



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายสำหรับลูกชิ้นหมูโดยเทคนิคการวิเคราะห์การ  
ดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด  
Nondestructive detection of quality for pork meatball by near infrared  
spectroscopy

นายสนธิสุข ชีระชัยชยติ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย  
จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560  
คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายสำหรับลูกชิ้นหมูโดยเทคนิคการวิเคราะห์การ  
ดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด  
Nondestructive detection of quality for pork meatball by near infrared  
spectroscopy

นายธนธิสุข ชีระชัยชยติ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย  
จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

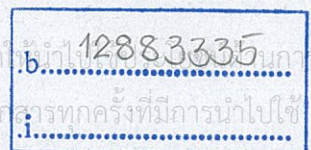
RCH

81927

2560

149342

น. เดือน ๓.3 ก.ย. 2561



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้  
b.....12883335.....  
i.....  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายสำหรับลูกชิ้นหมูโดยเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

ชื่อโครงการ Nondestructive detection of quality for pork meatball by near infrared spectroscopy

แหล่งเงิน เงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2560 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 80,000 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี (1 ตุลาคม 2559 - 30 กันยายน 2560)

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

รศ.ดร. สนธิสุข วีระชัยชยติ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

สารบอแรกซ์ จัดเป็นวัตถุห้ามใช้ในอาหาร มักจะใส่ในอาหารเพื่อให้อาหารมีความกรอบ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบได้ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู แต่มันมีพิษและเป็นอันตรายต่อคน โดยเฉพาะเด็กและคนชรา เทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบสะท้อนในช่วงความยาวคลื่น 680-2500 นาโนเมตร ถูกนำมาใช้เพื่อคัดแยกคุณภาพของลูกชิ้นหมู ที่ไม่มีการปนเปื้อนและที่มีการปนเปื้อนสารบอแรกซ์ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ (50, 100, 300 ppm) ในการทดลองนี้ข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยของลูกชิ้นหมูที่นำมาใช้ในการสร้างสมการ จะผ่านกระบวนการปรับปรุงข้อมูลทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ ก่อน และนำข้อมูลมาสร้างสมการโดยวิธี partial least squares regression และวิเคราะห์การคัดแยกด้วยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLSDA) แบ่งกลุ่มตัวอย่างสำหรับสร้างสมการ (calibration set) จำนวน 648 ตัวอย่าง กำหนดค่าเป็น 0 สำหรับลูกชิ้นหมูที่ไม่มีการปนเปื้อนสารบอแรกซ์ และ 1 สำหรับลูกชิ้นหมูที่มีการปนเปื้อนสารบอแรกซ์ ผลการวิเคราะห์พบว่า ลูกชิ้นหมูที่มีการปนเปื้อนสารบอแรกซ์จะมีความยืดหยุ่นสูงกว่าและแปรเปลี่ยนไปตามความเข้มข้น ข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม (original spectra) สามารถสร้างสมการและนำไปทำนายในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทำนาย (prediction set) จำนวน 454 ตัวอย่าง ได้แม่นยำที่สุด (99.78%) ดังนั้น เทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบสะท้อนมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการคัดแยกคุณภาพแบบไม่ทำลายสำหรับลูกชิ้นหมูที่มีการปนเปื้อนสารบอแรกซ์

คำสำคัญ: ลูกชิ้นหมู, สารบอแรกซ์, การคัดแยก, คุณภาพ, ความปลอดภัยในอาหาร

## Abstract

Borax is classified as a chemical hazard in food. It can be used to improve shelf-life, appearance and texture in meatballs but borax toxicity is clearly dangerous for both children and adults. Reflectance near infrared (NIR) spectroscopy in the wavelength range 680-2500 nm was carried out as a non-destructive technique in order to classify groups of meatball without borax and containing borax in various concentrations (50, 100, 300 ppm). The averaged spectra of meatballs were used as well as spectral pretreatments were investigated in this study. Partial least squares discriminant analysis (PLSDA) was performed to establish a model for classification using partial least squares regression in a calibration set (N=648) using values of 0 for meatball without borax and 1 for meatball containing borax. The results showed that a group of meatball containing borax had higher texture and related to concentration. The model from the original spectra obtained the best accuracy (99.78%) for classification in a prediction set (N=454). Therefore the reflectance NIR spectroscopy is possible to use for nondestructive classification of meatball containing borax.

Keywords: meatball, borax, classification, quality, food safety

## กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหารลาดกระบัง ที่อนุมัติเงินงบประมาณเพื่อมาสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นด้วยดี

รศ.ดร.สนธิสุข ชีระชัยชยติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บอแรกซ์.....	4
2.2 อินฟราเรดย่านใกล้ สเปกโทรสโกปี.....	7
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	24
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	24
3.2 วิธีการทดลอง.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	29
4.1 การสร้างสมการในการคัดแยกลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมู ที่ใส่สารบอแรกซ์.....	29
4.2 การสร้างสมการในการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออก จากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ตามระดับความเข้มข้นของสารบอแรกซ์.....	43
4.3 การสร้างสมการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู.....	46

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	50
เอกสารอ้างอิง .....	52
ภาคผนวก .....	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญัตินี้

ตารางที่	หน้า
2.1 ลำดับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดในแถบสเปกตรัมโดยเรียงจากพลังงานสูงไปต่ำ.....	8
2.2 การแบ่งช่วงของรังสีอินฟราเรด.....	9
2.3 การใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	10
2.4 เกณฑ์การพิจารณาค่า R และ R <sup>2</sup> .....	21
2.5 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRS .....	21
4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	30
4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS- DA.....	31
4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (20°C).....	34
4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (20°C).....	34
4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (30°C).....	36
4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (30°C).....	36
4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (40°C).....	38

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (40°C).....	39
4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (20°C ทำนาย 40°C).....	40
4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (20°C ทำนาย 30°C).....	41
4.11 (a) แสดงค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์เข้มข้น 50 ppm .....	43
4.11 (b) แสดงค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์เข้มข้น 100 ppm .....	43
4.11 (c) แสดงค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์เข้มข้น 300 ppm .....	43
4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	44
4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์.....	47
4.14 แสดงค่าความแม่นยำในการสร้างสมการในการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....	47
4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู.....	48

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 รูปแบบการวัด (a) transmittance, (b) reflectance, (c) transflectance และ (d) interactance.....	11
2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล NIRS .....	13
2.3 ผลของการเฉลี่ยเคลื่อนที่ และ Savitzky-Golay smooth ที่มีต่อยอดของสเปกตรัม A คือ สเปกตรัมเริ่มต้น B คือ สเปกตรัมที่มีสัญญาณรบกวน C คือ สเปกตรัมที่ผ่าน การเฉลี่ยเคลื่อนที่ D คือ สเปกตรัมที่ผ่านการทำให้เรียบด้วย Savitzky-Golay .....	15
2.4 ตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ก่อนทำการปรับแก้ด้วย MSC .....	17
2.5 ตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาค หลังทำการปรับแก้ด้วย MSC .....	17
3.1 ขั้นตอนการผลิตลูกชิ้นหมูที่ใส่และไม่ใส่สารบอแรกซ์.....	26
4.1 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ .....	32
4.2 แสดงกราฟ original การดูดกลืนแสงของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ข้อมูลเฉลี่ย ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) กลุ่มลูกชิ้นหมูที่ ไม่ใส่สารบอแรกซ์ และสารบอแรกซ์บริสุทธิ์.....	32
4.3 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และกลุ่มลูกชิ้นหมู ที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (20°C).....	35
4.4 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (30°C).....	37
4.5 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (40°C).....	39
4.6 แสดงการทำนายโดยกำหนดให้ลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 20°C ทำนายลูกชิ้น ที่มีอุณหภูมิ 40°C.....	41
4.7 แสดงการทำนายโดยกำหนดให้ลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 20°C ทำนายลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 30°C.....	42
4.8 แสดงความแม่นยำในการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่ม ลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆ (a) ลูกชิ้นหมูที่ใส่ สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 50 ppm (b) ลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 100 ppm และ (c) ลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 300 ppm .....	45
4.9 แสดงผลการทำนายค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมู (a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ (b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ.....	48
ผ 1 แสดงขั้นตอนต่างๆในงานวิจัย.....	57

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ความปลอดภัยในอาหารนั้นเป็นเรื่องสำคัญของมนุษย์ทุกคน เพราะมนุษย์จะต้องมีการบริโภคอาหารเพื่อการดำรงชีวิต อาหารนั้นจะต้องมีประโยชน์ต่อร่างกายและยังต้องมีคุณภาพ ในด้านความสะอาดและถูกสุขลักษณะ ซึ่งต้องปราศจากสิ่งเจือปนที่เป็นอันตรายทั้งทางกายภาพ จุลินทรีย์ และเคมี เพราะจะทำให้มีผลเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ตั้งแต่มีอาการเจ็บป่วย ไปจนถึงขั้นเสียชีวิต (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 ตำรวจสถานการณ์ของ สารบอแรกซ์ วัตถุห้ามใช้ในอาหาร พบว่ามีการใช้สารนี้ในอัตราที่สูง (ชนินทร์ และคณะ, 2542) ซึ่งทางสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (2542) ได้มีการออกประกาศเตือนประชาชนที่บริโภคอยู่เป็นประจำและได้ดำเนินการต่อผู้ผลิตผู้จำหน่ายอย่างเข้มงวดโดยมีการใช้มาตรการทางกฎหมาย แต่ก็ยังมีการฝ่าฝืนอยู่เสมอและยังมีการพบว่า มีการจำหน่ายสารบอแรกซ์กันอย่างเสรี

นอกจากนั้น ปี พ.ศ.2531 ทางกระทรวงอุตสาหกรรมได้มีการออก “ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม เรื่อง ระบุวัตถุมีพิษธรรมดา ตามพระราชบัญญัติวัตถุมีพิษ ฉบับที่ 41 พ.ศ. 2531” ซึ่ง ประกาศให้ กรดบอริก, บอแรกซ์, บอแรกซ์ เพนตะไฮเดรต และบอแรกซ์ เตคาไฮเดรต เป็น วัตถุมีพิษและได้มีการยกเลิกไป ต่อมาภายหลังได้มีประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก (2544) เรื่อง ให้สารบอแรกซ์เป็นสินค้าที่ควบคุมฉลาก ฉบับที่ 8 พ.ศ.2544” ให้แสดงคำเตือนที่บรรจุภัณฑ์ว่า “อันตราย อาจทำให้ไตวาย ห้ามใช้ในอาหาร” โดยใช้ตัวอักษรสีแดงขนาดใหญ่กว่าตัวอักษรอื่น

ในการตรวจวิเคราะห์หาสารบอแรกซ์ปลอมปนในอาหาร ในปัจจุบันมีวิธีการตรวจ วิเคราะห์สารบอแรกซ์ที่ให้ผลในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งวิธีการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพ นั้น สามารถใช้ test kit ที่ทางสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายสามารถใช้ ทดสอบได้ในเบื้องต้น โดยการใช้น้ำยาทดสอบ เริ่มจากทำการสับตัวอย่างอาหารให้มีขนาดเล็กแล้ว หยคน้ำยาทดสอบลงไป จากนั้นจุ่มกระดาษขมิ้นเพื่อทำการทดสอบ โดยนำไปตากแดด 10 นาที แล้วนำกระดาษขมิ้นมาตรวจสอบสี ซึ่งหากมีปริมาณสารบอแรกซ์ในตัวอย่างอาหาร กระดาษขมิ้น จะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีส้ม ซึ่งวิธีการตรวจวิเคราะห์นี้มีข้อจำกัดคือ สามารถตรวจสอบ อาหารที่มีการปนเปื้อนของสารบอแรกซ์อยู่ในตัวอย่างอาหารต้องมีค่ามากกว่า 100 ppm เป็นวิธี แบบทำลายตัวอย่าง อีกทั้งยังมีการใช้สารเคมีทำให้เป็นพิษแก่ธรรมชาติ

วิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณในการหาสารบอแรกซ์โดยการใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ มีข้อจำกัดคือ มีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน เป็นวิธี แบบทำลายตัวอย่าง อีกทั้งยังใช้พลังงานสิ้นเปลือง

ในปัจจุบันนี้ได้มีเทคนิคการวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ (near-infrared) นำมา ประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถวัดได้โดยตรงเข้าไปในเนื้อตัวอย่างโดยไม่ถูกทำลาย และสามารถวัดได้หลายรูปแบบจึงได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง มีการใช้พลังงานคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่อินฟราเรดย่านใกล้ ที่นำไปสู่วิธีการเพื่อใช้ในกระบวนการควบคุมและ ประกันคุณภาพมาตรฐานสินค้าโดยเป็นวิธีที่ยอมรับอย่างเป็นทางการ (official method) ซึ่งเป็น เครื่องมือที่สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ทำให้ประหยัดเวลา และลดต้นทุน การผลิตได้ในระยะยาว ซึ่งเทคนิคนี้มีการใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในกลุ่มอุตสาหกรรมทั้งที่เป็น อาหารและไม่ใช่อาหาร (food industries and non-food industries) และผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานด้าน นี้จะต้องเรียนรู้ด้านวิชาเคโมเมตริกซ์ (chemo metric) (สุมาพร, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาสมการสำหรับการคัดแยกลูกชิ้นหมูที่มีสารบอแรกซ์ กับไม่มีสารบอแรกซ์ จากเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อให้ได้สมการสำหรับการทำนายคุณภาพลูกชิ้นหมูที่มีสารบอแรกซ์กับไม่มีสารบอแรกซ์ จากความยืดหยุ่นที่ใช้สารบอแรกซ์ผสมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จากเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะทำการผลิตลูกชิ้นหมูชนิดไม่เติมและเติมสารบอแรกซ์ที่ระดับต่างๆ (50, 100 และ 300 ppm) จากนั้นนำมาทำการวัดการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดโดยใช้ NIR spectrophotometer และปรับอุณหภูมิขณะวัดที่ระดับต่างๆ (20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส) จากนั้นทำการวัดความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ไม่มีสารบอแรกซ์ (control) กับลูกชิ้นที่มีสารบอแรกซ์ และทำการวิเคราะห์เพื่อทำนายความยืดหยุ่นโดยใช้วิธีการสร้างสมการจากข้อมูลการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด และใช้เทคนิคการปรับแต่งสเปกตรัมแบบต่างๆ เพื่อให้ได้สมการที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ทำการตรวจสอบความแม่นยำในการทำนาย จากนั้นสรุปผลการสร้างและทดสอบการทำนายคุณภาพลูกชิ้นหมูที่มีสารบอแรกซ์กับไม่มีสารบอแรกซ์จากความยืดหยุ่นด้วยเทคนิค NIR

## 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 pyroborate) โซเดียมเตตราบอเรต เดคาไฮเดรต (sodium tetraborate decahydrate) ไดโซเดียมเตตราบอเรต เดคาไฮเดรต (disodium tetraborate decahydrate) ชื่อทางการค้าของบอแรกซ์ คือ น้ำประสานทอง ผงกรอบ สารขาวตอก ผงกันบูด และเพ่งแซ เป็นต้น มีสูตรทางเคมีว่า  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  มีน้ำหนักโมเลกุล 381.4 ลักษณะไม่มีกลิ่น เป็นผลึก ละเอียดหรือเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ 95% (ปราณี, 2529)

#### 2.1.2 การใช้บอแรกซ์ในอุตสาหกรรม

บอแรกซ์ (borax) เป็นสารเคมีที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมทำแก้วเพื่อช่วยให้เกิดความเหนียวแข็งแรง ใช้เป็นส่วนผสมในการฉาบภาชนะเครื่องเคลือบดินเผาเพื่อให้ความมันวาว ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางใช้เป็นวัตถุกันเสียช่วยหยุดยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในแป้งทาตัว อุตสาหกรรมทำยาเป็นยาฝาดสมาน (astringent) ใช้เป็นส่วนผสมในยาทาร์กยาโรคผิวหนัง ยาฆ่าเชื้อโรค ยากลิ้วคอ ยาล้างตา นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารประสานในการเชื่อมทอง ในอุตสาหกรรมฟอกหนังใช้เป็นยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อราเพื่อรักษาเนื้อไม้ ยากำจัดตะไคร่น้ำในสระว่ายน้ำ ใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้ชุบเคลือบโลหะ ใช้ในการผลิตถ่านไฟฉาย ใช้ทำสบู่ น้ำยาคัดผม ทำปุ๋ย เป็นต้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากบอแรกซ์ มีคุณสมบัติทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) กับ สารประกอบอินทรีย์ โพลีไฮดรอกซี (organic polyhydroxy compound) ทำให้เกิดลักษณะหุ่ยน กรอบ และยังมีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันเสีย จึงทำให้เกิดการนำเอาบอแรกซ์ผสมลงไปในกลุ่มขึ้น หมูยอ ทอดมัน ไม้สักกรอบ แป้งกรอบ ลอดช่อง ผงวุ้น ทับทิมกรอบ มะม่วงคอง ผักกาดคอง ผักกาดแก้ว เพื่อให้อาหารเหล่านั้นมีความกรอบ แข็ง คงตัวอยู่ได้นาน และยังมีกรพบว่ามีกรนำเอาบอแรกซ์ ไปละลายน้ำ แล้วทาหรือชุบลงในเนื้อหมู เนื้อวัว เพื่อให้ดูสดตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีการใช้ ปลอมปนมากับผงชูรสอีกด้วย เนื่องจากบอแรกซ์มีลักษณะภายนอกเป็นผลึกคล้ายคลึงกับผลึกของ ผงชูรส (ปราณี, 2529)

### 2.1.3 กลไกการเกิดพิษของบอแรกซ์

สารประกอบโบรอนที่นิยมใช้กันมาก คือ กรดบอริก (boric acid) และบอแรกซ์ (borax) ซึ่ง สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่ได้รับอย่างเป็นประจำ พิษของบอแรกซ์มีผลต่อเซลล์ของร่างกาย เกือบทั้งหมด เมื่อร่างกายได้รับเข้าไปแล้วจะทำให้เกิดความผิดปกติ รุนแรงมากขึ้นกับความ เข้มข้นของสารบอแรกซ์ที่ร่างกายได้รับ และเกิดการสะสมในอวัยวะ โดยเฉพาะไต เป็นอวัยวะที่ ได้รับผลกระทบมากที่สุด อาการจะปรากฏให้เห็นภายใน 1 สัปดาห์ ส่วนกระเพาะอาหารและลำไส้ จะอักเสบ ตับถูกทำลาย สมองบวมซ้ำ และมีการกั่งของเลือด อาการทั่วไป มีไข้ ผิวหนังมีลักษณะแตก เป็นแผล บวมแดงคล้ายถูกน้ำร้อนลวก อาจมีปัสสาวะออกน้อย หรือไม่ออกเลยเนื่องจาก สมรรถภาพ การทำงานของไตล้มเหลว (ปราณี, 2529)

สารประกอบโบรอนที่เข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทาน จะถูกดูดซึมได้เกือบทั้งหมด จาก ทางเดินอาหาร ส่วนกลไกทางชีวเคมีในร่างกาย ซึ่งทำให้เกิดอาการเป็นพิษ พบว่าสารบอแรกซ์ที่ รับประทานเข้าไปนั้น จะไปสะสมในสมองของส่วนกลาง (central nervous system) และไปลด oxygen uptake, ammonia formation, glutamic synthetic และ oxidation ของ adrenalin บอแรกซ์นั้น มีพิษต่อเซลล์ของร่างกายเกือบทั้งหมด และมีผลโดยตรงต่ออวัยวะของร่างกาย (ปราณี, 2529)

ในกรณีที่ได้รับสารประกอบโบรอนเพียงครั้งเดียวในจำนวนมากๆ หรือได้รับติดต่อกัน หลายครั้ง จะพบการสะสมของโบรอนได้ในสมองและตับ ระบบประสาทส่วนกลางถูกรบกวน (central nervous system irritation) สมองบวมซ้ำ มีการกั่งของโลหิต ตับถูกทำลาย (ปราณี, 2529)

### 2.1.4 อาการเป็นพิษของบอแรกซ์

ในปี ค.ศ. 1904 ได้มีรายงานการทดลองให้อาสาสมัครบริโภครอบอริกมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อวัน เป็นระยะเวลา 50 วันจะมีอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร รบกวนระบบย่อยอาหาร และสุขภาพ ดังนั้นความเห็นที่ว่าสาร โบรอนเป็นอันตรายต่อสุขภาพจึงมีน้ำหนักมากขึ้น 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 และในหนูทดลองปรากฏว่าหนูที่ได้รับบอแรกซ์หรือกรดบอริก ในปริมาณสูงๆ ติดต่อกันเป็นเวลานานๆ จะทำให้การเจริญเติบโตของหนูลดลง กินอาหารได้น้อย ผิวหนังที่ฝ่าเท้าและหลังลอก และถ้าให้บอแรกซ์ขนาด 1,750 - 5,250 ppm ในอาหารที่ให้หนูกิน 90 วันต่อเนื่อง จะมีผลทำให้อวัยวะสืบพันธุ์ การตกไข่ลดลง และถ้าให้บอแรกซ์ขนาด 1,000 - 2,000 ppm 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 (วารสาร, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6 การขับถ่ายบอแรกซ์ออกจากร่างกาย

บอแรกซ์ที่เข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานนั้น จะถูกดูดซึมได้เกือบทั้งหมด ที่ทางเดินอาหาร การขับถ่ายส่วนใหญ่ถูกขับผ่านทางไตออกมากับปัสสาวะ 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) ว่าเป็นแสงที่ถ้อยจากแสงสีแดง 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)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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) และส่วนที่มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก (magnetic field) ซึ่งมีระยะระหว่างยอดคลื่นที่อยู่ติดกันเรียกว่า “ความยาวคลื่น” คุณสมบัติที่เป็นคลื่นสามารถเกิดปรากฏการณ์เกี่ยวกับการสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) การเลี้ยวเบน (diffraction) หรือการกระเจิง (scattering)

### 2.2.2.2 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงลำดับแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดเริ่มตั้งแต่รังสีสูงสุดจนถึงคลื่นวิทยุที่มีพลังงานต่ำสุด (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ลำดับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดในแถบสเปกตรัมโดยเรียงจากพลังงานสูงไปต่ำ

พลังงาน (kJ / mol)	เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	ความยาว คลื่น (nm)	ความถี่ (Hz)	ชนิดรังสี	ชนิดการ เปลี่ยนแปลง
$10^3 - 10^5$	$10^7 - 10^9$	1 - 0.01	$10^{17} - 10^{19}$	เอ็กซ์	อิเล็กตรอน วงใน
$3 \times 10^2 - 10^3$	$2,500 - 10^7$	400 - 1	$10^{14} - 10^{17}$	อัลตรา- ไวโอเล็ต	อิเล็กตรอน วงนอก
$150 - 3 \times 10^2$	12,500 - 25,000	800 - 400	$4 \times 10^{14} - 8 \times 10^{14}$	วิสิเบิล	อิเล็กตรอน วงนอก
48 - 150	4,000 - 12,500	2,500 - 800	$10^{14} - 4 \times 10^{14}$	อินฟราเรด ย่านใกล้	การสั่นของ โมเลกุล
$< 10^{-5}$	$< 0.1$	$< 10^5$	$< 3 \times 10^9$	คลื่นวิทยุ	เหนี่ยวนำ แม่เหล็ก

ที่มา: ดัดแปลงจาก ศุมาพร (2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 การเกิดอันตรกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร (radiation interaction)

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

ตารางที่ 2.2 การแบ่งช่วงของรังสีอินฟราเรด

ช่วง	ความยาวคลื่น (nm)	จำนวนคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	ย่านอันตรกิริยา
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	800 – 2,500	12,500 – 4,000	โอเวอร์โทน, คอมบินั่น
อินฟราเรดย่านกลาง (MIR)	2,500 – 25,000	4,000 – 400	การสั่นแบบ พื้นฐาน
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 คือการที่โมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เข้าไปมีผลต่อการสั่นของพันธะต่างๆ ในโมเลกุล ระดับการดูดกลืนรังสีของสสารต่างๆ จะเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งจะปรากฏออกมาเป็นสเปกตรัม เพื่อนำไปทำการประมวลผลในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ (สุมาพร, 2555)

### ตารางที่ 2.3 การใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	ประโยชน์
เอ็กซ์เรย์ (X-Ray)	ศึกษาการแทรกซึมจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state) ในระดับพลังงานอิเล็กตรอน (electron energy level) ที่มีหมายเลขควอนตัมเป็น 1, 2 หรือ 3 เมื่อแต่ละธาตุเกิดการแทรกซึมจะให้พลังงานออกมาเป็นค่าเฉพาะตัวซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของแต่ละธาตุ ส่วนความยาวคลื่นและความเข้มของรังสีที่ปลดปล่อยออกมานั้นจะใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์
อัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล (UV – Visible)	ศึกษาการดูดกลืนรังสี อัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล โดยโมเลกุลของตัวอย่าง การดูดกลืนแสงนี้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนตัวนอกสุด 1 ตัวถูกกระตุ้นให้เคลื่อนออกจากออร์บิทัลโดยสถานะพื้นไปยังสถานะถูกกระตุ้น การดูดกลืนจึงขึ้นกับโครงสร้างอิเล็กตรอนของโมเลกุลเป็นสำคัญ
อินฟราเรดย่านใกล้ (NIR)	โมเลกุลที่ประกอบด้วย X-H, X=C, N, O,... สามารถเกิดอันตรกิริยากับรังสีทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นและ เปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นแบบข้ามชั้น สามารถใช้สเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIR ไปใช้เพื่อการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ
อินฟราเรดย่านกลาง (MIR)	ศึกษาการสั่นของโมเลกุล ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อหาหมู่ฟังก์ชัน โดยพิจารณาจากค่าความถี่ของการสั่นของกรุปต่างๆ ที่มีความจำเพาะ
ไมโครเวฟ (microwave)	ใช้การศึกษาการหมุนของโมเลกุล โมเลกุลที่สามารถหมุนได้จะต้องมีโมเมนต์ขั้วคู่อย่างถาวร เช่น CO, HCl เมื่อโมเลกุลหมุนจะเกิดสนามไฟฟ้าที่ทำปฏิกิริยาร่วมกับส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟได้

ที่มา: สุมาพร (2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 รูปแบบที่วัดคุณสมบัติปฏิกิริยาต่อแสงย่านใกล้อินฟราเรด

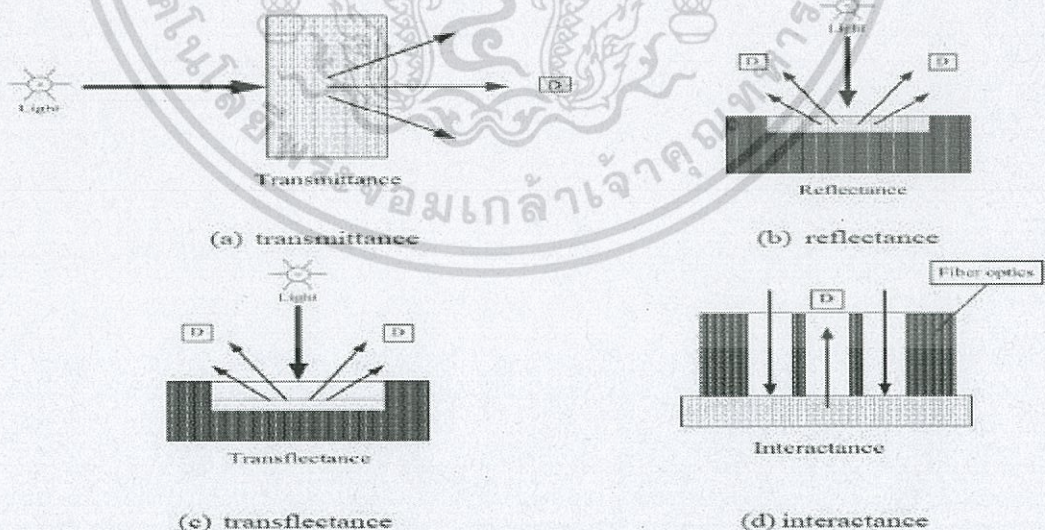
เครื่อง NIR spectroscopy จะทำการปล่อยแสงผ่านไปที่ตัวอย่าง แล้วจะเกิดการกระทำกับสารในตัวอย่างได้หลายรูปแบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดการวางตัวอย่างก่อนทำการวัดด้วย NIR เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณค่าที่เคมีที่สนใจ (สุมาพร, 2545)

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 ซึ่งแสงเกิดจากแหล่งกำเนิด ย่านใกล้อินฟราเรด 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: คัดแปลงจาก Kawano (2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

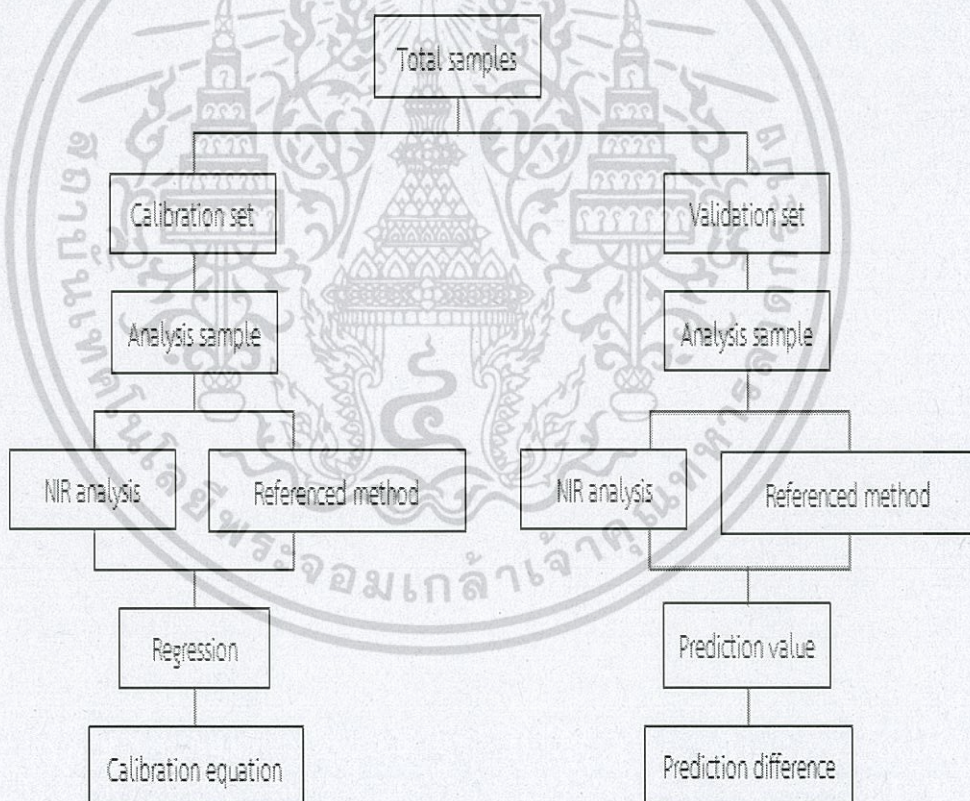
## 2.2.5 ข้อได้เปรียบของการใช้เทคนิค NIRS (วารุณี, 2545)

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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล near infrared spectra

ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ในการทำนาย (calibration set) และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น (validation set) โดยการสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายนั้นทำให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการทราบ และจะต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จากการทำ calibration นั้นมาทำการตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของสมการ เมื่อได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงนำสมการไปใช้ทำนายคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาจากสเปกตรัม NIR ที่ทำการวัดออกมาได้ (ภาพที่ 2.2) โดยที่กลุ่มตัวอย่างที่ดีจะต้องมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์อย่างเพียงพอ (Kawano *et al.*, 1992)

ซึ่งจะต้องมีการสุ่มตัวอย่างเนื่องจากในการสุ่มตัวอย่างนั้นถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการที่จะได้สมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ดี ทำให้ค่าผิดพลาดที่ได้จากการทดสอบลดลง ซึ่งจะเป็นวิธีมาตรฐานและมีความแม่นยำ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด เนื่องจากมันจะส่งผลกระทบต่อสมการที่สร้างขึ้น (Kawano, 2007)

## 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)

เป็นการทำให้ค่ามาตรฐานที่เป็นค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆ มาหารด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น ผลที่ได้คือจะทำให้ความแปรปรวนของสเปกตรัมที่ทุกๆ ความยาวคลื่นนั้นมีค่าเท่ากับ 1 หรืออาจทำให้ตัวแปรในโมเดลนั้นๆ มีค่าเท่ากันทั้งหมด ซึ่งนิยมใช้ในกรณีที่มีหลายตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.2.7.4 การลดสัญญาณรบกวน

โดยเครื่องมือทั่วไปที่ใช้สำหรับการวัดสเปกตรัมของรังสียานใกล้อินฟราเรด จะถูกออกแบบให้มีความคลาดเคลื่อนต่ำในการวัดค่า  $\log(1/R)$  และค่าความยาวคลื่น ซึ่งบางครั้งอาจเกิดจากสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงหรือสาเหตุอื่นๆ ที่สามารถส่งผลทำให้สเปกตรัมไม่เรียบ

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

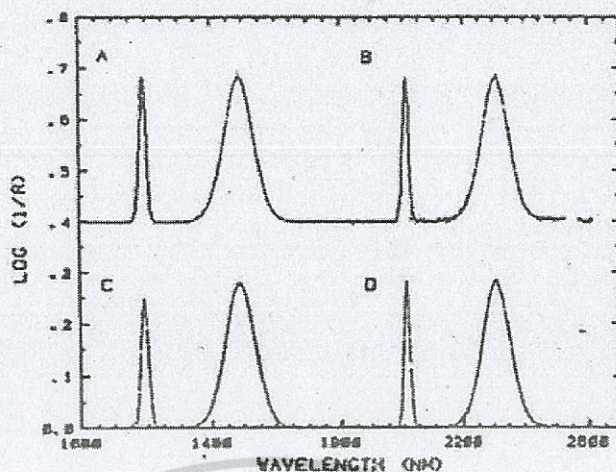
#### 2.2.7.5 การเฉลี่ยเคลื่อนที่ (running mean smooth or n - point smooth)

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, 2555)

### 2.2.8.1 การแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ (derivative transformation)

#### 1. อนุพันธ์อันดับ 1 (first derivative)

เป็นการหาความชันของสเปกตรัมสามารถช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าที่เพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือจากการเคลื่อนตัวของสเปกตรัมในแกน Y อันเนื่องมาจากอิทธิพลของความชื้นที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุดิบ และขนาดของอนุภาคที่ความแตกต่างกัน ซึ่งการทำ first derivative จะทำให้การแปลความหมายนั้นได้ยาก จึงทำให้หันมาใช้วิธี second derivative มากกว่า first derivative ซึ่งจะนิยมใช้กับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอและมีความกระจายตัวของอนุภาคอย่างทั่วถึง

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

$$\text{first derivative} = B - A \quad (2.1)$$

โดยที่ A และ B เป็นค่าเฉลี่ยสเปกตรัมของเซกเมนต์ (segments) ที่มีช่วงเท่ากันและอยู่ติดกัน

## 2. อนุพันธ์อันดับ 2 (second derivative)

เป็นการทำการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัม ซึ่งสเปกตรัมที่ได้ นั้นจะมีรูปร่างที่ต่างไปจากสเปกตรัมเริ่มต้น ซึ่งในการหาการเปลี่ยนแปลงของความชัน สามารถแยกจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันอยู่ได้ และสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีนี้ จะมีจุดยอดที่มีค่าเป็นบวกในด้านซ้ายและด้านขวา ส่วนจุดยอดตรงกลางจะอยู่ด้านตรงข้ามที่มีค่ามากที่สุดและบริเวณตรงกึ่งจุดยอดเริ่มต้น ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมนั้นสามารถแยกจุดยอดของสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนกันของสเปกตรัมเริ่มต้นได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีนี้ จึงเป็นวิธีที่นิยมมากกว่าวิธี first derivative

$$\begin{aligned}
 \text{second derivative} &= \text{change in slope} \\
 &= \text{first derivative แรก} - \text{first derivative ถัดมา} \\
 &= (B - A) - (C - B) \\
 \text{second derivative} &= 2B - A - C \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

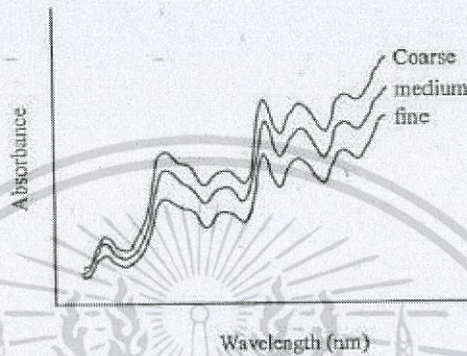
โดยที่ A, B และ C เป็นค่าเฉลี่ยของเซกเมนต์ที่อยู่ติดกันและมีช่วงเซกเมนต์ที่เท่ากัน

## 3. การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative correction, MSC)

เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อลดผลที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattered light) ต่อสเปกตรัม NIR ที่ได้จากการสะท้อนแพร่ (diffuse reflectance) และแบบส่องผ่าน (transmittance) MSC ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้สามารถลดผลกระทบแบบผลคูณ (multiple effect) ได้ด้วย หรือผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงให้เท่ากันตลอดช่วงของความยาวคลื่น วิธีการคือการหามุมสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย ภาพที่ 2.4 แสดงถึงตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันก่อนทำการปรับแก้ด้วย MSC และ ภาพที่ 2.5 แสดงถึงตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคหลังทำการปรับแก้ด้วย MSC

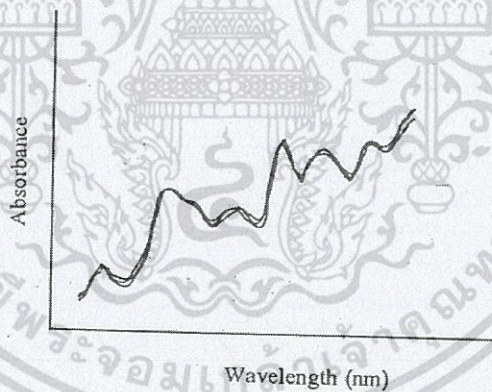
$$X_{i,w} = a_i + b_i x_{i,w} \quad (2.3)$$

โดยที่  $X_{iw}$  = ค่า  $\log(1/R)$  ของตัวอย่างคลื่น  $W$  ของตัวอย่างที่มี  $p$  ความยาวคลื่น  
 $X_w$  = ค่าเฉลี่ย  $\log(1/R)$  ที่มีความยาวคลื่น  $w$  ของตัวอย่างทั้งหมด  
 $W = 1, \dots, p$   
 $a_i$  และ  $b_i$  = ค่าคงที่สำหรับสมการความถดถอยของตัวอย่าง  $i$



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ก่อนทำการปรับแก้ด้วย MSC

ที่มา: อนุพันธ์ (2545)



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาค หลังทำการปรับแก้ด้วย MSC

ที่มา: อนุพันธ์ (2545)

2.2.8.2 วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานและการปรับแนวโน้ม (standard normal variate, SNV และ detrending)

การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (SNV) เป็นวิธีที่มักจะใช้คู่กับการปรับแนวโน้มของเส้นสเปกตรัม (detrending) โดยใช้การปรับแก้ด้วย SNV แล้วจึงตามด้วยการปรับแก้แนวโน้ม

หรือการลดความโน้มเอียงของเส้นสเปกตรัม ทั้งนี้ก็เพื่อปรับแก้ผลที่เกิดจากการกระเจิงแสงที่มักจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลเป็นแบบผลคูณต่อค่าการดูดกลืนแสง โดยผลจากการปรับแก้จะคล้ายกับวิธีการปรับแก้แบบ MSC ส่วนวิธีการปรับแนวโน้มนี้อาจใช้ต่อจากวิธี SNV เพื่อทำการปรับแก้เพิ่มเติมโดยจะเป็นวิธีที่ลดความแปรปรวนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของเส้นสเปกตรัม (baseline shift) แต่โดยทั่วไปแล้วการปรับแบบวิธี SNV อย่างเดียวก็เพียงพอ

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

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 แสดงว่า สมการที่สร้างขึ้นนั้นสามารถนำมาใช้อธิบายค่าทำนายที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ( $X$ ) กับค่าของตัวแปรตาม ( $Y$ ) ที่มีความสัมพันธ์กันมาก

2.2.9.2 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (standard error of calibration; SEC) คือค่าที่บอกถึงสมการที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถนำไปใช้ในการทำนายต่อไปได้หรือไม่ 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 ค่าเฉลี่ยของการทำนายข้อมูลในตัวแปรตาม ( $Y$ ) 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) มาสร้างสมการ โดยทำการลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) และสร้างตัวแปรกลุ่มใหม่ขึ้นมา วิธีทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่ principle component regression (PCR) และ partial least square regression (PLSR)

### 2.2.11 วิธีการทดสอบสมการ (Validation test) (ศุมาพร, 2545)

เมื่อได้สมการ calibration มาแล้วจะต้องนำสมการที่ได้นั้นมาทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของสมการว่าสามารถใช้งานได้จริง สามารถนำมาใช้ในการประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใด ซึ่งวิธีที่นิยมใช้มีดังนี้

2.2.11.1 full cross validation วิธีนี้เป็นการทำการทดสอบในลักษณะทดสอบภายใน (internal validation) ซึ่งจะวัดค่า 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 โดยตัวอย่างชุดใหม่นั้นนำมาวิเคราะห์ต้องมีการเตรียมตัวอย่างและมีการวัดสเปกตรัมในสถานะการทดลองเหมือนกัน รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของสเปกตรัมจะต้องเหมือนกับกลุ่ม calibration set มีข้อควรระวังคือ ตัวอย่างในกลุ่มใหม่นี้จะต้องมีค่าที่ต้องการประเมินต้องอยู่ในช่วงของกลุ่ม calibration set การทดสอบในลักษณะนี้มีวิธีการคือ นำตัวอย่างกลุ่มใหม่มาวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการ เช่น ค่าโปรตีน โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ reference methods แทนค่าข้อมูลชุด x และนำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRS จากนั้นนำค่าที่ได้ไปแทนที่ในสมการ calibration แทนที่ด้วยข้อมูลชุด y นำผลที่ได้จากทั้งสองวิธีมาพิจารณาเปรียบเทียบ โดยมีค่าทางสถิติที่ใช้วัดคือค่า SEP (standard error of prediction) หรือค่า RMSEP (root mean square error of prediction) และ bias ซึ่งค่าทางสถิติ

เหล่านี้จะบอกถึงประสิทธิภาพของสมการ calibration ถ้าผลการทนายปริมาณองค์ประกอบทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคมีใกล้เคียงกับผลที่อ้างอิง และให้ค่าทางสถิติที่ดี แสดงว่าสมการที่ใช้ในการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีนั้นยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ทำนายในตัวอย่างต่อไปได้อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การพิจารณาค่า R และ R<sup>2</sup>

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

ที่มา: Williams (2007)

### 2.2.12 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRS

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเทคนิค NIR คือ ปัจจัยเกี่ยวกับเครื่องมือ ปัจจัยเกี่ยวกับตัวอย่าง และปัจจัยที่เกี่ยวข้องการปฏิบัติของเจ้าหน้าที่ แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRS

ปัจจัยเกี่ยวกับเครื่องมือ	ปัจจัยเกี่ยวกับตัวอย่าง	ปัจจัยเกี่ยวกับการปฏิบัติของเจ้าหน้าที่
มาตราส่วนความยาวคลื่น	องค์ประกอบทางเคมี	การสร้างสมการแคลิเบรชัน
ระดับความเข้มแสง	ความหนาแน่น	การเตรียมตัวอย่าง
การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องมือ	ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง	การเก็บรักษาตัวอย่าง
ฝาปิดหรือชิ้นส่วนที่ใช้ปิดอุปกรณ์ที่ใส่ตัวอย่าง	ปัจจัยเสริมที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ	การบรรจุตัวอย่างในอุปกรณ์ใส่ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิของตัวอย่าง
ความไม่คงที่ของเครื่องมือต่อ เครื่องมือ	อุณหภูมิห้อง
การปรับแต่งสัญญาณทาง คณิตศาสตร์	แพ็คเกจสำหรับการแปรผัน

ที่มา: คัดแปลงจากวารุณี และ สุมาพร (2555)

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bechmann and Jorgensen (1998) ได้ประยุกต์ใช้ NIR diffuse reflectance สแกนปลาสดแช่แข็งจำนวน 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 ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงและค่าแสดงความสะดวกของเนื้อปลา ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่าความสะดวก (freshness) ของเนื้อปลาจะใช้การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความสะดวก เรียกวิธีนี้ว่า quality index method (QIM) โดยคะแนนที่ได้เรียกว่า QIM score อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่าวิธีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสนั้นมีค่าใช้จ่ายสูง และอีกทั้งยังต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง และค่าที่ได้นั้นก็มีความแปรปรวนเนื่องจากหลายตัวแปร เช่น ผู้ทดสอบ ตัวอย่างสภาพแวดล้อม งานวิจัยฉบับนี้จึงได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิค NIR สามารถใช้ในการทำนายค่า QIM score ได้

Lu *et al.*, (2009) ทำการตรวจหาสารเมลามินบริสุทธิ์ในนมผง โดยการใช้ NIRS และใช้หลักการพื้นฐานของ least squares-support vector machine (LS-SVM) และใช้ PLS-DA ช่วยในการจัดแบ่งกลุ่ม (PC) ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยคะแนนข้อมูลใน 2 กลุ่มแรกถูกนำมาใช้ในไลน LS- SVM ดังนั้นเมื่อนำมาเทียบกับ PLS - DA จะเห็นว่าประสิทธิภาพการทำงานของ LS - SVM นั้นดีกว่า มีความแม่นยำสูงถึง 100 % ทั้งในกลุ่มทดสอบ (training set) และกลุ่มปฏิบัติใช้งาน (testing set) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตรวจสอบหาสารเมลามีนบริสุทธิ์ในนมผง สามารถหาได้ในปริมาณที่ต่ำกว่า 1 ppm สรุปได้ว่า NIRS ร่วมกับการวิเคราะห์ LS- SVM เป็นวิธีการที่รวดเร็วและแม่นยำสามารถใช้การตรวจหาเมลามีนบริสุทธิ์ในนมผง

Kapper *et al.*, (2012) ทำการศึกษาทำนายคุณภาพของเนื้อหมูด้วยเทคโนโลยี NIRS ในห้องแลป โดยมีตัวอย่างซี่โครงหมูทั้งหมด 131 ตัวอย่าง โดยทำการสร้างสมการทำนายจาก % การสูญเสียไนโตรเจนในตัวอย่างเนื้อหมู, ค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), และค่ากรด-ด่างที่สูง สำหรับสมการที่ใช้การทำนายมีแสดงถึงซี่โครงหมูมีคุณภาพที่ดีนั้นได้ ค่า  $R^2 > 0.70$  และค่า residual prediction deviation (RPD)  $\geq 1.9$  สำหรับ % การสูญเสียไนโตรเจนในตัวอย่างเนื้อหมู สมการที่ได้ มีค่า  $R^2 = 0.73$  และ RPD = 1.9 และมีการจัดกลุ่มทำ 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) จากค่าที่ได้สามารถทำให้สรุปสมการทำนายว่า % การสูญเสียไนโตรเจนในตัวอย่างเนื้อหมู และ ค่าสี  $L^*$  สามารถใช้ในการทำนายคุณภาพซี่โครงหมูได้

Balage *et al.* (2015) ทำการทำนายคุณภาพเนื้อหมูโดยการใช้ Visible และ near infrared reflectance spectroscopy (Vis/NIRS) ใช้ในการทำนาย ค่ากรด - ด่างที่สูง, ค่าสี, ไขมันในกล้ามเนื้อ และแรงตัดจากเนื้อหมูตัวอย่าง และสร้างการคัดแยกให้สามารถแยกความนุ่มเนื้อกับความชุ่มฉ่ำน้ำในเนื้อ โดยสเปกตรัมที่ใช้ในช่วง 400 – 1495 nm โดยมีตัวอย่างทั้งหมด 134 ตัวอย่าง ใน 1 ตัวอย่างมีข้อมูล 200 ข้อมูล โดยแบ่ง 67 เปรอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมด 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

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

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

##### 3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 ซ้อนตักสาร

3.1.2.2 เตาแก๊ส

3.1.2.3 ถุงซิปล็อก ขนาด 7 x 10 เซนติเมตร

3.1.2.4 กระจอน และถาดอะลูมิเนียม

3.1.2.5 หม้อต้มลูกชิ้น

3.1.2.6 แม่พิมพ์หัวลูกชิ้น (โรงกลึงจางเซง, Thailand)

3.1.2.7 ปีกเกอร์ 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  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  (Disodium tetra borate decahydrate) (Dalian, China)

##### 3.1.4 เครื่องมือ

3.1.4.1 เครื่องปั้นลูกชิ้น (โรงกลึงจางเซง, Thailand)

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

3.1.4.3 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 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.)  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

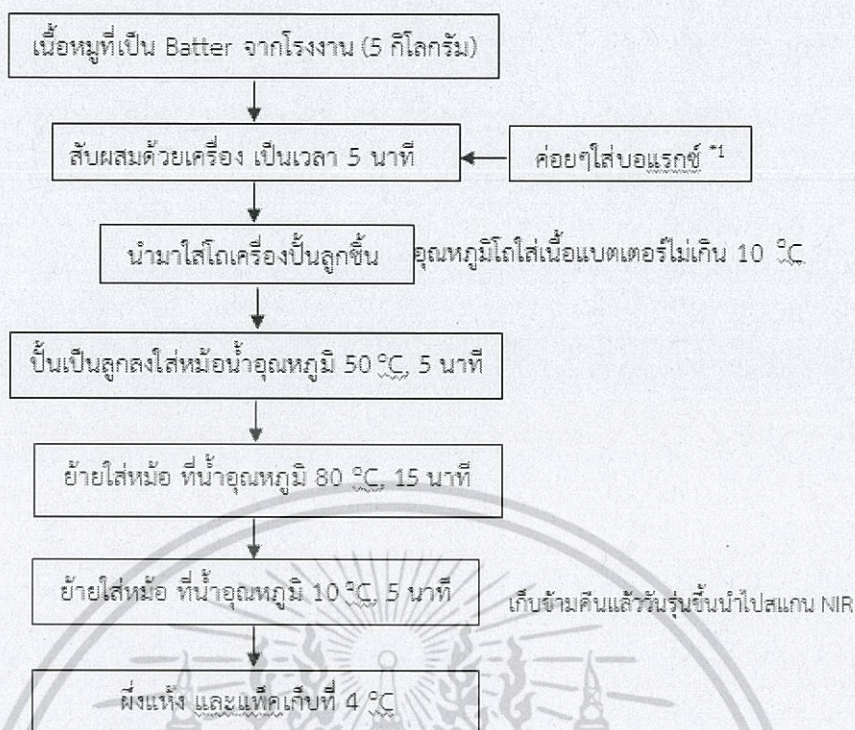
3.1.4.8 โปรแกรม Unscrambler<sup>®</sup> version 9.7 (Camo, Oslo, Norway)

3.1.4.9 โปรแกรม Exponent<sup>®</sup> Version 6.4.1.0 (Stable Micro System, UK)

### 3.2 วิธีการทดลอง

#### 3.2.1 เตรียมผลิตตัวอย่างลูกชิ้นหมู

เริ่มจากการประกอบเครื่องปั้นลูกชิ้น โดยใส่แม่พิมพ์ปั้นลูกชิ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส ที่โถเครื่องปั้นลูกชิ้น จากนั้นนำเนื้อหมูที่เป็นเบตเตอร์ (คือ เนื้อหมูที่ผ่านการปรุงรสมาแล้ว) 5 กิโลกรัม สับผสมด้วยเครื่องสับผสมใหญ่ 2 นาที เพื่อให้เนื้อเบตเตอร์มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ใส่สารบอแรกซ์ตามที่กำหนด (50 ppm ใต้อ่าง 0.0250 กรัม/ 5 กิโลกรัม, 100 ppm ใต้อ่าง 0.0500 กรัม/ 5 กิโลกรัม, 300 ppm ใต้อ่าง 1.5000 กรัม/ 5 กิโลกรัม และไม่ใส่สารบอแรกซ์) และปั่นผสมต่อ 3 นาที เพื่อให้สารบอแรกซ์นั้นกระจายทั่วถึงเนื้อเบตเตอร์ ตั้งน้ำอุ่น 2 หม้อ หม้อที่ 1 กำหนดให้มีน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ( $\pm 2$ ) ซึ่งหม้อนี้มีไว้เพื่อในการเช็คเจลของลูกชิ้น เมื่อเครื่องปั้นลูกชิ้นออกมาให้หย่อนลูกชิ้นหมูลงในหม้อนี้ แช่นานประมาณ 5 นาที และหม้อที่ 2 กำหนดให้น้ำมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ( $\pm 5$  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 ขั้นตอนการผลิตลูกขึ้นหมูที่ใส่และไม่ใส่สารบอแรกซ์

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

### 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 (กำหนดอุณหภูมิลูกขึ้นหมูขณะทำการสแกน NIRS คือ 20 องศาเซลเซียส, 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส)

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

### 3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

#### 3.2.3.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

การแบ่งกลุ่มลูกขึ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกขึ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 โดยการนำ 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)

### 3.2.3.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

#### การวัดเนื้อสัมผัสในลูกชิ้นหมู

กำหนดให้ ค่าความยาวคลื่นเป็นตัวแปรต้น (x) และค่า texture 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 พร้อมแช่น้ำแข็ง ส่วนอุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส แช่ใน Hot plate จากนั้นวัดอุณหภูมิลูกชิ้นหมูด้วยเครื่อง thermo infrared โดยการวัดระบุตำแหน่งทำ 2 ด้าน โดยให้เป็นมุม 180 องศา

กันทั้ง 2 ด้าน โดยที่ 2 ด้าน วัดต่อ 1 อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การอ่านค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมู (gel strength)

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

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



## 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 ทำการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรด ย่านใกล้ 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 และพบว่า การปรับแต่งสเปกตรัมแบบดั้งเดิมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด ( $F=5$ , total accuracy = 99.84%)

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

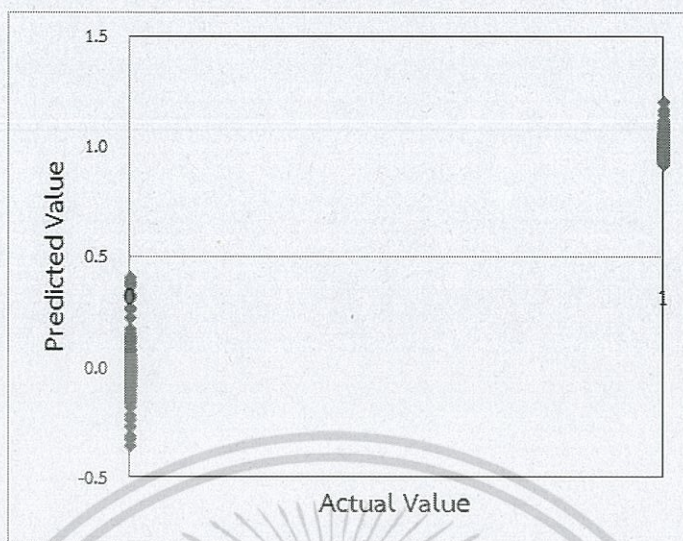
spectral pretreatment	factor	pork meatball without borax		pork meatball containing borax		%total Accuracy
		correct	incorrect	correct	incorrect	
		original	9	152	10	
smoothing	9	152	10	485	1	98.30%
1 <sup>st</sup> derivative	7	151	11	486	0	98.30%
<b>2<sup>nd</sup> derivative</b>	<b>5</b>	<b>161</b>	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

หลังจากนั้นทำการเลือกสมการที่ดีที่สุดมาจากรายการที่ 4.1 ซึ่งพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนาย จึงทำให้พบว่าการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี 2<sup>nd</sup> derivative นั้นความแม่นยำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ที่สูงสุด (99.84%) ดังนั้นจึงเลือกสมการที่ปรับแต่งด้วยวิธี 2<sup>nd</sup> derivative นี้มาทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยใช้กลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) พบว่ากลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำที่ 100.00% ซึ่งการทำนายเกิดจากการใช้ข้อมูลลูกชิ้นหมูทั้งหมด 454 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (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 มีเกณฑ์ที่น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าได้มากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง ส่วนกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ กำหนดให้เป็น 1 หากความสามารถในการทำนายกลุ่มนี้มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง



ภาพที่ 4.1 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ได้สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ได้สารบอแรกซ์



ภาพที่ 4.2 แสดงกราฟ original การดูดกลืนแสงของลูกชิ้นหมูที่ได้สารบอแรกซ์ (ข้อมูลเฉลี่ยความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) กลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ได้สารบอแรกซ์ และสารบอแรกซ์บริสุทธิ์

จากภาพที่ 4.2 คือเมื่อทำการวัดค่าดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด ในตัวอย่างของลูกชิ้นหมูที่ได้สารบอแรกซ์ (ข้อมูลเฉลี่ยความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) กลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ได้สารบอแรกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใส่สารบอแรกซ์ และสารบอแรกซ์บริสุทธิ์ เพื่อดูความเหมือนและแตกต่างระหว่างลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์เทียบกับลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ และเทียบกับสารบอแรกซ์บริสุทธิ์

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 เพื่อสร้างสมการว่าอุณหภูมิที่เท่าไรนั้นมีความสามารถในการคัดแยกได้ดีที่สุด โดยวิธีที่สร้างสมการใช้วิธีการวิเคราะห์การคัดแยกถดถอยบางส่วนด้วยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ The Unscamler (version 9.7, Camo, Oslo, Norway)

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

จากตารางที่ 4.3 ซึ่งพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนาย จึงทำให้พบว่า การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ พบว่า วิธีการแบบ original, การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing และการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 1<sup>st</sup> 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางใดๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (20°C)

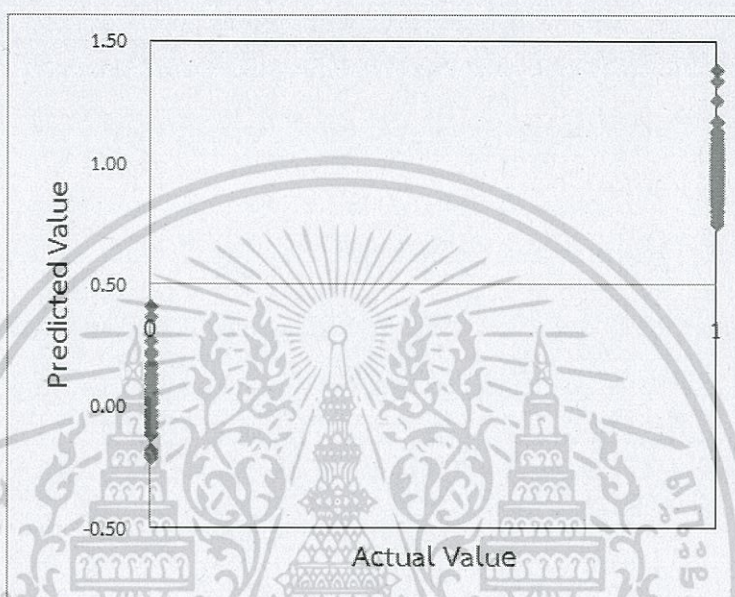
spectral pretreatment	factor	pork meatball without borax		pork meatball containing borax		% total accuracy
		correct	incorrect	correct	incorrect	
		original	5	54	0	
smoothing	5	54	0	162	0	100.00%
1 <sup>st</sup> derivative	5	54	0	162	0	100.00%
2 <sup>nd</sup> derivative	4	54	0	154	8	96.29%
MSC	5	53	1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

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 คือกลุ่มลูกชิ้นเนื้อที่ไม่มีบอแรกซ์ ซึ่งการแยกกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเรียนรู้ของเครื่องที่ใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเขียวจะเห็นว่ามีค่าไม่ต่ำกว่า 0.5 ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมู่ที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ซึ่งหากความสามารถในการทำนายลูกชิ้นหมู่ที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ มีเกณฑ์ที่น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าได้มากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง ส่วนกลุ่มลูกชิ้นหมู่ที่ใส่สารบอแรกซ์ กำหนดให้เป็น 1 หากความสามารถในการทำนายกลุ่มนี้มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง



ภาพที่ 4.3 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมู่ที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์และกลุ่มลูกชิ้นหมู่ที่ใส่สารบอแรกซ์ (20°C)

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

หลังจากนั้นทำการเลือกสมการที่ดีที่สุดจากตารางที่ 4.5 ซึ่งพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายพบว่า การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ พบว่า วิธีการแบบ original, การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing และการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 1<sup>st</sup> derivative ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการนั้นมี

ความแม่นยำสูงที่สุด (100.00%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (30°C)

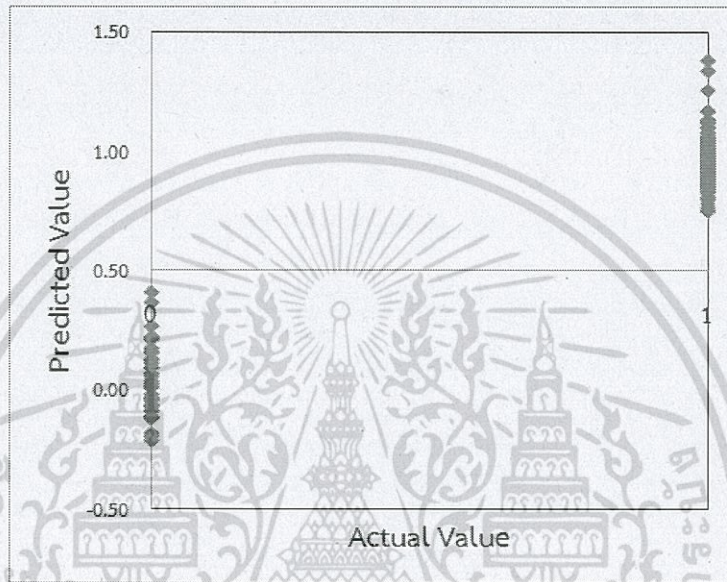
spectral pretreatment	factor	pork meatball without borax		pork meatball containing borax		% total accuracy
		correct	incorrect	correct	incorrect	
		original	5	54	0	
smoothing	5	54	0	162	0	100.00%
1 <sup>st</sup> derivative	5	54	0	162	0	100.00%
2 <sup>nd</sup> derivative	3	52	2	162	0	99.07%
MSC	6	51	3	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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เราเลือกการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ด้วยวิธีการแบบ original เพราะไม่ผ่าน pretreatment และนำมาทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยใช้กลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) พบว่ากลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการให้ค่าเปอร์เซ็นต์ 100.00% เช่นกัน ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.6



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 มีเกณฑ์ที่น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าได้มากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง ส่วนกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ กำหนดให้เป็น 1 หากความสามารถในการทำนายกลุ่มนี้มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง

ต่อมาทำการทดลองในลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิ 40°C มาทำการสร้างสมการ (calibration set) โดยทำการปรับแต่งด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ พบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing และการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 1<sup>st</sup> derivative ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ ได้ดีที่สุด (97.22%) ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ที่เท่ากัน แต่สมการที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธี 1<sup>st</sup> derivative มีจำนวน factor ที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกสมการมีการ  
แต่งสเปคตรัมด้วยวิธี 1<sup>st</sup> derivative ในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (F=7, total accuracy  
= 97.22%)

หลังจากนั้นทำการเลือกสมการที่ดีที่สุดมาจากตารางที่ 4.7 ซึ่งพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์  
ความแม่นยำในการทำนายมาทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยการใช้กลุ่มทดสอบ  
สมการ (prediction set) พบว่ากลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ ซึ่งการทำนาย  
เกิดจากการใช้ข้อมูลลูกชิ้นหมูทั้งหมด 152 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.8

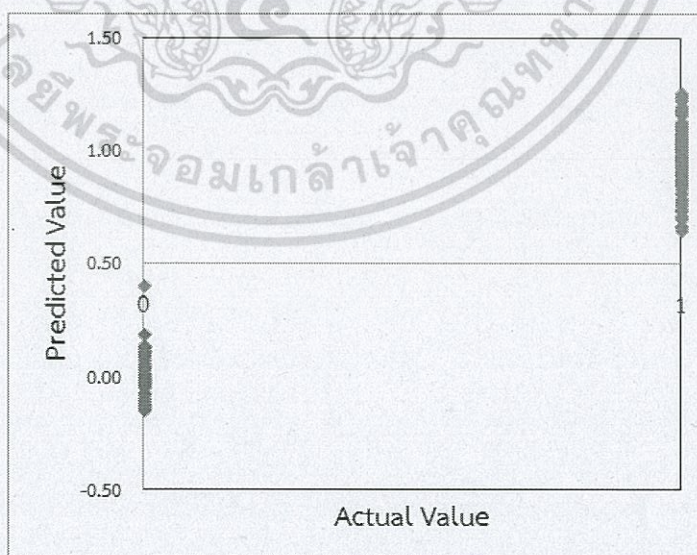
ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ด้วยวิธีการ  
ปรับแต่งด้วยเทคนิคต่างทางคณิตศาสตร์ต่างๆ (40°C)

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

จากภาพที่ 4.5 มีการแบ่งกลุ่ม calibration set และกลุ่ม prediction set โดยมีการกำหนดให้ 0  
คือกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ซึ่งหากความสามารถในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอ  
แรกซ์ มีเกณฑ์ที่น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าได้มากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่  
ถูกต้อง ส่วนกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ กำหนดให้เป็น 1 หากความสามารถในการทำนายกลุ่ม  
นี้มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง

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%



ภาพที่ 4.5 แสดงการแยกกลุ่มของกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์และกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ (40°C)

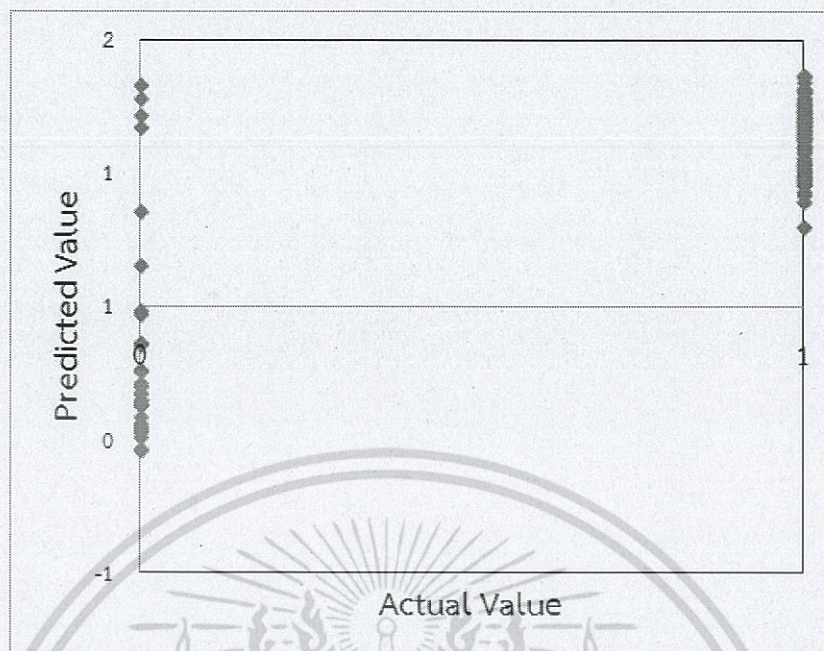
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการทำนายลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิต่างกัน โดยนำลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิ 20°C ที่ การปรับแต่งสเปกตรัมวิธีการแบบ original มาทำนายกลุ่มลูกชิ้นหมูที่มีอุณหภูมิ 40°C ในการ ทำนายเกิดจากการใช้ข้อมูลลูกชิ้นหมูทั้งหมด 152 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ได้สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี 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%

จากภาพที่ 4.6 แสดงการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ (50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm) และไม่ใส่สารบอแรกซ์มีการแบ่งกลุ่ม calibration set และกลุ่ม prediction set โดยมีการ กำหนดให้ 0 คือกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ซึ่งหากความสามารถในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ ไม่ใส่สารบอแรกซ์ มีเกณฑ์ที่น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าได้มากกว่า 0.5 แสดงว่า ทำนายไม่ถูกต้อง ส่วนกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ กำหนดให้เป็น 1 หากความสามารถในการ ทำนายกลุ่มนี้มีค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่า ทำนายไม่ถูกต้อง

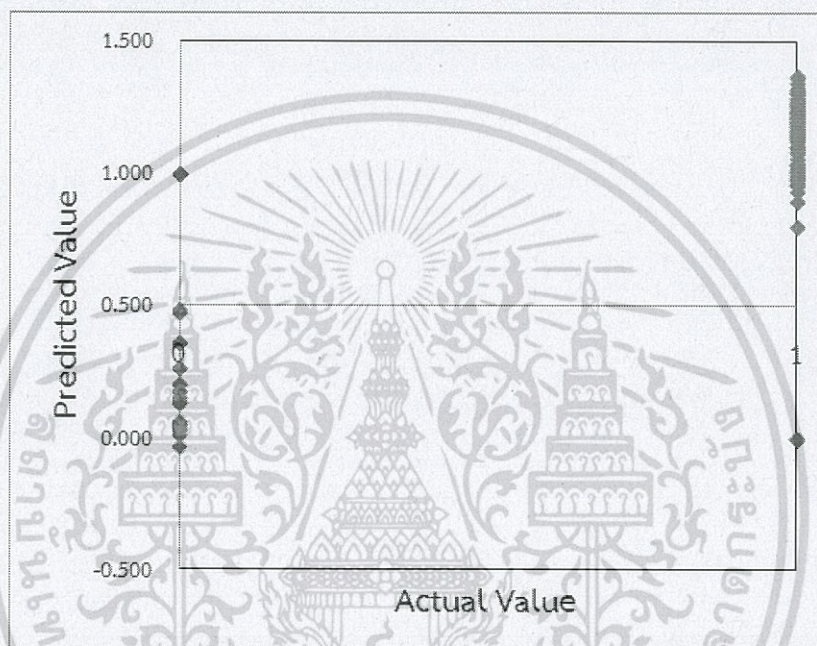


ภาพที่ 4.6 แสดงการทำนายโดยกำหนดให้ลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 20°C ทำนายลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 40°C ตารางที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยวิธี PLS-DA (20°C ทำนาย 30°C)

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%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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) และไม่ใช่สารบอแรกซ์



ภาพที่ 4.7 แสดงการทำนายโดยกำหนดให้ลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 20°C ทำนายลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 30°C

จากการทดลองเมื่อนำสมการ calibration ของลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มาทำการทำนาย (prediction) กับลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับพบว่า การทำนายที่ลูกชิ้นมีอุณหภูมิขณะวัดที่ต่างกันนั้นมีผลความแม่นยำที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจาก อุณหภูมิมีผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นเปลี่ยนไป 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 ในทางกลับกัน ปริมาณสารบอแรกซ์ นั้นมีผลช่วยทำให้ลูกชิ้นหมูมีความแข็งตัวขึ้นในขณะที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป อุณหภูมินั้นจะมีผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความยืดหยุ่น ความชุ่มฉ่ำน้ำ เป็นต้น

#### 4.2 การสร้างสมการในการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ ตามระดับความเข้มข้นของสารบอแรกซ์

การสร้างสมการในการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ ทำการแบ่งระดับความเข้มข้นของสารบอแรกซ์ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สารบอแรกซ์ 50 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ได้ดีที่สุดในรองลงมา เป็นกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 100 ppm และ 50 ppm ตามลำดับ และความสามารถในการคัดแยกแสดงผลได้ในภาพที่ 4.5 (a) (b) และ (c) เป็นภาพแสดงความแม่นยำในการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูใส่สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

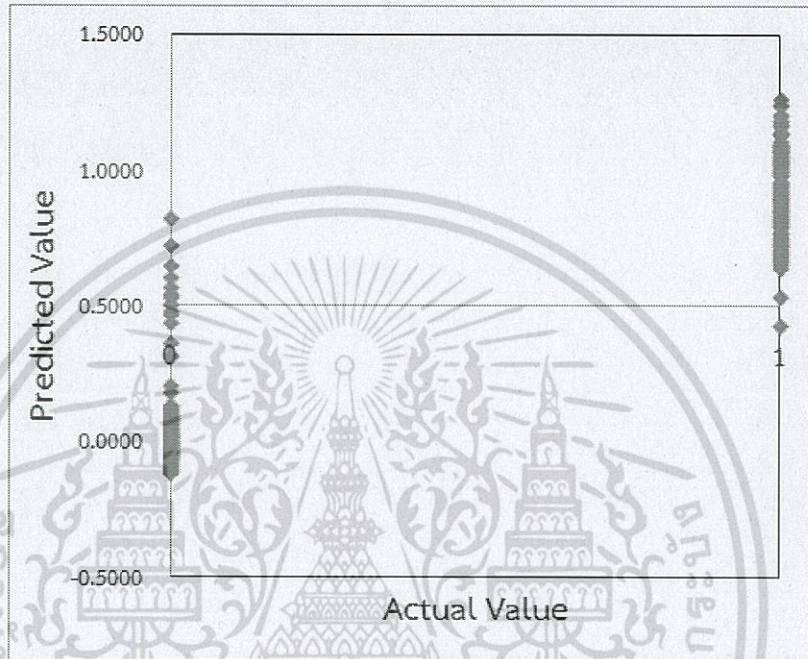
ตารางที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆ

sample set	number of samples	pork meatball without borax		pork meatball containing borax		%total accuracy
		correct	incorrect	correct	incorrect	
		control	324	162	0	
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%

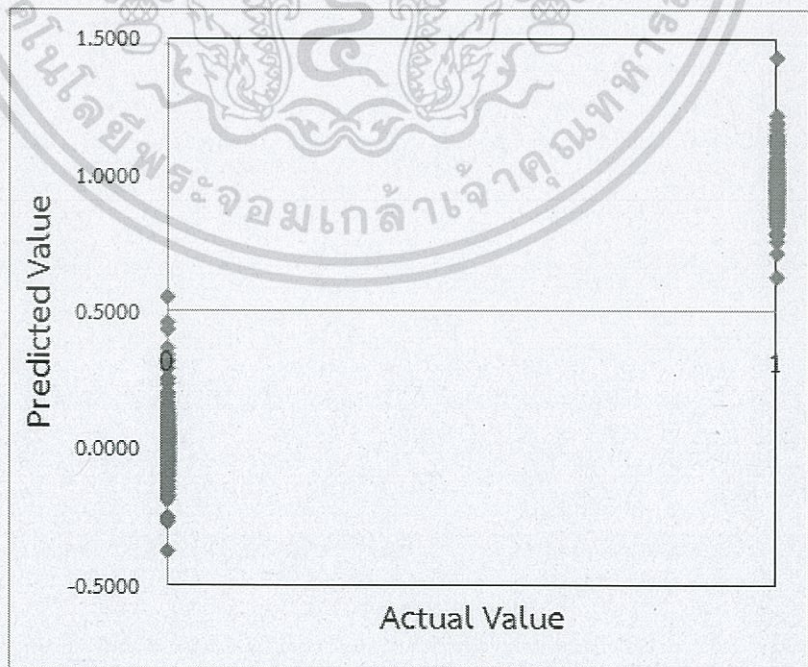
จากภาพที่ 4.8 (a), (b) และ (c) จะเห็นว่าภาพที่ 4.5 (c) สามารถทำนายได้ถูกต้องทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ระดับความเข้มข้น 300 ppm ทำนายได้ดีกว่ากลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm และ 50 ppm ตามลำดับ โดยกำหนดให้ 0 คือกลุ่มลูกชิ้นที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ถ้าความสามารถในการทำนายกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ ถ้าความสามารถการทำนายได้เกณฑ์น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนายได้ค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง ส่วน 1 คือกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ โดยถ้าความสามารถในการทำนายลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ได้ค่ามากกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายได้ถูกต้อง แต่ถ้าทำนายได้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าทำนายไม่ถูกต้อง

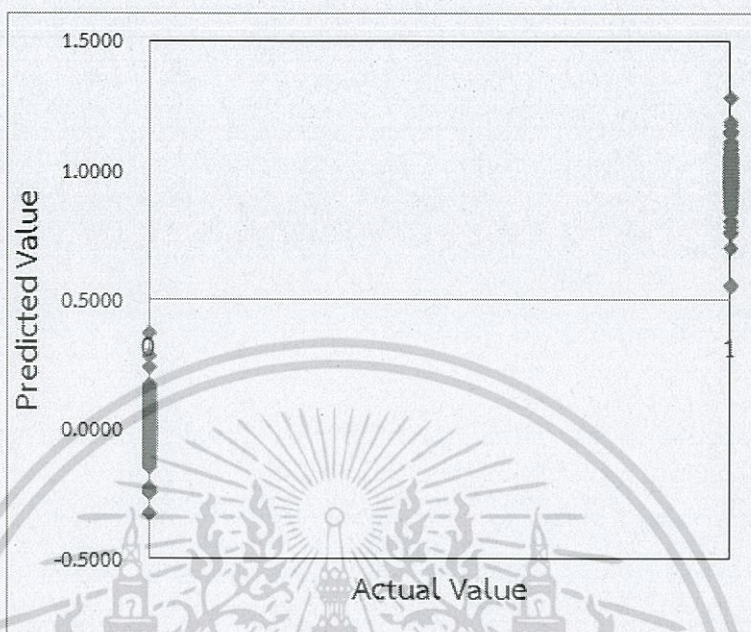


(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)

ภาพที่ 4.8 แสดงความแม่นยำในการแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ได้สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ได้สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆ (a) ลูกชิ้นหมูที่ได้สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 50 ppm (b) ลูกชิ้นหมูที่ได้สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 100 ppm และ (c) ลูกชิ้นหมูที่ได้สารบอแรกซ์ที่ความเข้มข้น 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 แล้ววิเคราะห์ค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู หลังจากนั้นสร้างสมการในการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRS กับค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู โดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least square regression (PLSR) และเปรียบเทียบแบบ cross-validation ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ The Unscamler (version 9.7, Camo, Oslo, Norway) กลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าความยืดหยุ่นที่สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ จากตารางที่ 4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการของการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์

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

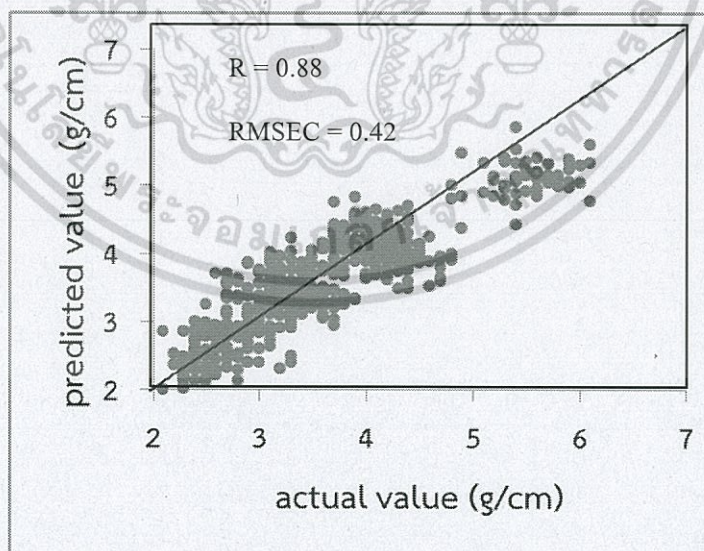
spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV (g/cm)
original	648	9	0.87	0.44
smoothing	648	11	0.87	0.44
1 <sup>st</sup> derivative	648	10	0.87	0.44
2 <sup>nd</sup> derivative	648	11	0.72	0.49
MSC	648	3	0.62	0.70
SNV	648	14	0.86	0.44
SNV + MSC	648	11	0.84	0.48
<b>smoothing + 1<sup>st</sup> derivative</b>	<b>648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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้น นำข้อมูลสเปกตรัมที่มาสรางสมการการทำนายค่าความยืดหยุ่นจากตารางที่ 4.14 พบว่าการสร้างสมการด้วยวิธีแบบ smoothing ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด หลังจากการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ พบว่าการสร้างสมการแบบวิธี ใน cross-validation ให้ผลดีที่สุด จึงนำข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำให้แบบวิธี 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

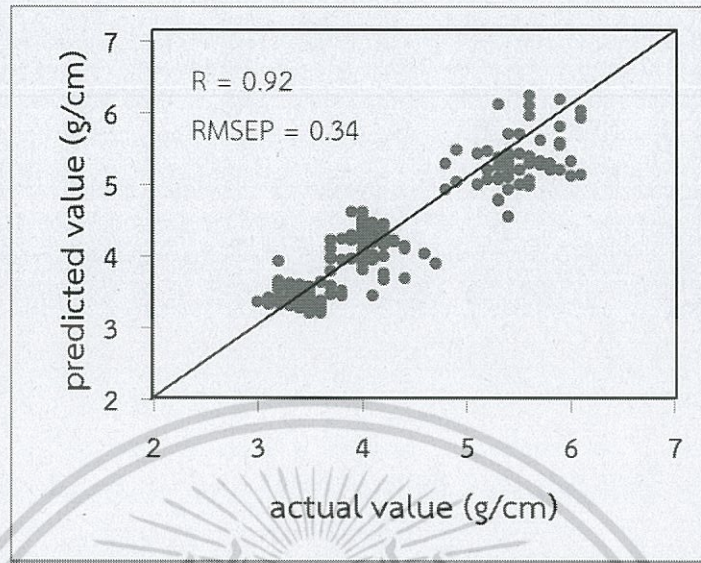
ตารางที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ห้ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู

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



(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

ภาพที่ 4.9 แสดงผลการทำนายค่าความยืดหยุ่นในลูกชิ้นหมู

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง การตรวจสอบคุณภาพของลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์แบบไม่ทำลาย โดยการใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบสะท้อนกลับ จะแบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 ตอน คือการสร้างสมการในการคัดแยกคุณภาพของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์กับลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ การสร้างสมการในการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆของสารบอแรกซ์ และการสร้างสมการทำนายค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมู

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

จากนั้นทำการสร้างสมการคัดแยกกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ออกจากกลุ่มลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ตามระดับความเข้มข้นต่างๆของสารบอแรกซ์ พบว่าลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ 300 ppm จะสามารถคัดแยกกลุ่มออกจากกลุ่มลูกชิ้นที่ไม่ใส่สารบอแรกซ์ได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถทำการคัดแยกได้ถึง 100.00% โดยใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing

ในด้านการทำนายคุณภาพค่าความยืดหยุ่นของลูกชิ้นหมูที่ใส่สารบอแรกซ์ (ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm และ 300 ppm ที่มีอุณหภูมิขณะวัด 20 องศาเซลเซียส 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกัน) ด้วยวิธี smoothing ร่วมกันอนุพันธ์ 1<sup>st</sup> 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 อุณหภูมิมีผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นเปลี่ยนไป เช่น ความยืดหยุ่น และปริมาณน้ำในอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น

ข้อเสนอแนะจากการทำงานวิจัยฉบับนี้ คือ ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณสารบอแรกซ์ที่  
หลงเหลืออยู่ในลูกชิ้นเพื่อทดสอบว่า ปริมาณสารบอแรกซ์มีเท่ากับตอนที่ใส่เริ่มต้นหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ พิริยะจิตรรา. (2530). การศึกษาระบาดวิทยา เรื่องอันตรายจากบอแรกซ์ที่คุกคามต่อสุขภาพ. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ชนินทร์ เจริญพงศ์, ประธาน ประเสริฐวิทยาการ, วัฒนา อัครเอกผาลิน, และ ผดุงกิจ สงวนวัฒนา. (2542). รายงานผลการวิจัยเรื่องการสำรวจสถานการณ์ของบอแรกซ์วัตถุห้ามใช้ในอาหาร. Retrieved from กรุงเทพฯ:
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์. (2545). หลักการพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโทรสโกปี. ใน วารุณี ชนะแพศย์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล, และ ชงชัย สุวรรณสิขณณ์ (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. “บอแรกซ์” กรุงเทพมหานคร : กองควบคุมอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. เอกสารอัดสำเนา
- วรรณกนก ทาสวรรณ์. 2546. “การตรวจสอบคุณภาพของส้มเขียวหวานด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วราภรณ์ นุชน้อย. “การเฝ้าระวังการใช้บอแรกซ์ในอาหาร” เอกสารวิชาการ กองสารวัตร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 2542.
- วารุณี ชนะแพศย์. สถานการณ์การใช้ประโยชน์เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในประเทศไทย. หน้า1-7. ในวารุณี ชนะแพศย์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล และชงชัย สุวรรณสิขณณ์ (ผู้รวบรวม). 2545. การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.  
กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วารุณี ชนะแพสย์ และ สุมาพร เกษมสำราญ. ตัวแปรที่มีผลต่อการวิเคราะห์ NIR. 2555. หน้า 51-73.

ใน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

สุมาพร เกษมสำราญ. 2555. หลักการพื้นฐานของสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. ใน การ  
ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

สุมาพร เกษมสำราญ. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการใน  
เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรด. หน้า 131-150. ในวารุณี ชนะแพสย์, อนุพันธ์  
เทิดวงส์วรกุล และชงชัย สุวรรณสิขณน์ (ผู้รวบรวม). 2545. การอบรมเชิงปฏิบัติการ การ  
ควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวที  
การค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและ  
อุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุพันธ์ เทิดวงส์วรกุล. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. หน้า 67-97. ในวารุณี ชนะแพสย์,  
อนุพันธ์ เทิดวงส์วรกุล และชงชัย สุวรรณสิขณน์ (ผู้รวบรวม). 2545. การอบรมเชิง  
ปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการ  
แข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทาง  
การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

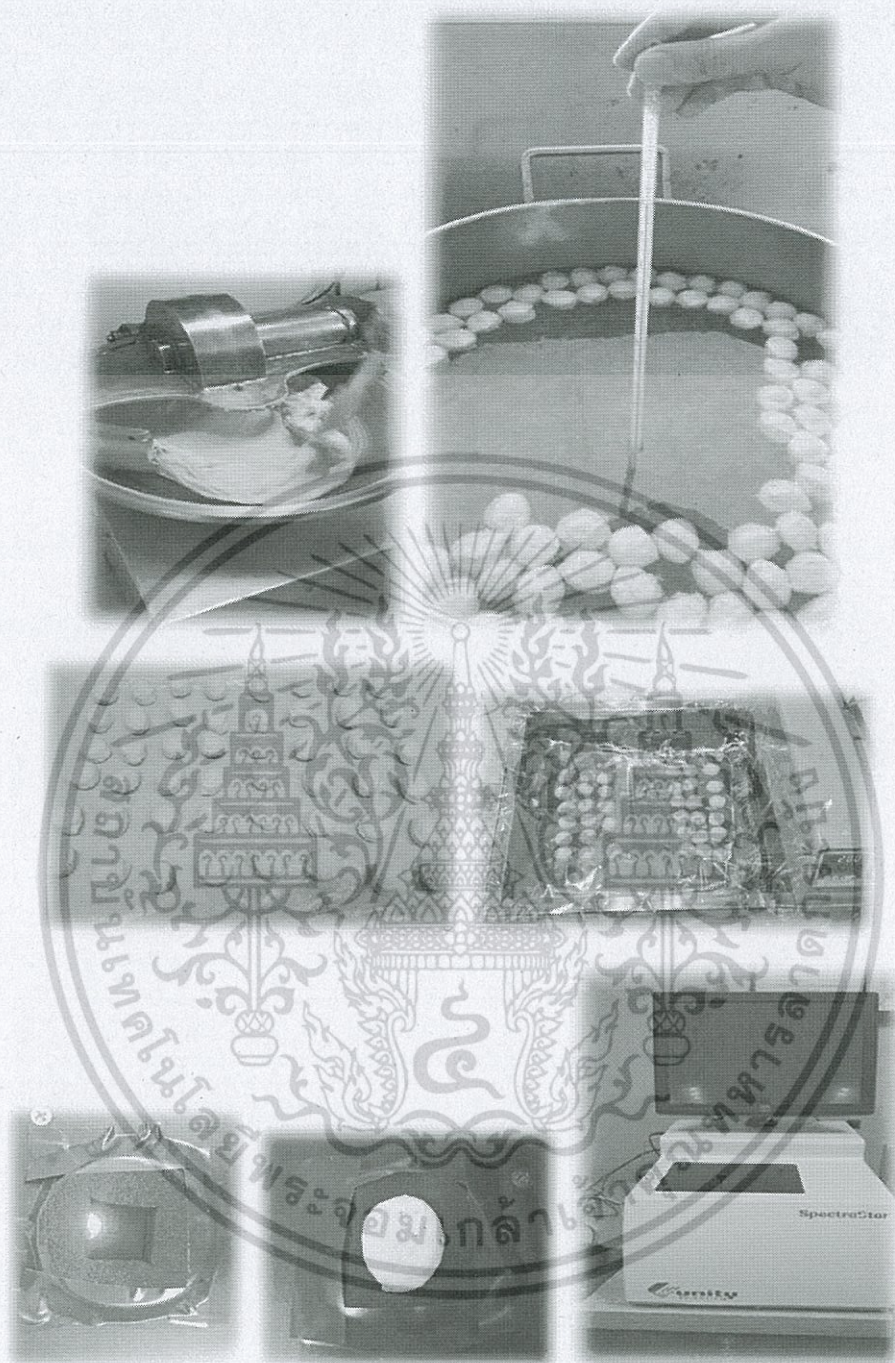
อนุพันธ์ เทิดวงส์วรกุล. 2555. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. ใน การประยุกต์ใช้  
เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

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 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*. 2<sup>nd</sup> 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



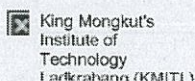
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๘๑ แสดงขั้นตอนต่างๆในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) Mail - Acceptance of ...



sontisuk teerachaichayut <sontisuk.te@kmitl.ac.th>

## Acceptance of ANS2016 POSTER presentation

2 messages

ANS2016 <office@ans2016.org>  
To: office@jcnirs.org

Fri, Aug 12, 2016 at 9:50 AM

To Whom It May Concern,

On behalf of the organization committee, I am pleased to accept your research paper for POSTER presentation. Please find your presentation title in the tentative program attached to this e-mail. Poster presentation will be given on either Thursday and Friday. You will be informed on the day of your presentation by mid-September. Since there were many applications for oral presentation, we needed to decide to change some oral submissions into poster presentations. I am grateful for your understanding. If you have a change or correction to your paper, please let us know immediately.

Also, you need to upload of final proceeding (2-pages) during August 12 ~ September 16. You can upload it through the website. Please do not send it directly to me.

The template is available for download from the submission site (<http://ans2016.org/submission.html>).

Early bird registration will be available until August 31. You can register and pay the fee directly on the website (<http://ans2016.org/registration.html>).

Please check also the latest program on the website (<http://ans2016.org/index.html>).

If you have questions, please let us know.

Hope to see you in Kagoshima, Japan soon.

Sincerely,

Sumio Kawano (Dr.)

file:///F:/ExHard59/NIR%20conference%202016%20Japan/King%20Mongkut's%20In... 12/8/2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Nondestructive Classification of Pork Meatball Containing Borax by Near Infrared Spectroscopy

Sirikarn Boonpiam<sup>1</sup>, Nattaporn Suttiwijitpukdee<sup>2</sup> and Sontisuk Teerachaichayut<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand, E-mail: [sontisuk.te@kmitl.ac.th](mailto:sontisuk.te@kmitl.ac.th)

<sup>2</sup>Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute (KAPI), Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

## Abstract

Borax is classified as a chemical hazard in food. It can be used to improve shelf-life, appearance and texture in pork meatballs, but borax toxicity is clearly dangerous for both children and adults. Reflectance near infrared (NIR) spectroscopy between 680-2500 nm was carried out as a non-destructive technique in order to classify groups of pork meatballs without borax and containing borax in various concentrations (50, 100, 300 ppm). Spectral pretreatments were investigated in this study. Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) was performed to establish a classification model for classification using partial least squares regression in a calibration set (N=648) and assigning values of 0 and 1 for meatballs without borax and meatballs with borax, respectively. Our data revealed that the original spectra obtained the best results for establishment of the model. The excellent accuracy (100.00%) for classification was acquired in a prediction set (N=152). In summary, the reflectance NIR spectroscopy has potential as a non-destructive technique to identify borax in pork meatballs.

*Keywords:* pork meatballs, borax, discrimination, quality, food safety

## Introduction

Food safety is an important scientific discipline to prevent harm to consumers. Public health problems may be directly caused by the toxicity of food additives. The Food and Drug Administration and the Thailand Ministry of Public Health (1999) have declared borax as a prohibited substance in Thai food because of its toxicity to humans. Adverse effects include reproductive development toxicity and neurotoxicity, which effect human cellular development and function. Borax can be used as a food additive to improve the texture of foods, despite its illegality in Thailand. Common screening methods for toxins in food are destructive, so the aim of this project was to develop a nondestructive method to detect borax in foods. Lu *et al.* (2009)<sup>1</sup> reported that NIR spectroscopy can be used to detect melamine in milk powder. Our research will focus on using NIR spectroscopy to detect borax in pork meatballs.

## Materials and methods

### Sample

One inch diameter pork meatballs were produced with manufactured minced pork (BM Food, Thailand) and a meatball making machine (MIXING Machine, Thailand). The pork meatballs containing borax (50, 100 and 300 ppm) and without borax (control) were divided into four groups, with each group having a sample size of 92. During measurement, meatballs were placed in a water bath at a controlled temperature of 30°C.

### Spectral acquisition

A reflectance NIR spectrophotometer (SpectraStar 2500, USA) in the wavelength range of 680-2500 nm was used to measure spectra of each pork meatball at the equator on two opposite sides. An averaged spectrum of each pork meatball was used for analysis.

### Data analysis

Samples of pork meatballs from groups without borax and containing borax in various concentrations (50, 100, 300 ppm) were classified for a calibration set (N= 216) and a prediction set (N=152). The spectral pretreatments were investigated in order to obtain the optimal conditions for a classification model. The model was developed and cross validated using partial least square discriminant analysis (PLS-DA), assigning values of 0 for meatballs without borax and 1 for meatballs containing borax. Data were analyzed using the Unscrambler software (Camo, Oslo, Norway).

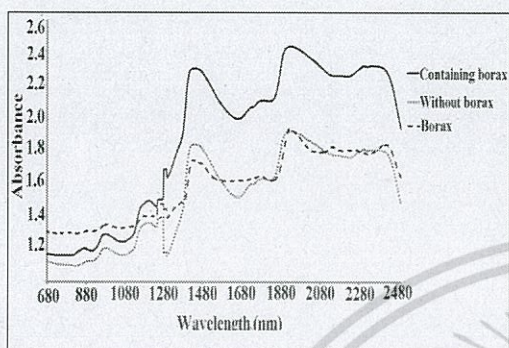
## Results and discussion

The average absorbance spectra of meatballs from the group without borax (N=54), the group containing borax (N=162), and the averaged spectra of pure borax are shown in Figure 1. The PLS-DA results using spectral pretreatments, including original, smoothing, the 1<sup>st</sup> derivative, the 2<sup>nd</sup> derivative (Savitzky Golay method), and MSC in the calibration set are present in Table1. The results from cross validation showed that the original, smoothing, and the 1<sup>st</sup> derivative spectra obtained 100% accuracy with the same number of factors. Therefore, the original spectra were used for establishment of the classification model.

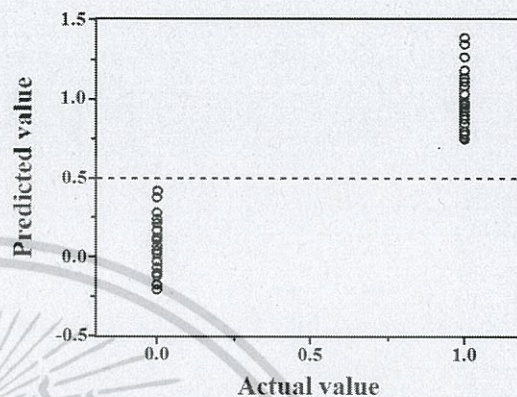
**Table 1.** The results of spectral pretreatments for classification in the calibration set using PLS-DA.

Spectral	Factor	Meatball without borax	Meatball containing borax	% Total
----------	--------	------------------------	---------------------------	---------

pretreatments		Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	Accuracy
Original	5	54	0	162	0	100.00%
Smoothing	5	54	0	162	0	100.00%
1 <sup>st</sup> derivative	5	54	0	162	0	100.00%
2 <sup>nd</sup> derivative	3	52	2	162	0	99.07%
MSC	6	51	3	162	6	98.61%



**Figure 1.** Averaged absorbance spectra of meatballs without borax (N=54), meatballs containing borax (N=162) and pure borax (N=4).



**Figure 2.** The scatter plots of classification using PLS-DA. (0 = meatballs without borax and 1 = meatballs containing borax).

Figure 2 shows the performance of the classification model for discrimination. A cut off value of 0.5 was used for prediction. If the predictive value was equal or less than 0.5, samples were classified as meatballs without borax. If the predictive value was more than 0.5, samples were classified as meatballs containing borax.

**Table 2.** PLS-DA results for classification of meatballs (without borax and containing borax).

Sample	Classification model	Calibration set	Prediction set
Without borax	Number of samples	54	38
	Correct	54	38
	Incorrect	0 (Accuracy 100%)	0 (Accuracy 100%)
Containing borax	Number of samples	162	114
	Correct	162	114
	Incorrect	0 (Accuracy 100%)	0 (Accuracy 100%)
	% Total accuracy	100.00%	100.00%

Table 2 shows the performance of the classification model. The accuracy of prediction was 100% (correct = 38 / 38) for the meatballs without borax and 100% (correct = 114 / 114) for the meatballs containing borax. Therefore, the overall accuracy was 100% (correct = 152 / 152).

## Conclusion

The classification model for pork meatballs containing borax and without borax was established by the original spectra using PLS-DA. The overall accuracy of prediction was excellent (100.00%). The results support our hypothesis that the NIR can be non-destructively used to classify pork meatball toxicity.

## Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support provided by National Research Council of Thailand (NRCT) and the faculty of Agro-Industry of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. An additional thanks is given to Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute (KAPI) for providing laboratory space and equipment.

## Reference

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

## ประวัติคณะผู้วิจัย

### หัวหน้าโครงการ

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสนธิศุข ซีระชัยชยติ  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Sontisuk Teerachaichayut
- ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 0 2 329 8000 ต่อ 7267 โทรสาร 0 2329 8526 -7

E-mail : sontisuk.te@kmitl.ac.th

### 4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ/ประเทศ	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา และชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2529/ไทย	ตรี	วศ.บ.(วิศวกรรม ศาสตร์บัณฑิต)	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์
2537/ไทย	โท	วศ.ม.(วิศวกรรม ศาสตร์มหาบัณฑิต)	วิศวกรรมเคมี	จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย
2550/ไทย	เอก	ปร.ด.(เทคโนโลยี หลังการเก็บเกี่ยว)	เทคโนโลยีหลัง การเก็บเกี่ยว	มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ  
สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย: ชื่อโครงการวิจัย

1. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2554. แท่งเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกแก้ว.
2. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการ ดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นแบบทะลุผ่าน.
3. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. การสกัดน้ำสับปะรดและผลิตเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกสับปะรด.
4. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. การตรวจสอบคุณภาพมังคุดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด
5. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. การศึกษาปริมาณไนเตรทในเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย: วิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบโดยพิจารณาที่ตำแหน่งและระดับความสุกสุกโกปี
6. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2557. การวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูงสำหรับทำนายความสดของไข่ไก่
7. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2557. การทำนายความหนาแน่นของผลมังคุดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ
8. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2558. การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
9. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2559. การทำนายคุณภาพของผลมะนาวแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้า
10. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2559. การทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยเทคนิควิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงาน
11. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2560. การทำนายคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิควิเคราะห์พหุตัวแปรจากคุณสมบัติทางไฟฟ้า
12. สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2560. การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายสำหรับลูกชิ้นหมูโดยเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

- สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2535. อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ไทย: อะไรคืออะไร.วารสารการวิจัยและพัฒนา  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1): 67-70.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศรีศักดิ์ ตรังวัชรกุล, ชลิต ชูประทีป, สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2535. โรงงานนำทางผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ วท. วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1): 73-82.
- สนธิสุข ชีระชัยชยติ, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์, เพ็ญศิริ อนันต์รักสกุล, พรภัทรา ศรีนรคุตร, ยุพาภรณ์ ทับนา โลก. 2536. การวิจัยเครื่องเคลือบแบบต่อเนื่องชนิดเคลือบแก้วสำหรับอาหารขบเคี้ยว. โครงการวิจัย ที่ ก.32-06, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 36 หน้า
- สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง 12(2): 39-41.
- วารุณี ชนะแพสย์, สนธิสุข ชีระชัยชยติ, สุมาพร เกษมสำราญ, and Young Kil Kwon. 2548. การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น. สัมมนาวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 3, 10-11 ตุลาคม 2548, หน้า 57.
- สนธิสุข ชีระชัยชยติ, วารุณี ชนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, สุมาพร เกษมสำราญ. 2551. การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39 (3 พิเศษ): 156-159.
- สนธิสุข ชีระชัยชยติ, วารุณี ชนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, สุมาพร เกษมสำราญ. 2552. การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 (1): 55-64.
- สนธิสุข ชีระชัยชยติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, จุฑามาศ ผลอุดม และวรรณษา เอื้ออมเสถียรพร. 2553. การทำนายอาการเนื่อแก้วจากน้ำมังคุดโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 (1 พิเศษ): 385-388.
- ขนิษฐา แสงแก้ว และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ, 2553. คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกมังคุดภายหลังการตกกระทบ. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 2(1): 27-35.
- สนธิสุข ชีระชัยชยติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, วารุณี ชนะแพสย์ และ ขนิษฐา แสงแก้ว. 2554. ความเป็นไปได้ในการคัดแยกผลมังคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์พหุตัวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ): 143-146.
- สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดแบบไม่ทำลาย. วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27 (1): 55-60.

กัญญาพัชร เพชราภรณ์ และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. ผลกระทบของการเกิดเชื้อราภายในมะเขือเทศต่อคุณสมบัติทางเคมี. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 279-284.

ศรัณญา วอขวา และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในมังคุดเปลือกแข็งภายหลังการตกกระทบ. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 285-290.

สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, จูติพงศ์ ทิพย์แก้ว, ธนกฤต ชูตระกูล และรัชคม ลีลับ. 2556. เครื่องวัดความแน่นเนื้อของผลไม้แบบน้ำหนักกด. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2, 30 สิงหาคม 2556, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 185-190.

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

ปิยะมาศ जानนอก, อธิยาภรณ์ การรุ่งเรือง, อรวรรณ ทองนาค, อัฐพล जानนอก, ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรั่ง และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2556. การทำนายความถ่วงจำเพาะของไข่ไก่ด้วยเทคนิค NIRS. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 4 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, 135-139.

Teerachaichayut, S., K. Y. Kil, A. Terdwongworakul, W. Thanapase and Y. Nakanishi. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 43. 202-206.

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, and S. Pathaveerat. 2008. Multiple Parameters for Prediction of Translucent Flesh in Mangosteens. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol.X. Manuscript FP 08 007.

Teerachaichayut S., W. Thanapase, K. Shigefugi, T. Otoi, Y. Nitta, S. Saranwong, and S. Kawano. 2008. Online Near Infrared Detection of Translucent and Gamboge Mangosteen. *Proceeding of The First Asian NIR Symposium and The 24<sup>th</sup> Japanese NIR Forum*, 158-159. Tsukuba city, Japan, 10-14 November.

- Kasemsumran, S., W. Thanapase, S. Teerachaichayut, A. Terdwongworakul, K. Y. Kil, K. Shigefuji, and Y. Nakanishi. Nondestructive Internal Quality Evaluation of Thai Orange Fruit using Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. Japan-Korea Joint Symposium on Near Infrared Spectroscopy, 284-285. Hanyang University, Korea, 28-30 June.
- Thanapase, W., S. Kaseamsumran, A. Janhira, S. Teerachaichayut, K. Shigefuji, K. Kiji, Y. Nitta, S. Saranwong and S. Kawano. 2009. Recent collaborative researches between Japan and Thailand on NIR applications for Tropical Fruits. Proceedings of the 25<sup>th</sup> NIR Forum. 31-35. Japan, 13-15 May.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, J. Phonudom and W. Uamsatianporn. 2009. The Robustness of PLS Models for Soluble Solids Content of Mangosteen using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Global Science Books, Fresh Produce 3(1): 60–63.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, K. Saengkaew and R. Suwapanich. 2010. Feasibility of visible and SW-NIR spectroscopy to detect gamboge disorder in mangosteen fruits. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, China, 15-18 Oct. 81-82.
- Teerachaichayut, S, W. Thanapase, S. Kasemsumran, K. Shigefuji, K. Kiji, Y. Nitta, S. Saranwong and S. Kawano. 2010. The methods of illumination and scanning for detecting internal disorders and quality of mangosteen by near infrared spectroscopy. Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 14<sup>th</sup> international Conference. IM Publications LLP, West Sussex, UK., 219-223.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, K. Kiji. 2011. Non-destructive prediction of Hardening pericarp disorder in intact mangosteen by near infrared transmittance spectroscopy. Journal of Food Engineering 106 (2011) 206–211.
- Terdwongworakul, A., N. Nakawajana, S. Teerachaichayut, A. Janhira. 2012. Determination of translucent content in mangosteen by means of near infrared transmittance. Journal of Food Engineering 109: 114–119.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul. 2012. Empirical investigation of the optimal fruit presentation in near infrared transmittance for mangosteen quality evaluation. NIR news 23(1) :8-18

- Teerachaichayut, S., K. Petcharaporn and S. Suktanarak. 2012. Calibration model of soluble solids content for Intact Tomato by Transmittance SW-NIR Spectroscopy. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, Thailand, 14-18 May. 120-121.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, K. Keawsumnuk, M. Rangsi and K. Seangkeaw. 2012. A Feasibility Study for the Nondestructive Detection of Granulation in Tangerine Fruit Using a Capacitance based Technique. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July, P0122.
- Terdwongworakul A., S. Teerachaichayut, S. Noypitak. 2012. Non-Destructive Classification of Translucent Flesh Mangosteen by Near Infrared Interactance. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July. C0059.
- Nandee S. and S. Teerachaichayut. 2012. Brix-acid ratio detection for pomegranates using multivariate equation. International Conference on Nutrition and Food Sciences, July 23-24. IPCBEE vol.39 (2012) IACSIT Press, Singapore. 82-86.
- Suktanarak S. and S. Teerachaichayut. 2012. Detection for Moisture Content of Sweet Tamarind flesh by Transmittance Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. International Conference on Nutrition and Food Sciences, July 23-24. IPCBEE vol.39 (2012) IACSIT Press, Singapore. 71-75.
- Petcharaporn K. and S. Teerachaichayut. 2012. Detection of Undesirable Internal Discoloring of Intact Tomatoes by Non-Destructive, Transmittance VIR-NIR Spectroscopy. International Conference on Food and Applied Bioscience 2012, 6-7 February. Chiang Mai, Thailand. 82-86.
- Suktanarak, S. and S. Teerachaichayut. 2013. Quantitative Analysis of Total Soluble Solids and Titratable Acidity of Sweet Tamarind by SW-NIRS. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, Vol. 3, No. 4, 328-331.
- Sukwanit S. and S. Teerachaichayut. 2013. Non-destructive prediction of internal browning in pineapple using transmittance short wavelength near infrared spectroscopy. Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems and Asia Pacific Symposium on Postharvest Quality Management of Root and Tuber Crops. Acta Horticulturae 989. ISHS: 395-399.

- Kaewsard, S., S. Kerdpiboon, Y. Peuchkamut, S. Teerachaichayut. 2013. Relationships between Physical property, Chemical composition and Marbling Score of Sirloin Beef Steak. 13th ASEAN Food Conference, 9-11 September 2013, Singapore. Meeting Future Food Demands: Security & Sustainability.
- Sasathorn Srivichien and Sontisuk Teerachaichayut. 2014. Comparison of nitrate content in 'Smooth Cayenne' pineapple flesh related to its different cut sections, maturity and crop season. Journal of Advanced Agricultural Technologies, Vol. 1, No.1, 65-68.
- Sasathorn Srivichien and Sontisuk Teerachaichayut. 2014. Comparison of nitrate content in 'Smooth Cayenne' pineapple flesh related to its different cut sections, maturity and crop season. Proceeding of The 4th International Conference on Asia Agriculture and Animal (ICAAA 2014), Bangkok, Thailand, June 9-10, 33-36.
- Sasathorn Srivichien and Sontisuk Teerachaichayut. 2014. Quality classification of pineapple based on nitrate level by Vis-NIRS. Proceeding of The 4<sup>th</sup> Asian NIR Symposium, Daegu, Korea, June 17-20, 130-132.
- Sontisuk Teerachaichayut, Isayaporn Kanrungrueng, Orawan Thonngnak, Oattharod Channok, Panuwat Supprung, Piyamart Jannok. 2014. Freshness Prediction of Hen Eggs Using NIR Spectroscopy Based on Specific Gravity. Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014), Bali, Indonesia, June 27-29, 585-592.
- Pattama Supaphon, Soraya Kerdpiboon, Yuporn Peuchkamut, Sontisuk Teerachaichayut, Pramoun Sriklalong, Panadda Nonthanum. 2014. Surface Images and Physical Properties Correlation of Sirloin Steak by Pearson'S Correlation And Multiple Linear Regression Analysis. Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014), Bali, Indonesia, June 27-29, 593-601.
- Jannok, P., Petcharaporn, K. and Teerachaichayut, S. 2014. Detection of internal mold infection in tomato by transmittance near infrared spectroscopy. Acta Hort. (ISHS) 1053:93-99.

- Teerachaichayut, S., Suktanarak, S. and Kasemsumram, S. 2014. Non-destructive detection of internal mold infection in sweet tamarind using short wavelength near infrared spectroscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 1053:113-119
- Srivichien, S., A. Terdwongworakul, S. Teerachaichayut. 2015. Quantitative prediction of nitrate level in intact pineapple using Vis-NIRS. *Journal of Food Engineering* 150: 29-34.
- Teerachaichayut S., Yokswad W., Terdwongworakul A., Jannok P., Fernandes S.V. 2015. Application of Image Analysis for Determination of Mangosteen Density. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 2(2): 92-97.
- Natrapee Nakawajana, Anupun Terdwongworakul, Sontisuk Teerachaichayut. 2016. Minimally destructive assessment of mangosteen translucency based on electrical impedance measurements. *Journal of Food Engineering* 171: 137-144
- Sineenart Suktanarak, Sontisuk Teerachaichayut and Panuwat Supprung. 2016. Prediction of moisture content in sweet corn by reflectance NIR spectroscopy. *Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec.* 260-261.
- Sirikarn Boonpiam, Nattaporn Suttiwijitpukdee and Sontisuk Teerachaichayut. 2016. Nondestructive Classification of Pork Meatball Containing Borax by Near Infrared Spectroscopy. *Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec.* 268-269.
- Ho Thanh Huong, Sontisuk Teerachaichayut, Panuwat Supprung and Tiradech Damrongpowan. 2016. Classification of lime varieties by NIR spectroscopy. *Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec.* 264-265.
- Sadudee Phonmakham and Sontisuk Teerachaichayut. 2016. Transmittance near infrared spectroscopy for firmness detection of marian plum (*Bouea burmanica* Griff.). *Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec.* 226-227.

- Suktanarak, S., Supprung, P. and Teerachaichayut, S. 2017. Classification of sweet corn based on storage time after harvest using near infrared spectroscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 1152:47-54
- Huong, H.T. and Teerachaichayut, S. 2017. Non-destructive prediction of moisture content of lime (*Citrus aurantifolia* Swingle 'Paan') by multiple regression analysis of its electrical and physical properties. *Acta Hort. (ISHS)* 1152:299-306.
- Kerdpiboon, S., Supaphon, P., Teerachaichayut, S. and Peuchkamut, Y. 2017. Tenderness of sirloin beef affected by sous-vide cooking. The 63rd International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST 2017), 13-18 August 2017. Cork, Ireland. Submitted. (Grant: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang).
- Sontisuk Teerachaichayut, Huong Thanh Ho. 2017. Non-destructive prediction of total soluble solids, titratable acidity and maturity index of limes by near infrared hyperspectral imaging. *Postharvest Biology and Technology* 133: 20-25.
- Suktanarak, S., Teerachaichayut, S. 2017. Non-destructive quality assessment of hens' eggs using hyperspectral images. *Journal of Food Engineering* 215: 97-103.



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2560

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)  แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายสำหรับลูกชิ้นหมูโดยเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

(ภาษาอังกฤษ) Nondestructive detection of quality for pork meatball by near infrared spectroscopy

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัย รศ.ดร. สนธิสุข อีระชัยขยติ

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 01/10/2559 ถึงวันที่ 25/04/2560

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ 01/10/2559 ถึงวันที่ 30/09/2560

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ

งวดที่ 1 68,000 บาท 85 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป) 26/01/2560

งวดที่ 2 12,000 บาท 15 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป) 27/06/2560

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณทั้งหมด	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (บาท)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	10,000	10,000	-
ค่าวัสดุ+ค่าใช้สอย	70,000	70,111.90	-111.9
ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	80,000	80,111.90	-111.9

(รศ.ดร. สนธิสุข อีระชัยขยติ)

หัวหน้าโครงการวิจัย

30 / พ.ย. / 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T149342



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้