส่สารบอแรกซ์ในกลุ่ม prediction set โดยได้มีการกำหนดให้ 0 คือกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ซึ่งหากความสามารถในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ มีเกณฑ์ที่น้อยว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าได้มากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง ส่วนกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์กำหนดให้เป็น 1 หากความสามารถในการทำนายกลุ่มนี้มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่า ทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง

ต่อมาทำการทดลองในลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิ 40°C มาทำการสร้างสมการ (calibration set) โดยทำการปรับแต่งด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ พบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing และการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 1st derivative ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด (97.22%) ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ที่เท่ากัน แต่สมการที่มีการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธี 1st derivative มีจำนวน factor ที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกสมการมีการแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 1st derivative ในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (F=7, total accuracy = 97.22%)

หลังจากนั้นทำการเลือกสมการที่ดีที่สุดมาจากตารางที่ 4.7 ซึ่งพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายมาทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยการใช้กลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) พบว่ากลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ ซึ่งการทำนายเกิดจากการใช้ข้อมูลลูกชิ้นหมูทั้งหมด 152 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (40°C)

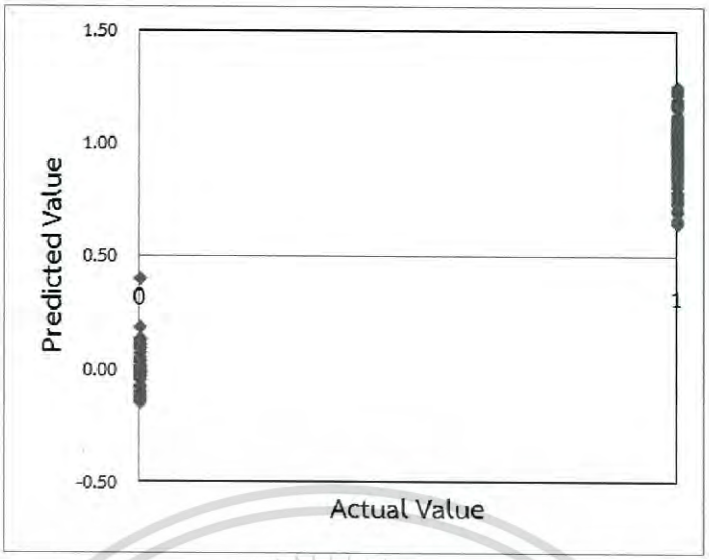
spectral pretreatment	factor	pork meatball without borax		pork meatball containing borax		% total accuracy
		correct	incorrect	correct	incorrect	
original	8	48	6	161	1	96.76%
smoothing	8	49	5	161	1	97.22%
1st derivative	**7**	**49**	**5**	**161**	**1**	**97.22%**
2nd derivative	4	34	20	157	5	88.42%
MSC	4	32	22	155	7	86.57%

ตารางที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (40°C)

sample	factor	number of samples	
		calibration set	prediction set
without borax	7	54	38
correct		49	38
incorrect		5	0
		90.74%	100.00%
containing borax	7	162	114
correct		161	114
incorrect		1	0
		99.38%	100.00%
% total accuracy		97.22%	100.00%

จากภาพที่ 4.5 มีการแบ่งกลุ่ม calibration set และกลุ่ม prediction set โดยมีการกำหนดให้ 0 คือกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ซึ่งหากความสามารถในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ มีเกณฑ์ที่น้อยว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าได้มากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง ส่วนกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ กำหนดให้เป็น 1 หากความสามารถในการทำนายกลุ่มนี้มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



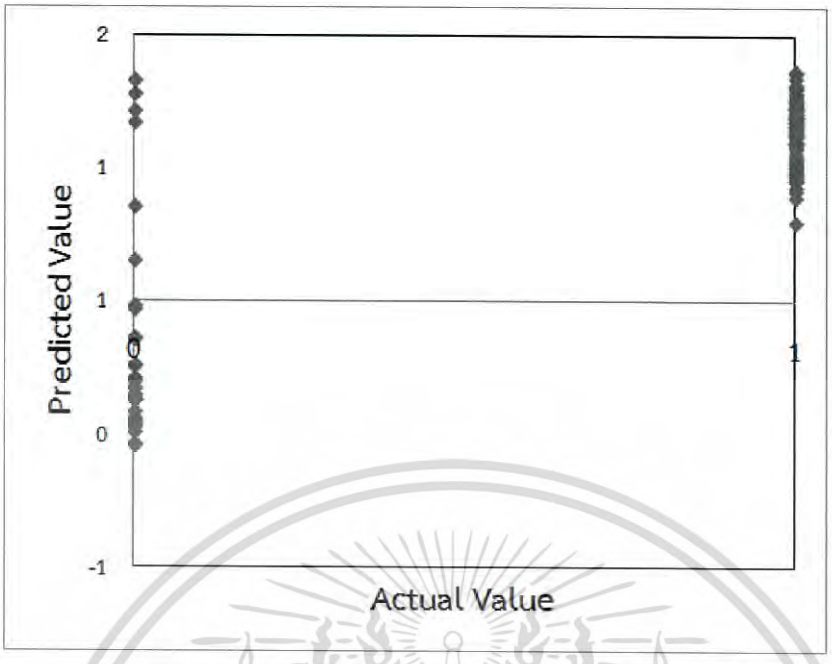
ภาพที่ 4.5 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (40°C)

จากนั้นทำการทำนายลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิต่างกัน โดยนำลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิ 20°C ที่การปรับแต่งสเปกตรัมวิธีการแบบ original มาทำนายกลุ่มลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิ 40°C ในการทำนายเกิดจากการใช้ข้อมูลลูกชิ้นหมูทั้งหมด 152 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (20°C ทำนาย 40°C)

sample	factor	number of samples	
		calibration set	prediction set
without borax	5	54	38
correct		44	30
incorrect		10	8
		81.48%	78.94%
containing borax	5	162	114
correct		150	106
incorrect		12	8
		92.59%	92.98%
% total accuracy		89.81.%	89.47%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 แสดงการทำนายโดยกำหนดให้ลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 20°C ทำนายลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 40°C

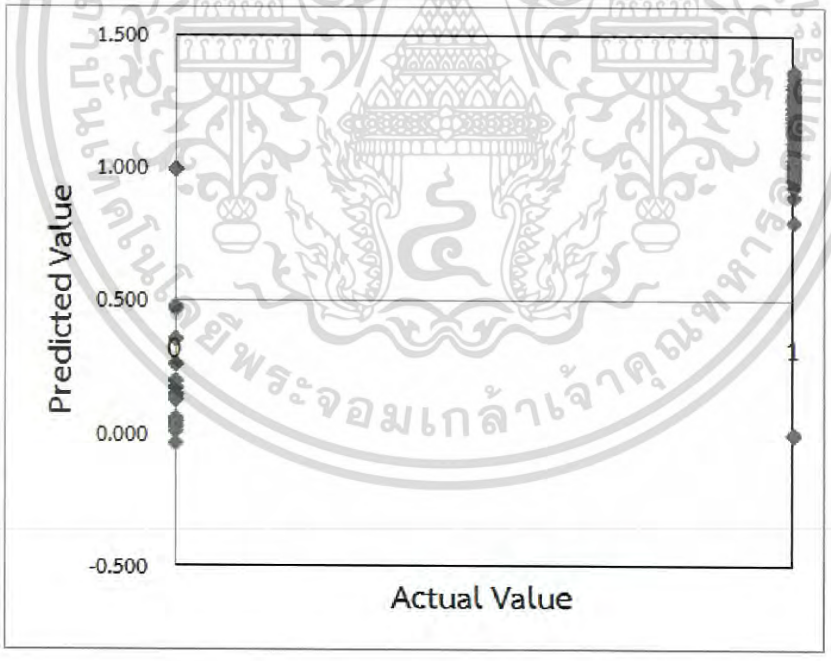
จากภาพที่ 4.6 แสดงการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ (50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) และไม่ใส่สารบอแรกซ์มีการแบ่งกลุ่ม calibration set และกลุ่ม prediction set โดยมีการกำหนดให้ 0 คือกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ซึ่งหากความสามารถในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ มีเกณฑ์ที่น้อยว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าได้มากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง ส่วนกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ กำหนดให้เป็น 1 หากความสามารถในการทำนายกลุ่มนี้มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง

การทดลองถัดมาคือนำลูกชิ้นหมูอุณหภูมิ 20°C ที่การปรับแต่งสเปกตรัมวิธีการแบบ original มาทำนายกลุ่มลูกชิ้นหมูอุณหภูมิ 30°C จากการทำนายเกิดจากการใช้ข้อมูลลูกชิ้นหมูทั้งหมด 152 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.6 แสดงการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) และไม่ใส่สารบอแรกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (20°C ทำนาย 30°C)

sample	factor	number of samples	
		calibration set	prediction set
without borax	5	54	38
correct		44	30
incorrect		10	8
		81.48%	78.94%
containing borax	5	162	114
correct		154	106
incorrect		8	4
		95.06%	96.49%
% total accuracy		91.66%	92.10%



ภาพที่ 4.7 แสดงการทำนายโดยกำหนดให้ลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 20°C ทำนายลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 30°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองเมื่อนำสมการ calibration ของลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มาทำการทำนาย (prediction) กับลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า การทำนายที่ลูกชิ้นมีอุณหภูมิขณะวัดที่ต่างกันนั้นมีผลความแม่นยำที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจาก อุณหภูมิมีผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพลูกชองลูกชิ้นเปลี่ยนไป เช่น ความยืดหยุ่น เป็นต้น

ซึ่งจากการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิลูกชิ้นขณะวัดความยืดหยุ่นนั้น ในลูกชิ้นที่ใส่สารบอแรกซ์ในแต่ละความเข้มข้น แสดงดังตารางที่ 11 (a), (b) และ (c) คือ 50 ppm 100 ppm และ 300 ppm ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 (a) แสดงค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์เข้มข้น 50 ppm

อุณหภูมิลูกชิ้นขณะวัด	ค่าสูงสุด (g/cm)	ค่าต่ำสุด (g/cm)	ค่าเฉลี่ย (g/cm)
20°C	4.9	3.3	4.1
30°C	4.7	2.5	3.2
40°C	3.4	2.3	2.9

ตารางที่ 4.11 (b) แสดงค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์เข้มข้น 100 ppm

อุณหภูมิลูกชิ้นขณะวัด	ค่าสูงสุด (g/cm)	ค่าต่ำสุด (g/cm)	ค่าเฉลี่ย (g/cm)
20°C	4.5	3.6	4.1
30°C	3.7	2.7	3.2
40°C	2.8	2.1	2.5

ตารางที่ 4.11 (c) แสดงค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์เข้มข้น 300 ppm

อุณหภูมิลูกชิ้นขณะวัด	ค่าสูงสุด (g/cm)	ค่าต่ำสุด (g/cm)	ค่าเฉลี่ย (g/cm)
20°C	6.1	4.8	5.5
30°C	4.7	3.7	4.1
40°C	3.8	3.0	3.4

จากตารางที่ 4.11 พบว่า อุณหภูมิต่ำ (20°C) มีผลทำให้ลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์มีความแข็งตัวมากกว่าอุณหภูมิที่สูง (30 °C และ 40°C) ซึ่งลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 300 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ใช้แรงในการกดมากที่สุดคือ 6.1 g/cm ในทางกลับกันปริมาณสารบอแรกซ์ นั้นมีผลช่วยทำให้ลูกชิ้นหมูมีความแข็งตัวขึ้นในขณะที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป อุณหภูมินั้นจะมีผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นเปลี่ยนไป เช่น ความยืดหยุ่น ความชุ่มฉ่ำน้ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การสร้างสมการในการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ตามระดับความเข้มข้นของสารบอแรกซ์

การสร้างสมการในการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ ทำการแบ่งระดับความเข้มข้นของสารบอแรกซ์ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สารบอแรกซ์ 50 ppm, สารบอแรกซ์ 100 ppm และสารบอแรกซ์ 300 ppm จำนวน ระดับความเข้มข้นละ 54 ตัวอย่าง และอุณหภูมิของลูกชิ้นขณะวัดคือ 20 องศาเซลเซียส 30 องศาเซลเซียสและ 40 องศาเซลเซียส

จากนั้นทำการวิเคราะห์แยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ที่ระดับความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm โดยการใช้สมการจากการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธีดั้งเดิมมาทำนาย จากตารางที่ 4.12 จะเห็นว่ากลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 300 ppm คือ มีความแม่นยำอ่านในการทำนาย 100.00 เปอร์เซ็นต์ ได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 100 ppm และ 50 ppm ตามลำดับ และความสามารถในการคัดแยกแสดงผลได้ในภาพที่ 4.5 (a) (b) และ (c) เป็นภาพแสดงความแม่นยำในการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

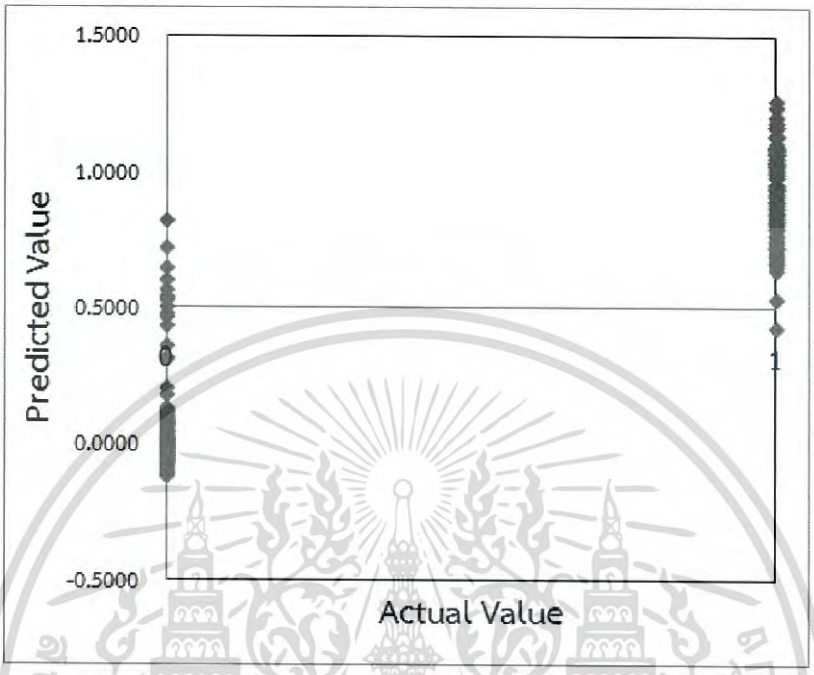
ตารางที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆ

sample set	number of samples	pork meatball without borax		pork meatball containing borax		%total accuracy
		correct	incorrect	correct	incorrect	
control	324	162	0	162	0	100.00%
50 ppm	324	153	9	161	1	96.91%
100 ppm	324	161	1	162	0	99.69%
300 ppm	324	162	0	162	0	100.00%

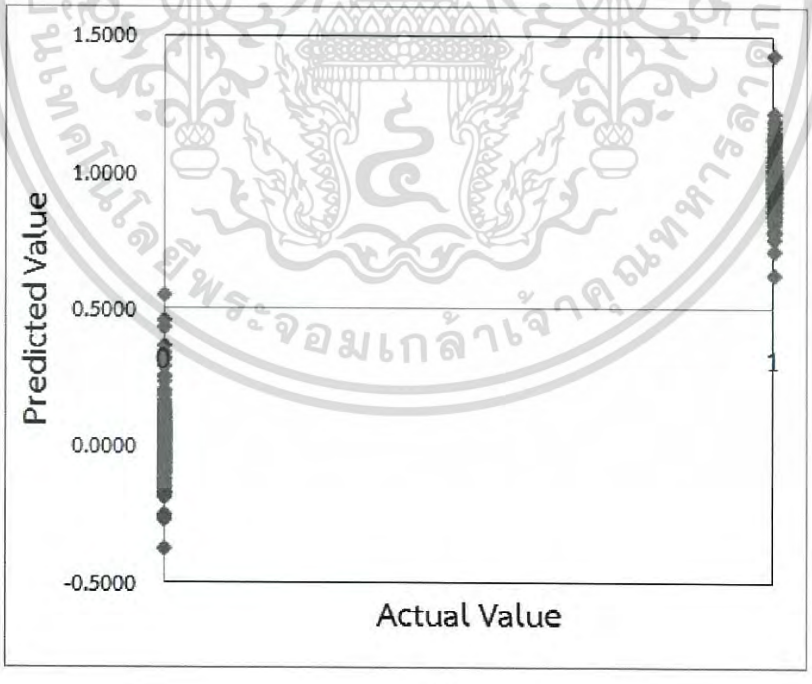
จากภาพที่ 4.8 (a), (b) และ (c) จะเห็นว่าภาพที่ 4.5 (c) สามารถทำนายได้ถูกต้องทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ระดับความเข้มข้น 300 ppm ทำนายได้ดีกว่ากลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm และ 50 ppm ตามลำดับ โดยกำหนดให้ 0 คือกลุ่มลูกชิ้นที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ถ้าความสามารถในการทำนายกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ถ้าความสามารถการทำนายได้เกณฑ์น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้ค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง ส่วน 1 คือกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ โดยถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ได้ค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง

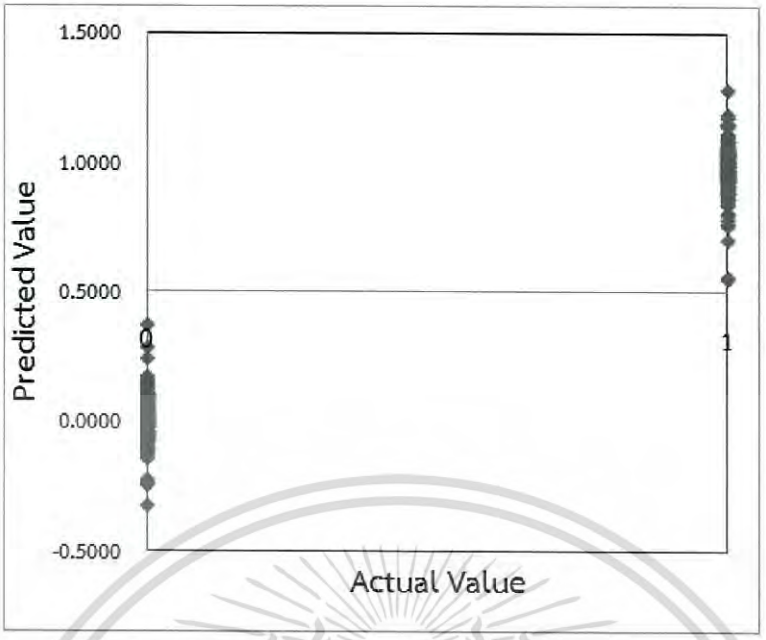


(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)

ภาพที่ 4.8 แสดงความแม่นยำในการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆ (a) ลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 50 ppm (b) ลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 100 ppm และ(c) ลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 300 ppm

4.3 การสร้างสมการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู

การสร้างสมการในการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู เริ่มจากการเก็บข้อมูลค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู จำนวน 486 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์โดยแบ่งลูกชิ้นหมูออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ (calibration set) จำนวน 486 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (prediction set) จำนวน 162 ตัวอย่าง วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด ในช่วงความยาวคลื่น 680 - 2500 นาโนเมตร แล้ววิเคราะห์หาค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู หลังจากนั้นสร้างสมการในการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRS กับค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู โดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) และเปรียบเทียบแบบ cross-validation ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ The Unscambler (version 9.7, Camo, Oslo, Norway) กลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการจะต้องมีค่าความยืดหยุ่นที่สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ จากตารางที่ 4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการของการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นที่ใส่สารบอแรกซ์

item	the calibration set	the prediction set
number of sample	486	162
unit	g/cm	g/cm
range	2.10 - 6.10	2.30 – 4.10
mean	3.67	3.13
standard deviation (SD)	0.72	0.44
wavelength	680 - 2500	680 - 2500

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

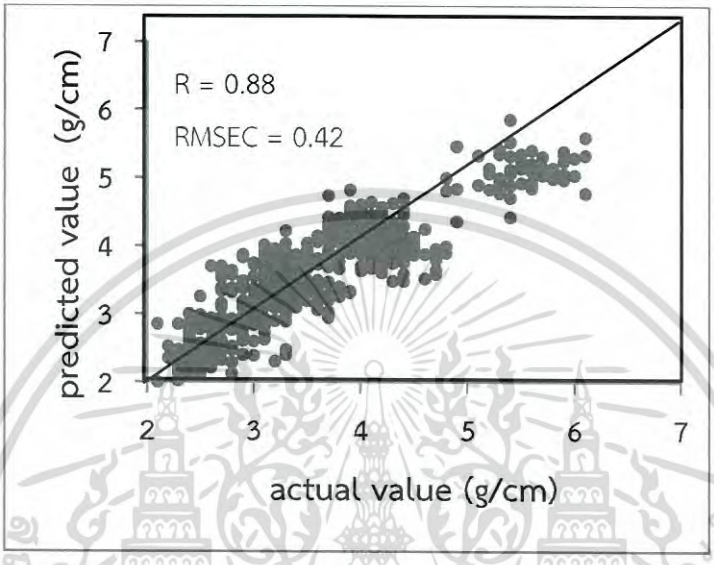
spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (g/cm)
original	648	9	0.87	0.44
smoothing	648	11	0.87	0.44
1st derivative	648	10	0.87	0.44
2nd derivative	648	11	0.72	0.49
MSC	648	3	0.62	0.70
SNV	648	14	0.86	0.44
SNV + MSC	648	11	0.84	0.48
smoothing + 1st derivative	**648**	**10**	**0.88**	**0.42**
smoothing + 2nd derivative	648	11	0.81	0.53

หลังจากนั้น นำข้อมูลสเปกตรัมที่มาสร้างสมการการทำนายค่าความยืดหยุ่นจากตารางที่ 4.14 พบว่าการสร้างสมการด้วยวิธีแบบ smoothing ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด หลังจากการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ พบว่าการสร้างสมการแบบวิธี ใน cross-validation ให้ผลดีที่สุด จึงนำข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำแบบวิธี smoothing มาสร้างสมการการทำนายค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมู โดยใช้วิธี partial least square regression (PLSR) ซึ่งได้ผล คือ R = 0.88 และ RMSECV = 0.42 g/cm หลังจากนั้นนำโมเดลที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ ได้ค่า R = 0.92 และ RMSEP = 0.34 g/cm ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.15

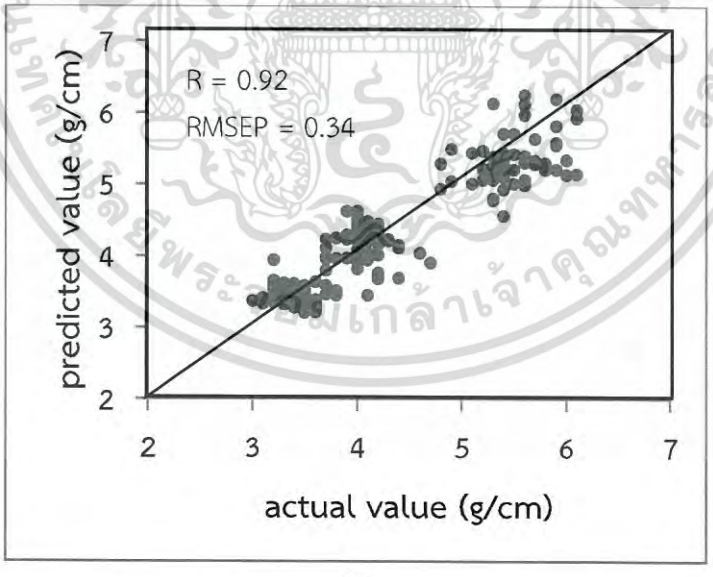
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู

model	pretreatment	F	N	R	RMSEC (g/cm)	RMSEP (g/cm)
calibration set	smoothing+ 1st derivative	10	648	0.88	0.42	
prediction set	smoothing+ 1st derivative	10	162	0.92		0.34



(a)



(b)

ภาพที่ 4.9 แสดงผลการทำนายค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมู

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง การตรวจสอบคุณภาพของลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์แบบไม่ทำลาย โดยการใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบสะท้อนกลับ จะแบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 ตอน คือการสร้างสมการในการคัดแยกคุณภาพของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ การสร้างสมการในการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆของสารบอแรกซ์ และการสร้างสมการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู

ในส่วนของการสร้างสมการในการคัดแยกคุณภาพของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ที่มีอุณหภูมิขณะวัด 20 องศาเซลเซียส 30 องศาเซลเซียล และ 40 องศาเซลเซียล ร่วมกัน พบว่าการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์และลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ เมื่อนำมาทำการทดสอบกับกลุ่มทดสอบสมการ สามารถแยกได้ถึง 100.00%

จากนั้นทำการสร้างสมการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆของสารบอแรกซ์ พบว่าลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ 300 ppm จะสามารถคัดแยกลุ่มออกจากกลุ่มลูกชิ้นที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถทำการคัดแยกได้ถึง 100.00% โดยใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing

ในด้านการทำนายคุณภาพหาค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm ที่มีอุณหภูมิขณะวัด 20 องศาเซลซียล 30 องศาเซลเซียล และ 40 องศาเซลเซียล ร่วมกัน) ด้วยวิธี smoothing ร่วมกันอนุพันธ์ 1^{st} derivative พบว่า เมื่อนำมาทดสอบในกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ การทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู ได้ค่า RMSEP= 0.34 g/cm R = 0.92 ซึ่งเป็นผลการทำนายที่สามารถคัดกรองได้แบบหยาบๆ

เมื่อลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิขณะวัด 30 และ 40 องศาเซลเซียส มาใช้ในการทดสอบสมการ calibration ในลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อทำการทำนาย (prediction) พบว่า การทำนายที่ลูกชิ้นมีอุณหภูมิขณะวัดที่ต่างกันนั้นมีผลความแม่นยำที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจาก อุณหภูมิมีผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพลูกชองลูกชิ้นเปลี่ยนไป เช่น ความยืดหยุ่น และปริมาณน้ำในอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น

ข้อเสนอแนะจากการทำงานวิจัยฉบับนี้ คือ ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณสารบอแรกซ์ที่หลงเหลืออยู่ในลูกชิ้นเพื่อทดสอบว่า ปริมาณสารบอแรกซ์มีเท่ากับตอนที่ใส่เริ่มต้นหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กองสารวัตรสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2523). พิษวิทยาของบอแร็กซ์. วารสารอาหารและยา, 2(3).

กรรณิการ์ พิริยะจิตรา. (2530). การศึกษาระบาดวิทยา เรื่องอันตรายจากบอแร็กซ์ที่คุกคามต่อสุขภาพ. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยมหิดล.

ชนินทร์ เจริญพงศ์, ประธาน ประเสริฐวิทยาการ, วัฒนา อัครเอกฒาลิน, และ ผดุงกิจ สงวนวัฒนา. (2542). รายงานผลการวิจัยเรื่องการสำรวจสถานการณ์ของบอแรกซ์วัตถุห้ามใช้ในอาหาร. Retrieved from กรุงเทพฯ:

นิพนธ์ ตังคณานุรักษณ์. (2545). หลักการพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโทรสโกปี. ใน วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล, และ ธงชัย สุวรรณสิชณน์ (ผู้รวบรวม.), การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก (หน้า 39-66). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่151(พ.ศ.2536) เรื่องกำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร. (2537, กุมภาพันธ์ 4). ราชกิจจานุเบกษา, ฉบับประกาศทั่วไป 111 (9ง), 19-21

ประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก ฉบับที่8(พ.ศ.2544) เรื่องให้บอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก. (2544, กันยายน 25). ราชกิจจานุเบกษา, ฉบับประกาศทั่วไป 118 (77ง), 152-153

ปราณี เกียรติสุระยานนท์. 2529. **"บอแร็กซ์"** กรุงเทพมหานคร : กองควบคุมอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. เอกสารอัดสำเนา

วรรณกนก ทาสุวรรณ์. 2546. "การตรวจสอบคุณภาพของส้มเขียวหวานด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วราภรณ์ นุชน้อย. "การเฝ้าระวังการใช้บอแรกซ์ในอาหาร" เอกสารวิชาการ กองสารวัตร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 2542.

วารุณี ธนะแพสย์. สถานการณ์การใช้ประโยชน์เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในประเทศไทย. หน้า1-7. ในวารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล และธงชัย สุวรรณสิชณน์ (ผู้รวบรวม). 2545. **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก.** 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วารุณี ธนะแพสย์ และ ศุมาพร เกษมสำราญ. ตัวแปรที่มีผลต่อการวิเคราะห์ NIR. 2555. หน้า 51-73. ใน **การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศุมาพร เกษมสำราญ. 2555. หลักการพื้นฐานของสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้.ใน **การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ศุมาพร เกษมสำราญ. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. หน้า 131-150. ในวารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล และธงชัย สุวรรณสิชณน์ (ผู้รวบรวม). 2545. **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก.** 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศุมาพร เกษมสำราญ, วารุณี ธนะแพสย์ และอนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล. 2552. "การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มเขียวหวานโดยไม่ทำลายด้วยแสงเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี." **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 40(มกราคม-เมษายน 2552) : 233 – 236.

อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. หน้า 67-97. ในวารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล และธงชัย สุวรรณสิชณน์ (ผู้รวบรวม). 2545. **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก.** 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล. 2555. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. ใน **การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

Balage, J. M., da Luz e Silva, S., Gomide, C. A., Bonin, M. d. N., and Figueira, A. C. (2015). Predicting pork quality using Vis/NIR spectroscopy. Meat Science, 108, 37-43. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.04.018

Bechmann, I. E., and Jørgensen, B. M. (1998). Rapid Assessment of Quality Parameters for Frozen Cod Using Near Infrared Spectroscopy. LWT - Food Science and Technology, 31(7), 648-652. doi:http://dx.doi.org/10.1006/fstl.1998.0418

Gosselin, R. E., Smith, R. P., and Hodge, H. C. (1984). Clinical toxicology of commercial products: Williams & Wilkins.

Hruschka, W.R. (1987) Data analysis: Wavelength selection methods. In Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries, edited by P. Williams and K. Norris. American Association of Cereal Chemists, Inc.

Kapper, C., Klont, R. E., Verdonk, J. M., and Urlings, H. A. (2012). Prediction of pork quality with near infrared spectroscopy (NIRS): 1. Feasibility and robustness of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NIRS measurements at laboratory scale. Meat Sci, 91(3), 294-299. doi:10.1016/j.meatsci.2012.02.005

Kawano, S., Watanabe, H., and Iwamoto, M. (1992). Determination of Sugar Content in Intact Peaches by Near Infrared Spectroscopy with Fiber Optics in Interactance Mode. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 61(2), 445-451. doi:10.2503/jjshs.61.445

Kawano, S. (2007). Sampling and Sample Presentation Near-Infrared Spectroscopy (pp. 115-124): Wiley-VCH Verlag GmbH.

Lu, C., Xiang, B., Hao, G., Xu, J., Wang, Z., and Chen, C. (2009). Rapid detection of melamine in milk powder by near infrared spectroscopy. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 17(2), 59-67.

Nilsen, H., and Esaiassen, M. (2005). Predicting sensory score of cod (Gadus morhua) from visible spectroscopy. LWT-Food Science and Technology, 38(1), 95-99.

Williams, P. C. 2007. Application of Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) in the Agricultural and Food Industries. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. Sy. Paul, Minnesota, USA.

Yongsawatdigul, J., Worratao, A., and Park, J. W. (2002). Effect of Endogenous Transglutaminase on Threadfin Bream Surimi Gelation. Journal of Food Science, 67(9), 3258-3263. doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb09575.x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

ฉบับที่ ๑๕๑ (พ.ศ. ๒๕๓๖)

เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ และมาตรา ๖ (๕) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. ๒๕๒๒ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิก

๑.๑ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ ๔ (พ.ศ. ๒๕๒๒) เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร ลงวันที่ ๒๔ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๒๒

๑.๒ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ ๙๓ (พ.ศ. ๒๕๒๘) เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร (ฉบับที่ ๒) ลงวันที่ ๒๕ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๒๘

๑.๓ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ ๑๐๖ (พ.ศ. ๒๕๓๐) เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร (ฉบับที่ ๓) ลงวันที่ ๒๔ เมษายน พ.ศ. ๒๕๓๐

๑.๔ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ ๑๒๓ (พ.ศ. ๒๕๓๒) เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร (ฉบับที่ ๔) ลงวันที่ ๑๕ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๓๒

ข้อ ๒ วัตถุดังต่อไปนี้เป็นวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร

๒.๑ น้ำมันพืชที่ผ่านกรรมวิธีเติมโบรมีน (Brominated vegetable oil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๒ กรดซาลิซิลิค (Salicylic acid)

๒.๓ กรดบอร์ริค (Boric acid)

๒.๔ บอร์แรกซ์ (Borax)

๒.๕ แคลเซียมไอโอเดท (Calcium iodate) หรือ โพแทสเซียมไอโอเดท (Potassium iodate) ยกเว้นการใช้เพื่อปรับสภาวะโภชนาการเกี่ยวกับการขาดสารไอโอดีนตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

๒.๖ ไนโตรฟูราโซน (Nitrofurazone)

๒.๗ โพแทสเซียมคลอเรท (Potassium chlorate)

๒.๘ ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde Solution) และพาราฟอร์มาลดีไฮด์ (Paraformaldehyde)

๒.๙ คูมาริน (Coumarin) หรือ ๑,๒-เบนโซไพโรน (๑,๒-Benzopyrone) หรือ ๕,๖-เบนโซ-แอลฟา-ไพโรน (๕,๖-Benzo-α- pyrone) หรือ ซิส-ออร์โธ-คูมาริค แอซิด แอนไฮไดร์ด (cis-o-coumaric acid anhydride) หรือ ออร์โธ-ไฮดรอกซีซินนามิค แอซิด แลคโตน (o-Hydroxycinnamic acid, lactone)

๒.๑๐ ไดไฮโดรคูมาริน (Dihydrocoumarin) หรือเบนโซไดไฮโดรไพโรน (Benzo-dihydropyrone) หรือ ๓,๔-ไดไฮโดรคูมาริน (๓,๔-Dihydrocoumarin) หรือไฮโดรคูมาริน (Hydrocoumarin)

๒.๑๑ เมทธิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol) หรือ เมทานอล (Methanol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒.๑๒ ไดเอทธิลีนไกลคอล (Diethylene glycol) หรือ ไดไฮดรอกซีไดเอทธิล อีเธอ (Dihydroxydiethyl ether) หรือไดไกลคอล (diglycol) หรือ ๒,๒′ -ออกซีบิส-เอทานอล (๒,๒′ -Oxybis-ethanol) หรือ ๒,๒′ -ออกซีไดเอทานอล (๒,๒′ -oxydiethanol)

ประกาศฉบับนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๒๘ ธันวาคม ๒๕๓๖

อาทิตย์ อุไรรัตน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

(ฉบับที่ ๔๑) พ.ศ. ๒๕๓๑

เรื่อง ระบุชื่อวัตถุมีพิษธรรมดา

ตามพระราชบัญญัติวัตถุมีพิษ พ.ศ. ๒๕๑๐

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๑) (๔) และมาตรา ๑๒ ทศ แห่งพระราชบัญญัติวัตถุมีพิษ พ.ศ. ๒๕๑๐ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยมาตรา ๓ และมาตรา ๕ แห่งพระราชบัญญัติวัตถุมีพิษ (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๑๖ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมวัตถุมีพิษ ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้วัตถุต่อไปนี้เป็นวัตถุมีพิษธรรมดา

๑.๑ กรดบอริก (BORIC ACID; H_3BO_3) หรือชื่อที่เรียกเป็นอย่างอื่น แต่มีสูตรโครงสร้างอย่างเดียวกันนี้

๑.๒ บอแรกซ์ (BORAX, $Na_2B_4O_7$) หรือชื่อที่เรียกเป็นอย่างอื่น แต่มีสูตรโครงสร้างอย่างเดียวกันนี้

๑.๓ บอแรกซ์ เพนตะไฮเดรต (BORAX PENTAHYDRATE, $Na_2B_4O_7\ 5H_2O$) หรือชื่อที่เรียกเป็นอย่างอื่น แต่มีสูตรโครงสร้างอย่างเดียวกันนี้

๑.๔ บอแรกซ์ เดคาไฮเดรต (BORAX DECAHYDRATE, $Na_2B_4O_7\ 10H_2O$) หรือชื่อที่เรียกเป็นอย่างอื่น แต่มีสูตรโครงสร้างอย่างเดียวกันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ ๒ วัตถุมีพิษตามข้อ ๑ เฉพาะที่เป็นยาตามกฎหมายว่าด้วยยา เครื่องสำอางตามกฎหมายว่าด้วยเครื่องสำอาง หรือนำไปใช้ในทางสาธารณสุข ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ว่าด้วยวัตถุมีพิษ หรือนำไปใช้ในทางเกษตร ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ว่าด้วยวัตถุมีพิษหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปอย่างอื่นที่มีวัตถุมีพิษเหล่านี้ผสมอยู่ มิให้ถือว่าเป็นวัตถุมีพิษตามประกาศนี้

ข้อ ๓ วัตถุมีพิษตามข้อ ๑ โดยเฉพาะ

๓.๑ การนำหรือสั่งเข้ามาในราชอาณาจักร ได้รับการยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามมาตรา ๒๐

๓.๒ การนำหรือส่งออกนอกราชอาณาจักร นำผ่าน ได้รับการยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามมาตรา ๑๑ และมาตรา ๒๐

ประกาศ ณ วันที่ ๖ กรกฎาคม ๒๕๓๑

ประมวล สภาวสุ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก

ฉบับที่ ๘ (พ.ศ. ๒๕๔๔)

เรื่อง ให้บอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก

โดยที่มีการนำบอแรกซ์มาใช้ผิดวัตถุประสงค์โดยใช้ในอาหาร ซึ่งมีผลทำให้เกิดอันตรายแก่สุขภาพของผู้บริโภคที่รับประทานอาหารที่มีบอแรกซ์ผสมอยู่ ดังนั้น เพื่อเป็นการคุ้มครองผู้บริโภคให้ได้รับความปลอดภัย จึงสมควรแก้ไขการกำหนดข้อความในฉลากเกี่ยวกับบอแรกซ์ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๐ และมาตรา ๓๑ แห่งพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้บริโภค พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้บริโภค (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๔๑ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๕๐ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย คณะกรรมการว่าด้วยฉลาก จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๒๕) เรื่อง กำหนดบอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก ลงวันที่ ๑๑ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๒๕ และประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก ฉบับที่ ๔ (พ.ศ. ๒๕๒๖) เรื่อง กำหนดบอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก (ฉบับที่ ๒) ลงวันที่ ๒๙ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๒๖

ข้อ ๒ ในประกาศฉบับนี้ "บอแรกซ์" หมายความว่า สารเคมีที่มีสูตร $Na_2B_4O_7$ หรือ $Na_2B_4O_7.10H_2O$ ซึ่งมีชื่อเรียกทางเคมีว่า โซเดียมบอเรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์

(Sodium borate) ไดโซเดียมเตตราบอเรต (Disodium tetraborate) หรือโซเดียมไพโรบอเรต (Sodium pyroborate) หรือสารเคมีดังกล่าวที่เรียกชื่ออย่างอื่น เช่น น้ำประสานทอง เพ่งแซ หรือผงกรอบ

ข้อ ๓ ให้บอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก

ข้อ ๔ ฉลากของสินค้าที่ควบคุมฉลากตามข้อ ๓ ให้ปฏิบัติตามข้อ ๑ ถึงข้อ ๓ แห่งประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก เรื่อง ลักษณะของฉลากสินค้าที่ควบคุมฉลาก พ.ศ. ๒๕๔๑ ลงวันที่ ๒๓ กันยายน พ.ศ. ๒๕๔๑ และให้ระบุข้อความดังต่อไปนี้ไว้ในฉลากที่ภาชนะบรรจุสินค้าในหน้าเดียวกัน

"(๑) "บอแรกซ์"

(๒) คำเตือน : "อันตราย อาจทำให้ไตวาย ห้ามใช้ในอาหาร" โดยใช้ตัวอักษรสีแดงขนาดใหญ่กว่าตัวอักษรอื่น"

ประกาศฉบับนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันที่ ๑ ตุลาคม ๒๕๔๔ เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๓๐ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๔๔

มาลดี วสีนนท์

ประธานกรรมการว่าด้วยฉลาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก
ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2544)
เรื่อง ให้บอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก

โดยที่มีการนำบอแรกซ์มาใช้ผิดวัตถุประสงค์ โดยใช้ในอาหาร ซึ่งมีผลทำให้เกิดอันตรายแก่สุขภาพของผู้บริโภคที่รับประทานอาหารที่มีบอแรกซ์ผสมอยู่ ดังนั้น เพื่อเป็นการคุ้มครองผู้บริโภคให้ได้รับความปลอดภัย จึงสมควรแก้ไขการกำหนดข้อความในฉลากเกี่ยวกับบอแรกซ์ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 30 และมาตรา 31 แห่งพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้บริโภค พ.ศ. 2522 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้บริโภค (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2541 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย คณะกรรมการว่าด้วยฉลาก จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2525) เรื่อง กำหนดบอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก ลงวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2525 และประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2526) เรื่อง กำหนดบอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2526

ข้อ 2 ในประกาศฉบับนี้ **"บอแรกซ์"** หมายความว่า สารเคมีที่มีสูตร $Na_2B_4O_7$ หรือ $Na_2B_4O_710H_2O$ ซึ่งมีชื่อเรียกทางเคมีว่า โซเดียมบอเรต (Sodium borate) ไดโซเดียมเตตราบอเรต (Disodium tetraborate) หรือโซเดียมไพโรบอเรต (Sodium pyroborate) หรือสารเคมีดังกล่าวที่เรียกชื่ออย่างอื่น เช่น น้ำประสานทอง เพ่งแซ หรือผงกรอบ

ข้อ 3 ให้บอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก

ข้อ 4 ฉลากของสินค้าที่ควบคุมฉลากตามข้อ 3 ให้ปฏิบัติตามข้อ 1 ถึง ข้อ 3 แห่งประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก เรื่อง ลักษณะของฉลากสินค้าที่ควบคุมฉลาก พ.ศ. 2541 ลงวันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2541 และให้ระบุข้อความดังต่อไปนี้ ไว้ในฉลากที่ภาชนะบรรจุสินค้าในหน้าเดียวกัน

"(1) "บอแรกซ์"

(2) คำเตือน : "อันตราย อาจทำให้ไตวาย ห้ามใช้ในอาหาร" โดยใช้ตัวอักษรสีแดงขนาดใหญ่กว่าตัวอักษรอื่น"

ประกาศฉบับนี้ ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2544 เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2544

(ลงชื่อ) มาลดี วสีนนท์
(นางมาลดี วสีนนท์)
ประธานกรรมการว่าด้วยฉลาก

(ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนที่ 77 ง วันที่ 25 กันยายน 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
(ข้อมูลดิบ texture)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 50 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
1	4.13	4.37	4.3
2	3.83	3.99	3.9
3	3.58	3.01	3.3
4	4.07	3.04	3.6
5	3.84	3.84	3.8
6	3.72	3.29	3.5
7	3.61	4.64	4.1
8	4.45	4.71	4.6
9	4.41	4.29	4.4
10	3.55	4.08	3.8
11	3.7	4.92	4.3
12	3.2	3.84	3.5
13	4.43	4.07	4.3
14	3.65	3.76	3.7
15	3.86	4.12	4.0
16	3.34	3.82	3.6
17	4.65	3.91	4.3
18	4.45	4.06	4.3
19	3.8	3.87	3.8
20	3.76	4.21	4.0
21	3.99	4.33	4.2
22	4.03	4.8	4.4
23	4.77	4.94	4.9
24	3.46	4.01	3.7
25	4.68	4.56	4.6
26	3.92	4.18	4.1
27	4.34	3.71	4.0
28	4.67	4.32	4.5
29	4.41	4.44	4.4
30	4.81	4.5	4.7
31	3.95	4.13	4.0
32	4.03	4.46	4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1จ (ต่อ) ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 50 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
33	4,18	4.72	4.5
34	3.91	4.27	4.1
35	3.89	4.34	4.1
36	3.61	3.52	3.6
37	4.82	4.7	4.8
38	4.26	4.06	4.2
39	4.33	4.61	4.5
40	4.87	4.46	4.7
41	4.33	4.06	4.2
42	5.26	4.35	4.8
43	4.82	4.66	4.7
44	3.31	3.35	3.3
45	4.41	4.38	4.4
46	4.19	4.04	4.1
47	4.61	4.13	4.4
48	4.05	4.92	4.5
49	4.42	4.42	4.4
50	4.89	4.19	4.5
51	3.82	3.88	3.9
52	3.78	3.78	3.8
53	3.83	3.57	3.7
54	4.5	4.3	4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 50 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
1	2.69	2.88	2.8
2	2.99	3.42	3.2
3	3.01	3.3	3.2
4	2.96	2.96	3.0
5	3.13	3.02	3.1
6	2.46	2.84	2.7
7	3.03	3.2	3.1
8	3.29	3.23	3.3
9	3.65	3.18	3.4
10	2.94	2.67	2.8
11	3.24	3.41	3.3
12	2.6	2.75	2.7
13	3.49	3.37	3.4
14	3.11	3.55	3.3
15	2.59	2.93	2.8
16	2.57	2.68	2.6
17	3.01	3.2	3.1
18	2.9	2.81	2.9
19	3.16	3.11	3.1
20	3.58	2.71	3.1
21	3.34	3.2	3.3
22	2.95	3.12	3.0
23	2.87	2.92	2.9
24	2.26	2.77	2.5
25	2.69	2.76	2.7
26	3.84	3.53	3.7
27	2.97	3.36	3.2
28	2.98	3.44	3.2
29	3.77	3.81	3.8
30	4.34	4.15	4.2
31	2.87	3.28	3.1
32	3.29	3.49	3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2จ (ต่อ) ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 50 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
33	4.84	3.08	4.0
34	3.24	3.16	3.2
35	2.81	3.41	3.1
36	2.93	3.09	3.0
37	2.74	2.62	2.7
38	3.32	3.55	3.4
39	3.79	4.39	4.1
40	4.04	3.88	4.0
41	3.15	3.05	3.1
42	2.83	2.76	2.8
43	3.73	3.14	3.4
44	3.44	3.41	3.4
45	3.02	2.88	3.0
46	3.03	2.95	3.0
47	3.05	3.57	3.3
48	3.6	3.86	3.7
49	4.46	4.89	4.7
50	2.68	2.69	2.7
51	3.04	3.17	3.1
52	3.44	4.39	3.9
53	4.09	3.73	3.9
54	3.75	2.93	3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 50 ppm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
1	2.83	2.69	2.8
2	2.82	3.04	2.9
3	2.68	2.68	2.7
4	2.68	2.41	2.5
5	2.66	3.16	2.9
6	2.75	2.79	2.8
7	2.59	2.57	2.6
8	2.73	3.07	2.9
9	2.96	3.09	3.0
10	2.68	2.74	2.7
11	2.95	2.97	3.0
12	2.98	2.5	2.7
13	2.45	2.7	2.6
14	2.8	3.58	3.2
15	2.22	2.35	2.3
16	2.2	2.36	2.3
17	2.51	2.99	2.8
18	2.65	2.57	2.6
19	3.35	2.86	3.1
20	2.51	2.2	2.4
21	3.18	3.34	3.3
22	2.19	2.69	2.4
23	2.97	2.76	2.9
24	2.42	2.19	2.3
25	2.95	2.35	2.7
26	2.74	2.62	2.7
27	2.78	3.16	3.0
28	3.03	3.49	3.3
29	2.73	2.98	2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3จ (ต่อ) ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 50 ppm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
30	2.66	2.96	2.8
31	2.54	2.79	2.7
32	2.4	2.44	2.4
33	2.83	2.99	2.9
34	3.08	3.16	3.1
35	2.77	3.24	3.0
36	2.58	2.96	2.8
37	2.96	3.26	3.1
38	3.41	2.95	3.2
39	2.19	3.34	2.8
40	3.16	3.45	3.3
41	2.64	3.12	2.9
42	3.42	3.31	3.4
43	2.96	3.07	3.0
44	2.93	2.49	2.7
45	2.76	2.86	2.8
46	3.06	2.9	3.0
47	3.03	3.43	3.2
48	3.28	2.99	3.1
49	3.35	3.45	3.4
50	2.96	3.2	3.1
51	2.8	2.9	2.9
52	2.84	2.99	2.9
53	3.01	2.86	2.9
54	2.97	3.34	3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 100 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
1	4.07	3.68	3.9
2	3.75	3.81	3.8
3	3.6	3.63	3.6
4	4.04	3.95	4.0
5	3.76	3.7	3.7
6	3.6	4.19	3.9
7	3.86	3.51	3.7
8	3.83	3.65	3.7
9	3.8	4.11	4.0
10	4.16	3.82	4.0
11	3.38	5.13	4.3
12	3.39	4	3.7
13	3.87	3.67	3.8
14	3.65	4.03	3.8
15	3.49	5.35	4.4
16	3.86	4.09	4.0
17	5.36	3.45	4.4
18	3.49	3.9	3.7
19	4.23	3.94	4.1
20	3.42	4.41	3.9
21	4.06	3.43	3.7
22	3.8	4.64	4.2
23	4.61	4.29	4.5
24	4.57	4.37	4.5
25	4.11	4.34	4.2
26	3.52	4.31	3.9
27	3.78	4.13	4.0
28	4.36	3.87	4.1
29	4.37	4.13	4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4จ (ต่อ) ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 100 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
30	3.79	5.16	4.5
31	4.66	3.96	4.3
32	4	4.39	4.2
33	3.97	3.86	3.9
34	4.19	4.35	4.3
35	4.21	4.17	4.2
36	4.06	4.57	4.3
37	4.82	3.86	4.3
38	3.97	4.46	4.2
39	4.65	4.12	4.4
40	4.25	4.26	4.3
41	4.47	4.06	4.3
42	3.95	3.78	3.9
43	4.63	4.18	4.4
44	4.07	3.83	4.0
45	3.34	5.37	4.4
46	3.6	3.74	3.7
47	4.27	3.83	4.1
48	3.54	4.81	4.2
49	3.83	3.67	3.8
50	4.23	3.81	4.0
51	3.99	4.53	4.3
52	4.25	4.19	4.2
53	3.48	4.14	3.8
54	3.54	4.64	4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 100 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
1	2.89	2.84	2.9
2	3.3	3.54	3.4
3	2.69	2.83	2.8
4	3.11	2.68	2.9
5	2.81	2.98	2.9
6	3.04	2.93	3.0
7	3.33	3	3.2
8	2.89	3.24	3.1
9	2.91	3.07	3.0
10	2.97	3.05	3.0
11	3.05	2.8	2.9
12	2.99	2.41	2.7
13	3.26	3.32	3.3
14	2.82	3.13	3.0
15	3.23	3.02	3.1
16	3.19	2.86	3.0
17	3.01	2.38	2.7
18	2.51	2.84	2.7
19	3.11	3.16	3.1
20	2.68	3.55	3.1
21	3.65	2.9	3.3
22	3.81	2.74	3.3
23	3.32	4.08	3.7
24	3.32	3.37	3.3
25	3.46	3.39	3.4
26	3.12	4.04	3.6
27	3.72	3.56	3.6
28	3.94	3.53	3.7
29	3.83	3.5	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5จ (ต่อ) ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 100 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
30	3.11	3.33	3.2
31	2.98	3.26	3.1
32	3.44	3.34	3.4
33	3.28	3.61	3.4
34	3.53	2.98	3.3
35	3.58	3.21	3.4
36	3.49	3.52	3.5
37	3.19	3.88	3.5
38	3.57	3.81	3.7
39	2.96	3.53	3.2
40	3.23	2.99	3.1
41	4.1	3.37	3.7
42	3.23	2.53	2.9
43	3	3.02	3.0
44	3.08	3.22	3.2
45	3.43	3.05	3.2
46	2.73	3.59	3.2
47	3.6	2.5	3.1
48	2.82	3.32	3.1
49	3.33	3.24	3.3
50	3.64	3.42	3.5
51	3.61	3.45	3.5
52	2.89	3.7	3.3
53	3.01	2.89	3.0
54	3.49	2.95	3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 100 ppm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
1	2.17	2.71	2.4
2	1.97	2.34	2.2
3	2.47	2.47	2.5
4	2.37	2.19	2.3
5	2.16	2.21	2.2
6	2.34	2.21	2.3
7	2.19	2.1	2.1
8	2.15	2.48	2.3
9	2.48	2.27	2.4
10	2.24	2.04	2.1
11	2.72	2.44	2.6
12	2.23	2.3	2.3
13	2.57	2.2	2.4
14	2.69	2.5	2.6
15	2.05	2.47	2.3
16	2.51	2.32	2.4
17	2.49	2.35	2.4
18	2.34	2.33	2.3
19	2.2	2.38	2.3
20	2.32	2.28	2.3
21	2.62	2.49	2.6
22	2.6	2.83	2.7
23	2.44	2.45	2.4
24	2.62	2.47	2.5
25	2.45	2.36	2.4
26	2.83	2.45	2.6
27	2.74	2.85	2.8
28	2.7	2.59	2.6
29	2.72	2.49	2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6จ (ต่อ) ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 100 ppm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
30	2.5	2.79	2.6
31	2.3	2.56	2.4
32	2.78	2.19	2.5
33	2.41	2.41	2.4
34	2.25	2.65	2.5
35	2.46	2.52	2.5
36	2.63	2.76	2.7
37	2.83	1.92	2.4
38	3.07	2.46	2.8
39	2.99	2.17	2.6
40	2.63	2.12	2.4
41	2.72	2.44	2.6
42	2.63	2.44	2.5
43	2.53	2.39	2.5
44	2.84	2.63	2.7
45	3	2.68	2.8
46	2.13	2.81	2.5
47	1.82	2.87	2.3
48	2.38	2.2	2.3
49	2.69	2.38	2.5
50	2.77	2.52	2.6
51	2.36	2.42	2.4
52	2.49	2.25	2.4
53	2.73	2.51	2.6
54	2.26	2.69	2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 300 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g /cm)
1	4.91	4.77	4.8
2	5.2	5.55	5.4
3	5.55	6.04	5.8
4	5.63	5.06	5.3
5	5.46	5.32	5.4
6	5.37	5.61	5.5
7	5.34	4.95	5.1
8	5.45	5.27	5.4
9	4.93	4.82	4.9
10	5.73	5.6	5.7
11	5.53	5.61	5.6
12	5.69	5.48	5.6
13	5.41	5.36	5.4
14	5.11	5.5	5.3
15	5.44	5.35	5.4
16	5.47	4.84	5.2
17	5.83	6.1	6.0
18	5.36	5.51	5.4
19	5.14	5.61	5.4
20	5.74	5.99	5.9
21	5.18	5.45	5.3
22	5.96	5.67	5.8
23	5.99	5.74	5.9
24	5.72	5.41	5.6
25	5.74	5.3	5.5
26	5.89	5.64	5.8
27	5.34	5.34	5.3
28	5.03	4.54	4.8
29	5.29	5.32	5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7จ (ต่อ) ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 300 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
30	5.11	5.31	5.2
31	5.42	5.02	5.2
32	5.24	5.41	5.3
33	5.25	5.69	5.5
34	5.27	4.54	4.9
35	5.24	5.46	5.4
36	5.65	5.64	5.6
37	5.09	5.08	5.1
38	5.67	5.8	5.7
39	5.34	5.46	5.4
40	5.48	5.29	5.4
41	5.38	5.8	5.6
42	5.38	6.36	5.9
43	5.97	5.75	5.9
44	5.41	5.62	5.5
45	5.24	5.45	5.3
46	5.52	5.65	5.6
47	5.8	5.94	5.9
48	5.98	5.98	6.0
49	5.89	5.55	5.7
50	5.67	5.44	5.6
51	5.61	5.55	5.6
52	6.28	5.99	6.1
53	6.11	6.05	6.1
54	6.3	5.97	6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 300 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
1	3.72	3.63	3.7
2	3.9	3.85	3.9
3	4.08	3.82	4.0
4	3.79	4	3.9
5	3.94	3.97	4.0
6	4.03	3.88	4.0
7	4.02	3.89	4.0
8	4.07	4.1	4.1
9	3.87	3.73	3.8
10	4.72	3.53	4.1
11	4.15	3.84	4.0
12	3.91	4.46	4.2
13	3.98	4.21	4.1
14	4.26	4.12	4.2
15	4.41	4.23	4.3
16	3.91	3.85	3.9
17	3.57	4.45	4.0
18	4.1	4.19	4.1
19	3.96	4.08	4.0
20	3.9	3.87	3.9
21	4.17	4.11	4.1
22	4.19	4.52	4.4
23	4.46	4.32	4.4
24	4.08	4.3	4.2
25	3.59	3.74	3.7
26	4.37	4.5	4.4
27	4.09	3.95	4.0
28	3.93	3.93	3.9
29	3.83	3.84	3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8จ (ต่อ) ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 300 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
30	3.96	4.33	4.1
31	3.98	4.11	4.0
32	3.96	4.33	4.1
33	3.72	3.61	3.7
34	4.22	4.43	4.3
35	4.13	3.82	4.0
36	4.53	3.84	4.2
37	3.49	4.84	4.2
38	4.07	3.96	4.0
39	4.27	4.03	4.2
40	4.26	3.77	4.0
41	3.93	4	4.0
42	3.98	4.14	4.1
43	4.32	4.34	4.3
44	3.51	4.92	4.2
45	3.89	4.15	4.0
46	4.59	3.62	4.1
47	4.31	3.62	4.0
48	4.05	3.35	3.7
49	4.6	4.58	4.6
50	4.92	4.45	4.7
51	4.25	4.21	4.2
52	3.97	3.99	4.0
53	4.35	3.94	4.1
54	4.08	3.9	4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9จ ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 300 ppm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
1	3.14	3.3	3.2
2	3.39	3.01	3.2
3	3.58	3.77	3.7
4	3.62	3.4	3.5
5	3.2	3.45	3.3
6	3.37	3.4	3.4
7	3.77	3.8	3.8
8	3.51	3.42	3.5
9	3.39	3.12	3.3
10	3.44	3.29	3.4
11	3.51	3.52	3.5
12	3.6	3.42	3.5
13	3.51	3.79	3.7
14	3.35	3.49	3.4
15	3.57	3.41	3.5
16	3.22	3.06	3.1
17	3.47	3.11	3.3
18	3.44	3.52	3.5
19	3.65	3.72	3.7
20	3.31	3.76	3.5
21	3.31	3.52	3.4
22	3.77	3.49	3.6
23	3.5	3.51	3.5
24	3.32	3.21	3.3
25	3.27	2.97	3.1
26	3.41	3.34	3.4
27	3.5	3.46	3.5
28	3.11	3.45	3.3
29	3.46	3.35	3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9จ (ต่อ) ข้อมูลดิบ การวัดค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ความเข้มข้น 300 ppm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

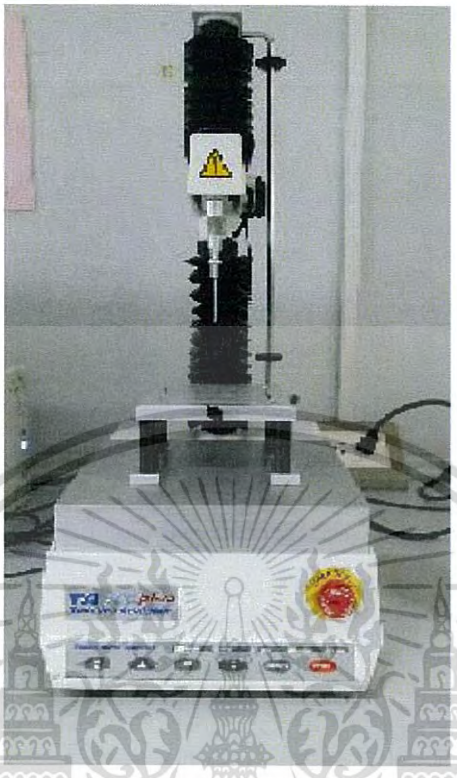
ลูกที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย (g/cm)
30	3.42	3.44	3.4
31	3.65	3.54	3.6
32	3.14	3.35	3.2
33	2.98	3.26	3.1
34	3.76	3.77	3.8
35	3.04	3.31	3.2
36	3.23	3.11	3.2
37	2.99	2.92	3.0
38	3.29	3.34	3.3
39	3.75	3.48	3.6
40	3.22	3.88	3.6
41	3.66	3.25	3.5
42	3.35	3.19	3.3
43	3.5	3.24	3.4
44	3.66	3.6	3.6
45	3.61	3.26	3.4
46	3.27	3.45	3.4
47	3.48	3.62	3.6
48	3.39	3.63	3.5
49	3.78	3.43	3.6
50	3.43	3.31	3.4
51	3.35	3.09	3.2
52	3.6	3.08	3.3
53	3.54	3.42	3.5
54	3.31	3.11	3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
(อุปกรณ์เครื่องวัด texture analysis รุ่น TA-XT Plus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์เครื่องวัด texture analysis รุ่น TA-XT Plus



ภาพที่ 1ฉ เครื่อง texture analyzer รุ่น TA-XT Plus

ภาพที่ 2ฉ หัว probe P/5S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ๓๓ ตุ้มน้ำหนักสำหรับตั้งค่าเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล : นางสาวสิริกาญจน์ บุญเปี่ยม

วัน/เดือน/ปี เกิด : 2 กันยายน 2532

ที่อยู่ : บ้านเลขที่ 90/232 ซอยสุวินทวงศ์ 38 ถนนสุวินทวงศ์ แขวงลำผักชี เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร

E-mail : PS_Boonpiam@hotmail.com

ประวัติการศึกษา :

- สำเร็จการศึกษามัธยมปลาย สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียน เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2550
- สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) ปีการศึกษา 2554
- เข้าศึกษาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาการจัดการความปลอดภัยอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี การศึกษา 2557 และสำเร็จการศึกษาในปี 2559

ประสบการณ์ในการทำงาน :

- ก.พ. 2556 - มี.ค. 2557 : Production Supervisor

ณ บริษัท ยูอาร์ซี (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร

- มี.ค. 2557 - ก.ค. 2557 : Research Development Assistant Manager

ณ บริษัท เอสไอพี สยามอินเตอร์ แปซิฟิค จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร

- ส.ค. 2559 – ปัจจุบัน : Quality Assurance Incoming – Outgoing Supervisor

ณ บริษัท นูทริกซ์ จำกัด (มหาชน) จังหวัดฉะเชิงเทรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้