

การทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้แบบไม่ทำลายในซิงอบแห้งโดย  
ใช้การวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด  
Nondestructive prediction of total soluble solids in dehydrated  
ginger using near infrared spectroscopy



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้แบบไม่ทำลายในซิงอบแห้ง

โดยใช้การวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด

Nondestructive prediction of total soluble solids in dehydrated ginger  
using near infrared spectroscopy

จัดทำโดย

อชิรญา ตันตินันทรตระกูล รหัสนักศึกษา 59080191

อภิชญา สถาวรตระกูล รหัสนักศึกษา 59080192

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

...10.../ ...มิ.ย.../...2563...

(รศ.ดร. สนธิสุข อีระชัยชยติ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ      การทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้แบบไม่ทำลายในชิงอบแห้ง  
 โดยใช้การวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด

ชื่อนักศึกษา              อชิรญา ตันตินันท์ตระกูล รหัสนักศึกษา 59080191  
    อภิขญา สถาวรตระกูล      รหัสนักศึกษา 59080192

หลักสูตร                    วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

พ.ศ.                            2563

อาจารย์ที่ปรึกษา            รศ.ดร. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้งจำนวน 200 ตัวอย่าง ซึ่งนำมาจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง ที่ช่วงความยาวคลื่น 935–1720 นาโนเมตร โดยแบ่งเป็น กลุ่มสร้างสมการจำนวน 133 ชั้น กลุ่มทดสอบสมการ จำนวน 67 ชั้น เครื่องมือที่ใช้ คือ เครื่อง near infrared spectroscopy ชนิด hyperspectral imaging สร้างสมการโดยวิธี partial least square regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม Unscrambler® version 9.7 (Camo, Oslo, Norway) และ โปรแกรม Umbio Evince สำหรับผลการทดลอง พบว่าสมการมีความสามารถในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ซึ่งสมการที่ดีที่สุดคือ การใช้เทคนิคการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (Savitzky-Golay first derivative differentiation) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแทรก จากนั้นแปลงรูปด้วยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative scatter correction; MSC) ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients;  $R_p$ ) เท่ากับ 0.744 และ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ  $2.720^\circ\text{Bx}$  รายงานผลจากกลุ่มทดสอบสมการในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของชิงอบแห้งดังกล่าว เป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของชิงอบแห้งตามที่กำหนดในอุตสาหกรรมแบบไม่ทำลาย จะช่วยในการคัดแยกคุณภาพเพื่อการส่งออกของชิงอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็วยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** ชิงอบแห้ง, ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้, แบบไม่ทำลาย, การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Nondestructive prediction of total soluble solids in dehydrated ginger using near Infrared spectroscopy	
Student name	Achiraya Tantinantrakun	Student ID 59080191
	Apichaya Sathaworntrakul	Student ID 59080192
Program	Bachelor of Science in Food Processing Engineering	
Year	2020	
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Sontisuk Teerachaichayut	

### ABSTRACT

The objective of this research was to predict the total soluble solids in 200 dehydrated gingers from a factory. Spectra of samples were analyzed by using near infrared hyperspectral imaging (NIR-HSI) at wavelengths of 935–1720 nm. Sample were divided into a calibration set (N=133) and a prediction set (N=67). A calibration model was developed using partial least square regression (PLSR) by the software Unscrambler® version 9.7 (Camo, Oslo, Norway) and Umbio Evince. The best equation that could be used for predicting the amount of total soluble solids was preprocessed by Savitzky-Golay first derivative differentiation and multiplicative scatter correction (MSC) technique with correlation coefficients ( $R_p$ ) of 0.744 and root mean square error of prediction (RMSEP) of 2.720°Bx. For predicting the total soluble solids of dehydrated ginger the nondestructive determination is useful for the industry. That is efficient and faster for sorting the quality of dehydrated ginger for export.

**Keywords:** dehydrated ginger, total soluble solids, nondestructive, near infrared spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไม่ได้ หากไม่ได้คำแนะนำและความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งสละเวลาในการให้คำชี้แนะ ตั้งแต่การค้นคว้าหาข้อมูล การวิเคราะห์และการสังเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยของการจัดทำปัญหาพิเศษฉบับนี้ นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่คอยให้คำปรึกษาและให้กำลังใจในการทำปัญหาพิเศษ และขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ให้คำแนะนำในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้

อชิรญา ตันตินันทระกุล

อภิชญา สถาวรตระกูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ชิงอบแห้ง (dehydrated ginger) .....	4
2.2 NIR hyperspectral imaging (NIR-HSI) .....	7
2.3 Near Infrared spectrometer NIR.....	8
2.4 การวัดค่า total soluble solids.....	10
2.5 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์.....	10
2.6 เทคนิคการลดผลกระทบปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม.....	11
2.7 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 วิธีสร้างสมการจากกลุ่มสร้างสมการ.....	14
2.9 วิธีการทดสอบสมการ (validation test) .....	16
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	19
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	19
3.2 อุปกรณ์.....	19
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	24
4.1 ข้อมูลที่ได้จากการนำชิงอบแห้ง วัดการดูดกลืนพลังงานแสงด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 935 -1720 นาโนเมตร.....	24
4.2 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS) ของชิงอบแห้ง.....	24
4.3 ลักษณะสเปกตรัมของชิงอบแห้ง.....	24
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยกับค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ในชิงอบแห้ง.....	25
4.5 การสร้างโมเดลโดยใช้การวิเคราะห์แบบ PLS Regression.....	26
4.6 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้งระหว่างค่าจริงกับ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image.....	31
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	33
บรรณานุกรม.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	38
ภาคผนวก ก.....	39
ภาคผนวก ข.....	40
ภาคผนวก ค.....	44
ประวัติผู้เขียน.....	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เกณฑ์การพิจารณาค่า RPD.....	13
2.2 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ correlation coefficient (R) หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ coefficient of determination ( $R^2$ ).....	14
3.1 การจัดเรียงค่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สำหรับนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม The Unscrambler.....	21
3.2 วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง (pre-treatment) ในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในซิงออบแห้ง.....	22
4.1 แสดงค่าต่าง ๆ ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในซิงออบแห้งทั้งกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) .....	26
4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในซิงออบแห้งจากกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง.....	28
4.3 ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในซิงออบแห้ง.....	30
ค.1 ผลการวัดคุณภาพทางเคมีและกายภาพของซิงออบแห้ง.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กระบวนการแช่ผลไม้.....	6
4.1 ชิงอบแห้ง.....	24
4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงทั้งหมดกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง.....	25
4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของชิงอบแห้งที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูง และค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของชิงอบแห้งที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ.....	26
4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในชิงอบแห้งของกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) 133 ชิ้น หลังการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (Savitzky-Golay first derivative differentiation) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแทรก จากนั้นแปลงรูปด้วยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative scatter correction; MSC) .....	29
4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงจากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนาย โมเดล PLS Regression จากกลุ่มสร้างสมการ 133 ชิ้น ที่ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง.....	31
4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงจากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนาย โมเดล PLS Regression จากกลุ่มทดสอบสมการ 67 ชิ้น ที่ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง.....	32
ก.1 เครื่อง NIR hyperspectral imaging.....	39
ก.2 เครื่อง homogenizer disperser.....	39
ก.3 เครื่อง digital hand refractometer.....	39
ข.1 ตัวอย่างชิงอบแห้ง (dehydrated gingers).....	40
ข.2 การสแกนด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging.....	40
ข.3 กระบวนการเตรียมตัวอย่างสารละลายของชิงอบแห้ง.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข.4 การปั่นด้วยเครื่อง homogenizer disperser.....	40
ข.5 การกรองสารละลายขิงอบแห้ง.....	42
ข.6 สารละลายของขิงอบแห้ง.....	42
ข.7 วิธีการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS).....	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการส่งออกพืชสมุนไพรและเครื่องเทศไปต่างประเทศทั้งในรูปวัตถุดิบแห้งและบด สารสกัดหยาบ และผลิตภัณฑ์ชนิดสมุนไพรที่ส่งออก ได้แก่ ขมิ้นชัน รากชะเอม ชิง หมากสด และหมาก เป็นต้น โดยมีประเทศผู้ส่งออกที่สำคัญ คือ สาธารณรัฐประชาชนจีน อินเดีย พม่า อินโดนีเซีย และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ปัจจุบันมีการนำพืชสมุนไพรมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางลักษณะของการใช้จาก วัตถุดิบ สมุนไพรสด หรือแห้งเป็นสารสกัดมากขึ้น (กรมส่งเสริมการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556) ซึ่งขิงนั้น มีลักษณะเป็นเหง้า เหง้ามีลักษณะเป็นข้อๆ แบนในแนวนอน แตกแขนง รูปร่างเหมือนฝ่ามือ ประกอบด้วยง่ามเล็กๆ เปรียบเสมือนนิ้ว ขนาดยาว 3-16 เซนติเมตร กว้าง 3-4 เซนติเมตร และหนา มากกว่า 2 เซนติเมตร ผิวนอกสีเหลือง หรือน้ำตาลอ่อน มีขนตามยาว ภายในมีสีเหลืองอ่อนถึงสีน้ำตาล เป็นเส้น มีเส้นใยมาก กลิ่นหอมเฉพาะ ผงสีเหลืองอ่อน เผ็ดจัด ร้อน รสหวาน (ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร, 2553) ส่วนมากตลาดเครื่องเทศและสมุนไพรภายในประเทศ ยังคงนิยมเครื่องเทศที่ไม่ผ่านการแปรรูปหรือผ่านการแปรรูปเล็กน้อย เนื่องจากอุตสาหกรรมเครื่องเทศในประเทศไทยยังเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ที่ทำภายในครัวเรือนจึงไม่มีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตมาก ถึงแม้ผู้บริโภคภายในประเทศจะนิยมเครื่องเทศที่ไม่ผ่านการแปรรูปแต่ผู้ผลิตก็พยายามขยายตลาดเครื่องเทศแปรรูปมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคเปลี่ยนไปต้องการความสะดวกสบายมากขึ้นจึงทำให้มีการพยายามแปรรูปเครื่องเทศให้อยู่ในรูปที่ใช้สะดวกมากขึ้นหรือมีการนำเครื่องเทศหลายๆชนิดผสมกันให้สำเร็จรูปใช้ได้ทันที (พิทยา, 2546)

การวัดรสหวานของขิง โดยใช้วิธีการ total soluble solids (TSS) (ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร, 2553) ซึ่งในน้ำผลไม้ หรือน้ำผลไม้เข้มข้น อนุโลมให้ใช้การวัดค่าด้วย refractometer มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร หากเป็นสารละลายน้ำตาลหรือน้ำเชื่อม มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ ( $^{\circ}$ Brix) หรือเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อน้ำหนัก ซึ่ง Brix คือ หน่วยที่ใช้บอกความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก มักใช้กับน้ำเชื่อม น้ำผลไม้เข้มข้น เช่น น้ำเชื่อมเข้มข้น 10 บริกซ์ หมายถึง น้ำเชื่อมน้ำหนัก 100 กรัม มีน้ำตาลซูโครสละลายอยู่ 10 กรัม (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ซึ่งค่าที่วัดได้ เป็นการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำอยู่ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรักโทส กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดอะมิโนอิสระ วิตามินซี และแร่ธาตุต่างๆ หน่วยที่วัดได้เป็นเปอร์เซ็นต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักต่อปริมาตร การวัดค่า Brix อาจวัดได้ด้วย hydrometer หรือ refractometer รายงานผลเป็น degree Brix (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2562)

เทคนิค NIRS (Near Infrared spectrometer) เป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายตัวอย่างที่มีการนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรด pH ความแน่นเนื้อ การสูญเสียน้ำ และดัชนีการสุก การใช้ NIRS ในระบบการวัดแบบสะท้อนกลับช่วงความยาวคลื่น 600-2500 นาโนเมตร ในการตรวจสอบค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณการเปิดกรด ความแน่นเนื้อ และการสูญเสียน้ำ (นิมิตรา, 2559)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการหาเทคนิคเพื่อให้สามารถทราบปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในซิงอบแห้งแบบไม่ทำลาย ซึ่งไม่สามารถเห็นด้วยตาเปล่า วิธีนี้จะช่วยให้โรงงานผู้ผลิตสามารถคัดวัตถุดิบที่มีคุณภาพตามความต้องการ นอกจากนี้จะทำให้เกิดความยุติธรรม ในการซื้อวัตถุดิบจากเกษตรกร และเป็นสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้า เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง (NIR hyperspectral imaging) เป็นเทคนิคหนึ่งที่จะนำมาใช้ ในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในซิงอบแห้ง จะใช้หลักการให้แสงส่องผ่านเข้าไปยังตัวอย่างแล้ว วิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงในช่วง near infrared ที่ทำให้โมเลกุลของตัวอย่างเกิดการสั่นที่ความถี่สูง ใน การสั่นของพันธะต่าง ๆ จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันไปซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน และแสดงผลออกมาเป็นภาพการดูดกลืนพลังงานในจุดต่างๆ ของตัวอย่างทำให้สามารถตรวจสอบถึงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในซิงอบแห้งได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง อีกทั้งเทคนิคนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะไม่ต้องใช้สารเคมีในการตรวจสอบอีกด้วย (สนธิสุข, 2558)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อให้ได้ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดกับ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในซิงอบแห้ง

1.2.2 เพื่อให้ได้สมการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้แบบไม่ทำลายในซิงอบแห้ง โดยใช้การวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในขีงอบแห้งแบบไม่ทำลายโดยใช้ NIRS

1.3.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมได้

1.3.3 เข้าใจและสามารถฝึกฝนกระบวนการคิด การเตรียมงาน การค้นคว้า การตีความ การวิเคราะห์ การสรุป และการนำเสนอผลงานทางวิชาการได้มากขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการค้นคว้าหาข้อมูล สำหรับวิชาปัญหาพิเศษ และการทำวิจัยในการเรียนและการทำงานต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ชิงอบแห้ง (dehydrated ginger)

ชิง (Ginger) สมุนไพรที่นำมาใช้ในการประกอบอาหารได้หลากหลายเมนู อีกทั้งยังมากไปด้วยสรรพคุณทางยาที่ช่วยในการรักษาโรคได้เป็นอย่างดี รสชาติเผ็ดร้อน แต่อุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุ ที่สำคัญต่อร่างกาย ประกอบไปด้วย วิตามินเอ วิตามินบี1 วิตามินบี2 วิตามินบี3 วิตามินซี แคลเซียม ธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส คาร์โบไฮเดรต เส้นใย และโปรตีน ซึ่งทุกส่วนของชิง เช่น ราก เหง้า ต้น แก่น ดอก ใบ และผล ล้วนนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด

##### 2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของชิง

ชื่อ: ชิง

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Zingiber officinale Roscoe*. ชื่อวงศ์: ZINGIBERACEAE

ชื่อพ้อง: Ginger

##### 2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

พืชล้มลุก ขึ้นเป็นกอ มีเหง้าใต้ดินเป็นข้อๆ เนื้อในสีขาวหรือเหลืองอ่อน ปลายสุดของข้อจะเป็นที่แทงยอดหรือลำต้นเทียม ลำต้นสูงพ่นพ่นดินขึ้นมา 50-100 เซนติเมตร มีกาบหรือโคนใบหุ้มลักษณะใบ เป็นใบเดี่ยว ออกเรียงสลับกันเป็นสองแถว ใบรูปหอก ปลายใบสอบเรียวแหลม โคนใบสอบแคบ และจะเป็นกาบหุ้มลำต้นเทียม

ดอกช่อ ทรงกระบอก แทงขึ้นมาจากเหง้า กลีบดอกสีเหลืองอมเขียว อูมน้ำและหลอดรวงไว โคนกลีบดอกมีวนห่อ ส่วนปลายกลีบผายกว้างออก ใบประดับสีเขียว มีแต้มแดงตรงโคน ดอกเกสรผู้มี 6 อัน ผลแห้งแข็งมี 3 พู

##### 2.1.3 ส่วนที่ใช้เป็นยาและสรรพคุณ

เหง้า สรรพคุณ รักษาอาการแน่นจุกเสียดและอาการอาเจียน สารสำคัญที่ออกฤทธิ์ อนุพันธ์ของ Gingerol, Shogaol และ Diarylheptanoids มีฤทธิ์ต้านการอาเจียนและช่วยขับลม สารในน้ำมันหอมระเหย เช่น Menthol, Cineole มีผลลดอาการจุกเสียดได้ (อเนสดีคอส, 2019)

##### 2.1.4 ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS)

หมายถึง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดใช้บ่งชี้ความเข้มข้นของอาหารเหลว เช่น น้ำเชื่อม น้ำผลไม้เข้มข้น ของแข็งที่ละลายได้ในน้ำคั้นจาก ผัก ผลไม้ เป็นผลรวมของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรักโทส กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดแลคติก และแร่ธาตุต่างๆ สามารถใช้ เป็นดัชนี วัดความแก่อ่อน (maturity index) ของผักผลไม้ (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.5 Brix

Brix คือ หน่วยที่ใช้บอกความเข้มข้น ของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก มักใช้กับน้ำเชื่อม น้ำผลไม้ น้ำผลไม้เข้มข้น เช่น น้ำเชื่อมเข้มข้น 10 บริกซ์ หมายถึงน้ำเชื่อมน้ำหนัก 100 กรัม มีน้ำตาลซูโครสละลายอยู่ 10 กรัม (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ในน้ำผลไม้ หรือน้ำผลไม้เข้มข้น ค่าที่วัดได้ เป็นการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ (total soluble solids) ได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโทส กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดแอมิโนอิสระ วิตามินซี และแร่ธาตุต่างๆ หน่วยที่วัดได้เป็นเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2562)

### 2.1.6 Refractometer

เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร มีประโยชน์ในการใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย เช่น ปริมาณน้ำตาล ในน้ำคั้นจากผลไม้สด น้ำเชื่อม เครื่องดื่ม เช่น ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น องศาบริกซ์ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก)

#### 2.1.6.1 การใช้ refractometer

วัดน้ำคั้นจากผัก ผลไม้ หรือน้ำผลไม้ เป็นการวัดค่า total soluble solids หรือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เพราะในน้ำผลไม้ ประกอบด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ ซึ่งละลายได้ในน้ำ เช่น กลูโคส (glucose) ฟรุกโทส (fructose) ซูโครส (sucrose) นอกจากน้ำตาลแล้ว ในน้ำผลไม้ยังมีกรดอินทรีย์ ที่ละลายในน้ำได้ดี เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดทาร์ทาริก (tartaric acid) กรดแอมิโน และวิตามินซี ซึ่งค่าที่วัดได้ เป็นค่ารวมของความเข้มข้นน้ำตาลทุกชนิด และกรดอินทรีย์ที่ละลายได้ในน้ำผลไม้

#### 2.1.6.2 หลักการทำงานของ refractometers

refractometer ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาโดย Dr. Ernst Abbe นักวิทยาศาสตร์เยอรมัน/ออสเตรีย ในต้นศตวรรษที่ 20 โดยการทำงานของ refractometer เป็นการวัด ดัชนีหักเหของแสง (refractive index) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เช่น จากอากาศสู่น้ำ จากน้ำสู่คริสตัล (crystal) ทำให้ มุม ความเร็ว (velocity,  $v$ ) ของแสงแตกต่างกัน สารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันเมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเห และให้ค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกันซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงนำมาประยุกต์ใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายได้ (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2562)

### 2.1.7 การทำแห้ง (dehydration)

เป็นวิธีการถนอมอาหาร (food preservation) ที่นิยมใช้มานาน โดยลดความชื้น (moisture content) ของอาหารด้วยการระเหยน้ำ ด้วยการอบแห้ง (dehydration) การทอด (frying) หรือ การระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก ทำให้ช่วยลดการเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีในอาหาร ส่วนน้ำที่เหลือจากการทำแห้งเป็นน้ำที่ถูกยึดไว้กับองค์ประกอบของอาหาร (bound water) อยู่ในโครงสร้างหรือในเซลล์ที่ประกอบเป็นกล้ามเนื้อสัตว์ โดยทั่วไป เนื้อสัตว์เป็นแหล่งอาหารที่ดีสำหรับจุลินทรีย์ เนื่องจากมีสารอาหารครบถ้วน และมีน้ำอยู่ในเนื้อเยื่อปริมาณสูง โดยในเนื้อสัตว์มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงประมาณร้อยละ 70 จุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์สามารถเจริญเติบโตได้และเอนไซม์ในเนื้อจะทำงานได้ดี เมื่อมีน้ำเพียงพอ ดังนั้นการลดความชื้นหรือเอ็กสาร์เนชันเป็นเอ็กสาร์เนชันที่ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้อาหารแห้งก็จะช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ชะลอการทำงานของเอนไซม์ หรือชะลอปฏิกิริยาต่าง ๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมี ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (food spoilage) ช่วยให้เก็บได้นานขึ้น

การลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการทำให้แห้ง ทำให้อาหารมีค่า วอเตอร์แอกทิวิตี (water activity) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา (mycotoxin) เช่น Aflatoxin นอกจากนี้การทำให้แห้งยัง ทำให้อาหารมีน้ำหนักเบาลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การ บริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่น ๆ และยังเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้นอีกด้วย (April-May, 2014)

### 2.1.8 การผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

การผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง การแช่อิ่มเป็นการแช่ชิ้นผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีน้ำตาล กรดและสารให้ความหวานเป็นองค์ประกอบ จากนั้นจะเกิดความแตกต่างของแรงดันระหว่างชิ้นผลไม้ ออสโมติกจนทำให้ชิ้นผลไม้เกิดการสูญเสียน้ำ จนกระทั่งผลไม้มีปริมาณน้ำตาลหรือของแข็งที่ได้รับเพิ่มขึ้น กระบวนการแช่อิ่มผลไม้ โดยเริ่มจากการคัดเลือก ผลไม้ที่มีระดับการสุกที่เหมาะสมจากนั้นล้างทำความสะอาดและเข้าสู่กระบวนการเตรียมชิ้นผลไม้คือ การหั่นเป็นชิ้นหรือรูปทรงที่ต้องการ พร้อมทั้งส่งชิ้นผลไม้เข้าสู่ กระบวนการปรับปรุงคุณภาพเช่นการแช่สารซัลไฟต์ การลวกและการแช่สารต้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล น้ำชิ้นผลไม้เข้าสู่กระบวนการแช่อิ่มโดยแช่ชิ้นผลไม้ลงในสารละลายออสโมติกที่มีความหวาน ตามระยะเวลาที่กำหนด พร้อมอุณหภูมิ และอัตราส่วนของผลไม้และสารละลายออสโมติก หลังจากผ่านกระบวนการแช่อิ่มแล้วจะได้ชิ้น “ผลไม้แช่อิ่ม” และเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้งต่อไปจนได้ ผลิตภัณฑ์ “ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง”



รูปที่ 2.1 กระบวนการแช่อิ่มผลไม้

ที่มา: Chavan และ Amarowicz (2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดส่งผลต่อการแตกตัวของน้ำตาลซูโครสที่เป็นโมเลกุลคู่ให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ได้แก่ น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เมื่อสารละลายออสโมติกมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงจะส่งผลต่อคุณภาพของผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง

โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจะทำการตรวจวัดอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อ น้ำตาลซูโครสในชิ้นผลไม้หลังผ่านการแช่อิ่ม เพื่อควบคุมผลิตภัณฑ์แช่อิ่มอบแห้งให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยอัตราส่วนน้ำตาลทั้งหมดต่อ น้ำตาลซูโครสไม่ควรต่ำกว่า 2.0 เพราะจะส่งผลให้ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเกิดการตกผลึกบริเวณผิวหน้าของชิ้นผลไม้ และในขณะเดียวกันถ้าอัตราส่วนน้ำตาล ทั้งหมดต่อ น้ำตาลซูโครส สูงกว่า 2.5 ส่งผลให้ชิ้นผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีความเหนียวเพราะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มาก ใช้เวลาในการทำแห้งนาน คุณภาพที่สำคัญของผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้งของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่ผู้บริโภคมอบรับและเป็นไปตามกฎหมาย คือชิ้นผลไม้แช่อิ่มอบแห้งต้องมี ความนุ่ม ไม่แข็งกระด้าง ผิวหน้าแห้ง ไม่เกาะติดกัน ไม่มีน้ำตาลเหนียวในภาชนะ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ของน้ำหนักอบแห้ง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ผลไม้อบแห้ง, มพช.๑๓๖/๒๕๕๖ ดังนั้นการตรวจวัดค่า TSS ในผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ความสำคัญมากต่อการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง แต่การตรวจวัดดัชนีคุณภาพดังกล่าวที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่ การไทเทรตร้อน หรือ Lane Eynon method ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์นาน ใช้สารเคมีมาก ต้องอาศัย ผู้ชำนาญในการวิเคราะห์และมีความอันตรายจากการไทเทรตสารขณะต้มเดือด (ChavanและAmarowicz, 2012)

## 2.2 NIR hyperspectral imaging (NIR-HSI)

เครื่อง NIR hyperspectral imaging เป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ ตัวอย่าง ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive quality evaluation) มีความสามารถในการประเมินผลแบบ real-time โดยใช้เทคนิค Hyperspectral imaging ซึ่งเทคนิคนี้จะรวมกันระหว่างเทคนิคสเปกโตรสโกปี (Spectroscopy techniques) การใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่อินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared) และเทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer vision techniques) การประมวลผลภาพแบบ 20 ดิจิตอล ไว้ในระบบเดียวที่ให้ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และสเปกตรัมพร้อมกัน ซึ่งสามารถใช้ได้ในหลายกลุ่มอุตสาหกรรมและได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในด้านงานวิจัย เช่น ในการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพโดยใช้ทำนายคุณลักษณะต่างๆ ของเนื้อสัตว์ เช่น ความสด ค่าพีเอช องค์ประกอบทางเคมี การปนเปื้อน ในเนื้อวัว ปลา ไก่ เนื้อแกะ การหาการเปื้อนในนมผงเป็นต้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลได้เป็นอย่างดี และเทคนิค Hyperspectral imaging สามารถใช้เลือกความยาวคลื่นที่สำคัญ สำหรับการสร้างระบบการถ่ายภาพ multispectral ทำให้สามารถตอบสนองความต้องการของความเร็วในสายงานการผลิตด้านอุตสาหกรรม หากสามารถเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมได้สำหรับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับ จะเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการตรวจสอบในกระบวนการผลิตและการตรวจสอบแบบ real-time (ศิริพิชญ์และทิพย์วรรณ, 2559)

เทคนิค HSI สามารถวิเคราะห์ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้โดยวิธีการสร้างสมการมี วิธีที่คล้ายกับเทคนิค NIRS แต่เทคนิค HSI จะต้องมีขั้นตอนในการสกัดเส้นสเปกตรัมจากภาพถ่ายเชิง สเปกตรัมด้วยซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม โดยจะมีการสกัดข้อมูลสเปกตรัมจากตำแหน่งของภาพถ่ายใน ตำแหน่งที่สนใจหรือมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ต้องการศึกษา (region of interest, ROI) จะได้ สเปกตรัมเฉลี่ยตลอดช่วงความยาวคลื่นของการถ่ายภาพ จากนั้นจึงนำข้อมูลสเปกตรัมที่ได้มาหา ความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐาน เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพเชิงสเปกตรัมมี ขนาดใหญ่มากและข้อมูลภาพมีความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่ซับซ้อน จึงต้องอาศัย chemometric algorithms ในการปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการนำไปใช้สร้างสมการทำนาย (นิมิตรา, 2559)

## 2.3 Near Infrared spectrometer

NIR spectroscopy เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยอาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างเป็นวิธีการที่ให้ผลที่ดีและรวดเร็ว ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบไปจนถึงการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้ถูกนำมาใช้งานในช่วงปลายของทศวรรษ 1970 เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400-2500 นาโนเมตร NIR spectroscopy มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายๆ ด้านโดยเฉพาะด้านอาหารและยา ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของตัวอย่างทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้ดี

### 2.3.1 หลักการ

เมื่อนำแสงในช่วงความยาวคลื่น NIR ลงไปบนตัวอย่าง แสงที่มีพลังงานเพียงพอจะถูกดูดกลืนและกระตุ้นให้เกิดการสั่นของโมเลกุลใน functional groups ต่างๆ 2 ลักษณะ คือ การยืดหด (stretching) และ การเปลี่ยนมุม (bending) ช่วงความถี่ overtones และ combination ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, N-H และ O=H ซึ่งเป็น โมเลกุลหลักของสารอินทรีย์ ถ้าโครงสร้างโมเลกุลของสารตัวอย่างที่ตรวจวัดมีความซับซ้อนสเปกตรัมที่ได้จะยิ่งมีการซ้อนทับกันมากขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์สเปกตรัมเหล่านี้ จึงต้องทำการแยกแยะและแสดงลักษณะเฉพาะโดยนำวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการหาค่าเฉลี่ย

### 2.3.2 ระบบการวัดด้วยเทคนิค NIRS

ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมี 4 แบบ ได้แก่ แบบส่องผ่าน (transmittance) แบบสะท้อนกลับ (reflectance) แบบส่องผ่านสะท้อนกลับ (transflectance) และแบบอินเตอร์แอคแทนซ์ (Interactance) (Reich, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 ข้อดีและข้อจำกัดของ NIR

ข้อดีของ NIR spectrometry ที่เหนือกว่า MIR (Mid infrared) และ FIR (Far infrared) คือ ต้องการการเตรียมตัวอย่างเพียงเล็กน้อย และให้ข้อมูลตามเวลาจริง นอกจากนี้ NIR ยังแตกต่างจากวิธีการวิเคราะห์แบบอื่น ๆ อีกคือ ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่างไม่ใช้สารเคมีหรือทิ้งสารตกค้างตรวจวัดองค์ประกอบหรือตัวแปรต่าง ๆ ได้พร้อม ๆ กันและสามารถติดตั้งเครื่องมือได้ทุกสถานที่ใช้งานง่ายโดยไม่ต้องอาศัยนักเคมี ทำงานได้โดยไม่ต้องใช้ตู้ดูดควันระบบระบายน้ำ ความแม่นยำของ NIR นั้นขึ้นกับความแม่นยำของวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการควบคุม

NIR มีข้อดีมากกว่า MIR และ FIR อีกข้อหนึ่งก็คือ เรื่องของความร้อรรบกวน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในทุกชิ้นจะเป็นแหล่งกำเนิดความร้อรรบกวนต่อเครื่องตรวจวัดสัญญาณในช่วง MIR และ FIR แต่จะส่งผลกระทบต่อเครื่องตรวจวัด NIR เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีผลเลย

### 2.3.4 ข้อจำกัด

NIR มีข้อจำกัดที่สามารถตรวจวัดได้เฉพาะโมเลกุลของสารอินทรีย์เท่านั้น เพราะโลหะ เช่น เงินหรือตะกั่ว และสารอนินทรีย์ ส่วนใหญ่ไม่สามารถดูดกลืนรังสีในช่วง NIR ได้เนื่องจาก NIR ไม่ได้เป็นระบบ stand-alone ดังนั้น การสอบเทียบส่วนประกอบหรือตัวแปรต่าง ๆ รวมทั้งการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีมาตรฐานอยู่เป็นประจำจึงเป็นสิ่งจำเป็นมากเพื่อให้มั่นใจได้ว่าการสอบเทียบยังคงให้ความน่าเชื่อถืออยู่และจะต้องทำการปรับปรุงการสอบเทียบให้ทันสมัยอยู่เสมอ ถึงแม้ว่าวิธีการทางด้านคณิตศาสตร์และสถิติจะเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลสำคัญของสเปกตรัมที่มีการซ้อนทับแต่ก็ต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการพัฒนาในเรื่องของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของสเปกตรัมและองค์ประกอบหรือตัวแปรต่าง ๆ เช่น คุณสมบัติของหมู่ฟังก์ชัน ในเชิงสถิติเป็นอย่างดี ซึ่งการที่จะได้ข้อมูลเหล่านี้ก็ต้องผ่านกระบวนการวิเคราะห์มาตรฐานมาก่อนเทคโนโลยีของ NIR ในปัจจุบัน

NIR ระบบ digital dispersive grating หลักการทำงานของเครื่อง NIR ระบบ Digital Dispersive Grating คือ แสงจากแหล่งให้พลังงานแสงจะถูกกระจายและควบคุมด้วยระบบโมโนโครมาเตอร์ให้อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการส่งผ่านไปยังตัวอย่าง และวัดปริมาณแสงที่ตัวอย่างดูดกลืนไว้ด้วยอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดแล้วแปลงเป็นสัญญาณส่งเข้าสู่ส่วนประมวลผลตามลำดับในส่วนของโปรแกรมการทำงานจะบันทึกปริมาณแสงที่ตัวอย่างดูดกลืนไว้เทียบกับความยาวคลื่นต่าง ๆ เรียกว่าสเปกตรัม (Spectrum) แล้วนำมาจับคู่ (Matching) กับค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทราบจากห้องปฏิบัติการ (พรรรถิพย์, 2557)

## 2.2.5 การประยุกต์ใช้งาน

### 2.2.5.1 การตรวจสอบวัตถุดิบ

ใช้ในการจำแนกความแตกต่างของวัตถุ เช่น สารที่เป็น excipients หรือสารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ วิธีการจำแนกวัตถุดิบด้วย NIR นี้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยา ซึ่งสามารถตรวจสอบวัสดุในปริมาณมากได้โดยไม่ต้องเสียเวลาไปกับเทคนิค wet chemical หรือโครมาโตกราฟีแบบเดิม ๆ สเปกตรัมที่ได้จากตัวอย่างใหม่ ๆ จะถูกตรวจสอบแล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานเพื่อให้อีกสารนี้เป็นอีกสารที่ส่งวนเวียนหรือการเชิงานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าปะปนระยเช่นนี้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ผลการจำแนกที่รวดเร็วการตรวจวัดความชื้นน้ำเป็นสารที่ดูดกลืนแสงในช่วง NIR อย่างรุนแรง จึงทำให้เหมาะต่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วย NIR ซึ่งสเปกตรัมจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงระดับความชื้นสามารถตรวจวัดได้ด้วยโมเดลการสอบเทียบที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นเทียบกับวิธีการมาตรฐาน เช่น Karl Fischer Titration ความชื้นเป็นตัวแปรที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เคมี ยา และสิ่งทอ NIR สามารถตรวจวัดความชื้นในผลิตภัณฑ์แห้งเยือกแข็งได้โดยไม่ต้องนำตัวอย่างออกจากภาชนะ ตรวจวัดปริมาณน้ำทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ยาที่อยู่ในกระบวนการทำแห้ง หรือใช้ตรวจวัดความชื้นในกระบวนการตกผลึก เพื่อหาจุดยุติของการตกผลึก (พรรรถิพย์, 2557)

## 2.4 การวัดค่า total soluble solids

ในน้ำผลไม้ หรือน้ำผลไม้เข้มข้น อนุโลมให้ใช้การวัดค่าด้วย refractometer มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร หากเป็นสารละลายน้ำตาลหรือน้ำเชื่อม มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ ( $^{\circ}$ Brix) หรือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก

Brix คือ หน่วยที่ใช้บอกความเข้มข้น ของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก มักใช้กับน้ำเชื่อม น้ำผลไม้เข้มข้น เช่น น้ำเชื่อมเข้มข้น 10 บริกซ์ หมายถึงน้ำเชื่อมน้ำหนัก 100 กรัม มีน้ำตาลซูโครสละลายอยู่ 10 กรัม (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ในน้ำผลไม้ หรือน้ำผลไม้เข้มข้น ค่าที่วัดได้ เป็นการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ (total soluble solids) ได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรักโทส กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดแอมิโนอิสระ วิตามินซี และแร่ธาตุต่างๆ หน่วยที่วัดได้เป็นเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร และการวัดค่า Brix อาจวัดได้ด้วย hydrometer หรือ refractometer รายงานผลเป็น degree Brix (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2562)

## 2.5 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์

### 2.5.1 การหาค่าเฉลี่ย (Mean)

เป็นการนำสเปกตรัมหลายๆ สเปกตรัมที่ได้จากการสแกนมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำระหว่างการวัดสเปกตรัมจากเครื่องมือเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นจากความร้อนของอุปกรณ์ตรวจวัดรวมถึงจำนวนครั้งที่ใช้ในการสแกนขึ้นอยู่กับการใช้งาน

### 2.5.2 การทำให้เป็นค่ามาตรฐาน (standardization)

เป็นการทำให้ค่ามาตรฐานที่เป็นค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆมาหาร ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น ผลที่ได้คือจะทำให้ความแปรปรวนของสเปกตรัมที่ทุกๆ ความยาวคลื่นนั้นมีค่าเท่ากับ 1 หรืออาจทำให้ตัวแปรในโมเดลนั้นๆ มีค่าเท่ากัน ทั้งหมด ซึ่งนิยมใช้ในกรณีที่มีหลายตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.3 การลดสัญญาณรบกวน

โดยเครื่องมือทั่วไปที่ใช้สำหรับการวัดสเปกตรัมของรังสีย่านใกล้อินฟราเรด จะถูกออกแบบให้มีความคลาดเคลื่อนต่ำในการวัดค่า  $\log(1/R)$  และค่าความยาวคลื่น ซึ่งบางครั้งอาจเกิดจาก สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงหรือ สาเหตุอื่นๆ ที่สามารถส่งผลทำให้ สเปกตรัมไม่เรียบ

นอกจากวิธีทางคณิตศาสตร์แล้วยังมีวิธีอื่นอีกที่นิยมใช้ คือการเฉลี่ยเคลื่อนที่ (running mean smooth or n-point smooth), การปรับเรียบแบบซาวิตซ์กีโกลย์ (Savitzky – Rolay smooth)

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

เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดโดยใช้หลักการการแทนที่ค่า  $\log(1/R)$  เริ่มต้นในแต่ละจุดหรือในแต่ละความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่า  $\log(1/R)$  ที่ทำการคำนวณในช่วงของความยาวคลื่น ที่มีจุดศูนย์กลางของช่วงอยู่ตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ ซึ่งจำนวนของจุดคือ  $n = 2m + 1$  โดยที่  $m$  คือจำนวนของจุดทั้งสองด้านของจุดกึ่งกลาง วิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่จะทำให้ค่า  $\log(1/R)$  ของสเปกตรัมมียอดที่แหลม (Narrow Peak) แต่ส่วนสเปกตรัมยอดมีฐานกว้างเท่าเดิม

### 2.5.5 การปรับเรียบแบบซาวิตซ์กีโกลย์ (Savitzky - Golay smooth)

เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับการทำให้สัญญาณสเปกตรัมเรียบ ซึ่งจะเลือกใช้ ในกรณีที่มีข้อมูลมีสัญญาณรบกวนมากๆ ต้องการทำให้สัญญาณเรียบและยังคงรูปร่างของสเปกตรัมเริ่มต้นไว้ เมื่อรูปร่างของสเปกตรัมเหล่านั้นมียอดแหลมเป็นจำนวนมากโดยหลักการนี้เริ่มต้นด้วยการ กำหนดให้จำนวนข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นเหมือนกับวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่ ( $n = 2m + 1$ ) จากนั้นนำข้อมูล สเปกตรัม  $\log(L/R)$  มาทำการกำหนด Least Square เพื่อให้ได้สมการที่มีความต่อเนื่อง และสามารถเป็น ข้อมูลตัวแทนของบริเวณดังกล่าว (อนุพันธ์, 2555)

## 2.6 เทคนิคการลดผลกระทบปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม

### 2.6.1 การแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ (derivative transformation)

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

เป็นการหาความชันของสเปกตรัมสามารถช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมี ค่าที่เพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือจากการเคลื่อนตัวของสเปกตรัมในแกน Y อันเนื่องมาจาก อิทธิพลของความชื้นที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบ และขนาดของอนุภาคที่ความแตกต่างกัน ซึ่งการทำ first derivative จะทำให้การแปลความหมายนั้นได้ยาก จึงทำให้หันมาใช้วิธี Second derivative มากกว่า first derivative ซึ่งจะนิยมใช้กับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอและความกระจายตัวของอนุภาคอย่างทั่วถึง

#### 2.6.1.2. อนุพันธ์อันดับ 2 (second derivative)

เป็นการทำการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัม ซึ่งสเปกตรัมที่ได้ นั้น มีรูปร่างที่ต่างไปจากสเปกตรัมเริ่มต้น ซึ่งในการหาการเปลี่ยนแปลงของความชัน สามารถแยกจุดยอดที่เหลื่อม ซ้อนกันอยู่ได้ และสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีนี้ จะมีจุดยอดที่มีค่าเป็นบวกในด้านซ้ายและด้านขวา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนจุดยอดตรงกลางจะอยู่ตรงข้ามที่มีค่ามากที่สุดและบริเวณที่ตรงกับจุดยอดเริ่มต้น ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมนั้นสามารถแยกจุดยอดของสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนกันของสเปกตรัมเริ่มต้นได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีนี้ จึงเป็นวิธีที่นิยมมากกว่าวิธี first derivative

### 2.6.1.3. การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative correction, MSC)

เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อลดผลที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattered light) ต่อสเปกตรัม NIR ที่ได้จากการสะท้อนแพร่ (diffuse reflectance) และแบบส่องผ่าน (transmittance) MSC ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้สามารถลดผลกระทบแบบผลคูณ (multiple effect) ได้ด้วยหรือผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงให้เท่ากันตลอดช่วงของความยาวคลื่น วิธีการคือการหามุขสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย

### 2.6.2 วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานและการปรับแนวโน้ม (Standard Normal Variate, SNV la detrending)

การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (SNV) เป็นวิธีที่มักจะใช้คู่กับการปรับแนวโน้มของเส้นสเปกตรัม (detrending) โดยใช้การปรับแก้ด้วย SNV แล้วจึงตามด้วยการปรับแก้แนวโน้มหรือการลดความโน้มเอียงของเส้นสเปกตรัม ทั้งนี้เพื่อปรับแก้ผลที่เกิดจากการกระเจิงแสงที่มักจะส่งผลเป็นแบบผลคูณต่อค่าการดูดกลืนแสง โดยผลจากการปรับแก้จะคล้ายกับวิธีการปรับแก้แบบ MSC ส่วนวิธีการปรับแนวโน้มนี้จะใช้ต่อจากวิธี SNV เพื่อทำการปรับแก้เพิ่มเติมโดยจะเป็นวิธีที่ลดความแปรปรวนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของเส้นสเปกตรัม (Baseline shift) แต่โดยทั่วไปแล้วการปรับแบบวิธี SNV อย่างเดียวก็เพียงพอ

### 2.6.3 การปรับแต่งด้วยวิธี smoothing

เป็นการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ที่มีการแทนค่าดูดกลืนแสงแต่ละความยาวคลื่น ด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของความยาวคลื่นที่ตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ จากนั้นมีการเลื่อนช่วงไปหนึ่งความยาวคลื่น แล้วทำการคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงของความยาวคลื่น จึงสามารถช่วยลดปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสงได้โดยจะได้สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมเดิมแต่จะมีความเรียบและความสม่ำเสมอมากกว่าเดิม (อนุพันธ์, 2555)

## 2.7 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ

### 2.7.1 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (standard error of calibration: SEC)

คือค่าที่บอกถึงสมการที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถนำไปใช้ในการทำนายต่อไปได้ดีหรือไม่ และในการค่าที่คำนวณออกมาได้นี้ควรมีค่าน้อยๆ

### 2.7.2 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (standard error of prediction; SEP)

คือ ค่าที่บอกถึงการนำเอาสมการที่สร้างขึ้นนั้นมาทำนายปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากเครื่อง NIR ซึ่งจะมีความแม่นยำสูงหรือต่ำนั้น ต้องดูค่า SEP นี้ได้จากการคำนวณ ซึ่งถ้ามีค่าน้อยๆ แสดงว่าสมการที่สร้างขึ้นนี้มีความแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.3 ค่าเฉลี่ย (Mean)

คือ การนำค่าของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIR (average of difference between actual value and NIR value; bias) คือ ค่าเฉลี่ยของการทำนายข้อมูลในตัวแปรตาม เทียบกับค่าเฉลี่ยข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X) นั้นมีความแตกต่างกัน หรือไม่ ซึ่งจากการคำนวณควรมีค่าน้อยๆ

2.7.4 อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม (validation set ต่อค่า SEP (ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP; RPD)

คือ ค่าของสัดส่วน ระหว่างค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายได้จาก NIR กับค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์จริง ซึ่งค่า RPD ที่ดีที่ได้จากการคำนวณควรจะต้องมีค่าสูงๆ

### 2.7.5 การทดสอบความถูกต้องของสมการ

นำสเปกตรัมของตัวอย่างกลุ่มที่ 2 (validation set) ที่ทราบค่าทางเคมีแลวมานำทำนายด้วยสมการที่สร้างขึ้น แล้วประเมินความถูกต้องแม่นยำโดยใช้ค่าสถิติต่างๆ ดังนี้

- SEP(C) (standard error of prediction corrected by bias) ควรมีค่าไม่เกิน 1.29 เท่าของค่า SEC
- Bias ควรมีค่าไม่เกิน 0.55 เท่าของค่า SEC
- $R^2$  และ slope มีค่าเข้าใกล้ 1
- RPD (residual prediction deviation) เป็นค่าอัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มทดสอบสมการต่อค่า SEP ค่าจากที่คำนวณได้มีค่าสูง หมายถึง ค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายได้จาก NIR มีค่าน้อยกว่าผิดพลาดมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์จริง เกณฑ์การพิจารณาค่า RPD ดังตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 เกณฑ์การพิจารณาค่า RPD

ค่า RPD	การนำไปใช้งาน
0.0 – 2.3	ไม่สามารถใช้เป็นสมการทำนายได้
2.4 – 3.0	สามารถใช้ในการคัดเลือกเบื้องต้นได้
3.1 – 4.9	สามารถใช้ในการคัดเลือก หรือตรวจคุณภาพบางอย่าง
5.0 – 6.4	สามารถใช้ในการตรวจคุณภาพได้
6.5 – 8.0	สามารถใช้กับงานประกันคุณภาพได้
8.1 >	สามารถใช้ได้กับทุกงาน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Williams P.C. (2007)

### 2.7.6 partial least square discriminant analysis (PLS-DA)

partial least square discriminant analysis (PLS-DA) เป็นวิธีในการจำแนกกลุ่มของข้อมูลที่มีตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไป วิธีนี้ต้องกำหนดค่าในกลุ่มแรกให้มีค่าเท่ากับศูนย์และกลุ่มที่สองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าเท่ากับ 13 นั้น นำมาทำการสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นด้วยวิธี PLSR วิธี PLS-DA เป็นวิธีวิเคราะห์ข้อมูลโดยจะสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า principal component (PC) ซึ่งเป็นผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรต้นทุกตัว โดย PC1 จะเป็นค่าที่อธิบายความแปรปรวนร่วมที่มากที่สุดของตัวแปรต้นของตัวอย่างกับค่าที่ใช้ทำนาย แยกกลุ่มระหว่างสองกลุ่มข้อมูลข้อมูล PC ซึ่งเรียกว่า score เมื่อพล็อตร่วมกันระหว่างสอง PC จะสามารถนำมาตรวจสอบการแบ่งกลุ่มของตัวอย่างได้ว่าถูกแยกด้วย PC ไต และตัวแปรต้นตัวใดที่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดการแยกระหว่างสองกลุ่ม โดยตรวจสอบดูค่า loading ซึ่งค่า loading ที่มีค่าสูงของ PC ที่ทำให้เกิดการแบ่งกลุ่มจะแสดงว่าตัวแปรต้นตัวดังกล่าวมีผลทำให้เกิดการแบ่งกลุ่ม (อนุพันธ์, 2555)

### 2.7.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; R)

คือค่าที่แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) หากค่าที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ เท่ากับ 1 หมายความว่า สมการที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการอธิบายค่าทำนายที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) กับค่าแปรตาม (Y) ที่มี ความสัมพันธ์กันมาก การแปลความหมายของค่า R และ R<sup>2</sup> (ปานมนัส, 2556) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ correlation coefficient (R) หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ coefficient of determination (R<sup>2</sup>)

R	R <sup>2</sup>	ประสิทธิภาพของสมการทำนาย
± 0.5	0.25	ไม่ควรใช้ในการทำนาย
± 0.51-0.70	0.26-0.49	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ
± 0.71-0.80	0.50-0.64	สามารถใช้คัดเลือกเบื้องต้นได้
± 0.81-0.90	0.65-0.81	สามารถใช้ในการคัดเลือกหรือประมาณค่าเบื้องต้น
± 0.91-0.95	0.82-0.90	สามารถใช้ตรวจสอบคุณภาพได้
± 0.96-0.98	0.92-0.96	สามารถใช้งานประกันคุณภาพได้
± 0.99 ขึ้นไป	0.98 ขึ้นไป	สามารถใช้ได้กับทุกงาน

ที่มา: Williams (2007)

## 2.8 วิธีสร้างสมการจากกลุ่มสร้างสมการ

2.8.1 wavelength selection เป็นการเลือกความคลื่นเฉพาะซึ่งเป็นตัวแปรอิสระให้ความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามนั้น โดยการพิจารณาจากข้อมูลทางสถิติ ดังนี้

### 2.8.1.1 simple linear regression (SLR)

เป็นการสร้างสมการที่ประกอบด้วยตัวแปรสองชนิดที่มีความสัมพันธ์กัน คือ ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) SLR เป็นการเลือก พิจารณา ความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียว (single wavelength) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย NIRS เป็นไปไม่ได้ที่จะใช้ความยาวคลื่นใดความยาวคลื่นหนึ่ง ในการหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างได้ เนื่องจากตัวอย่าง ประกอบด้วย องค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด ด้วยกัน ดังนั้นจึงต้องใช้ข้อมูลจากหลายความยาวคลื่น (multiple wavelengths) เพื่อทำนายปริมาณ องค์ประกอบทางเคมีของผลผลิต (ศุมาพร, 2545)

สมการ SLR สามารถเขียนได้ดังนี้คือ

$$Y = b_0 + b_1X$$

เมื่อ  $Y$  = ค่าองค์ประกอบทางเคมี

$X$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นตำแหน่งเดียว

$b_0$  = ค่าคงที่ ณ จุดตัดแกน  $Y$  เมื่อ  $X$  มีค่าเท่ากับศูนย์

$b_1$  = ค่าคงที่การถดถอย

### 2.8.1.2 multiple linear regression (MLR)

เป็นวิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่นำตัวแปรอิสระ (ตัวแปร  $X$ ) มากกว่าหนึ่งตัว มาใช้ในการประมาณค่าตัวแปรตาม (ตัวแปร  $Y$ ) การนำ เทคนิค MLR มาใช้ในการวิเคราะห์ผลมีข้อดีมากกว่า วิธี SLR หลายประการ เช่นสมการที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้กับตัวอย่าง ที่มีองค์ประกอบซับซ้อนได้ อย่างไรก็ตามการสร้างสมการด้วยวิธี MLR มี ข้อเสียคือการคัดเลือกตัวแปรอิสระ หรือค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับ ข้อมูลทางเคมีต้องใช้เวลานาน จำนวนของตัวแปรอิสระหรือจำนวนของความยาวคลื่นที่นำมาใช้ในการ สมการจะถูกจำกัด โดยจำนวนของตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบ ต้องมีตัวอย่างจำนวนมากเพื่อให้ สมการที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องและแม่นยำ การคัดเลือกตัวแปรอิสระหรือความยาวคลื่นที่เหมาะสม จากความยาวคลื่นทั้งหมดมาสร้างสมการอาจได้ข้อมูลที่ไม่ครอบคลุม มากพอ ทำให้ค่าที่ทำนายได้จาก วิธีนี้มีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่แท้จริง (Osborneและคณะ, 1993)

สมการ MLR สามารถเขียนได้ ดังนี้คือ

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

เมื่อ  $X_1, X_2, \dots, X_n$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น  $n$  ตำแหน่ง

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$  = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ความยาวคลื่น  $n$  ตำแหน่ง

### 2.8.2 full spectrum method

การที่จะพิจารณาเลือกความยาวคลื่นที่มี ความสัมพันธ์กับ ค่าองค์ประกอบที่ศึกษานั้นค่อนข้างทำได้ยาก เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย การใช้ข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดหรือในช่วง ความยาวคลื่นที่สนใจจะช่วยให้สมการ calibration ที่ได้มีความถูกต้อง มากขึ้น full spectrum method เป็น การเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่น ทั้งหมดในสเปกตรัมมาสร้าง สมการโดยทำการลดจำนวนตัวแปรอิสระ ( $X$ ) และ สร้างตัวแปรกลุ่มใหม่ขึ้นมา วิธีทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่ 2 วิธี คือ principle component regression (PCR) และ partial least square regression (PLSR) ทั้งสองวิธีนี้ต้องใช้ในการสร้างตัวแปรใหม่ที่ เรียกว่า factor หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



reference methods แทนค่าข้อมูลชุด  $x$  และนำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRS จากนั้นนำค่าที่ได้ไปแทนที่ในสมการ calibration แทนที่ด้วยข้อมูลชุด  $y$  นำผลที่ได้จากทั้งสองวิธีมาพิจารณาเปรียบเทียบโดยมีค่าทางสถิติที่ใช้วัดคือค่า standard error of prediction (SEP) หรือค่า root mean square error of prediction (RMSEP) และ bias ซึ่งค่าทางสถิติเหล่านี้จะบอกถึงประสิทธิภาพของสมการ calibration ถ้าผลการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับผลที่อ้างอิง และให้ค่าทางสถิติที่ดี แสดงว่าสมการที่ใช้ในการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีนั้นยอมรับได้และสามารถนำไปใช้ทำนายในตัวอย่างต่อไปได้อย่างถูกต้อง (ศุมาพร, 2545)

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กาญจนา (2558) ศึกษาการวัดค่า commercial cane sugar (CCS) จากน้ำอ้อย นำค่าสเปกตรัมที่วัดได้ และค่าวิเคราะห์ทางเคมี สร้างสมการสำหรับวัดค่า CCS โดยใช้ น้ำอ้อย ได้สมการที่มีค่า  $R = 0.972$  ซึ่งมีค่าที่เข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมาก โดยตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระจะเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน ซึ่งมาจากค่าของบริกซ์ และโพลให้ค่า  $R$  ที่เข้าใกล้ 1 ค่า RMSEC root mean square error of calibration (RMSEC) คือค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ และ root mean square error of prediction (RMSEP) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายมีค่าต่ำกว่า 1 และทั้งสองค่า มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ถ้ามีค่าต่ำกว่า 1 เข้าใกล้ 0 มาก และมีค่าแตกต่างกันน้อย แสดงว่าสมการมีความแม่นยำในการทำนายมาก เนื่องมาจากในน้ำอ้อยมีปริมาณของเส้นใยปนอยู่น้อย แม้ว่าการใช้น้ำอ้อยจะไม่สามารถวิเคราะห์ค่าของไฟเบอร์ได้ แต่ตัวอย่างมีความสม่ำเสมอในกรณีวิเคราะห์สูง และเหมาะกับงานที่ใช้ในการคัดเลือกพันธุ์อ้อยเบื้องต้น

นิมิตรา (2559) ในการตรวจสอบค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ค่าความเป็นกรด ความแน่นเนื้อ การสูญเสียน้ำหนัก และระยะเวลาในการบ่ม ของมะม่วงน้ำดอกไม้และมะม่วงโชคอนันต์ ในระหว่างการบ่มให้สุก พบว่า เทคนิค NIRS มีความแม่นยำสูงในการสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยของค่า Refrigeration TON (RT) และการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.97 และ 0.92 และมะม่วงโชคอนันต์มีค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ coefficient of determination ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.97 และ 0.90 และมีค่า SEP (standard error of prediction) ของมะม่วงทั้ง 2 ชนิดเท่ากับ 0.4 และ 0.9 และนอกจากนี้ ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.59, 0.72, 0.84 และ 0.68 ตามลำดับ ส่วนในมะม่วงโชคอนันต์มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.73, 0.75, 0.77 และ 0.85 ตามลำดับ โดย พิจารณาประสิทธิภาพของสมการจากค่า  $R^2$  มาก แต่มีค่า SEP และ number of principal components (PC) น้อย

Nordey และคณะ (2017) ได้ศึกษาใกล้อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIRS) ถูกนำมาใช้สำหรับการประเมินคุณภาพมะม่วงที่ยังไม่สุกภายในโดยไม่ทำลาย ค่ารูทของค่าเฉลี่ยกำลังสองผิดพลาดในการทำนาย (RMSEP) คือ 0.6 °Brix 1.4%, 5.9 meq 100 g FM<sup>-1</sup> และ 3.16 °Brix สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดของผลไม้ (TSS) เนื้อแห้ง ความเป็นกรดที่สามารถไตเตรทได้และมุมสีของสีเนื้อตามลำดับในการศึกษา  
นี้ยืนยันว่าแบบจำลอง NIRS สามารถใช้ในการทำนายคุณภาพของมะม่วงด้วยความแม่นยำ

Jiang และคณะ (2019) ศึกษาความเป็นไปได้ของการประเมินคุณภาพของพริกแบบไม่ทำลายโดยใช้  
เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง ในช่วง 975-1646 นาโน  
เมตร ถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้ภาพสะท้อนของพริกพบว่า Extreme Learning Machine (ELM) ที่ใช้ร่วมกับ  
การเลือกวิธีสามตัวแปรที่ต่างกันพร้อมกับ Successive Projections Algorithm (SPA) ให้ผลที่ดีที่สุดสำหรับ  
การทำนายความเข้มข้น Capsaicin และ Dihydrocapsaicin และปริมาณน้ำ ที่มีค่าสหสัมพันธ์สูงสุดในการ  
ทำนาย คือ 0.83 0.80 0.93 ตามลำดับ การกระจายของความเข้มข้น Capsaicin และ Dihydrocapsaicin  
สำหรับพริกชี้หนูที่สมบูรณ์และพริกชี้หนูที่โดนตัด

Maniwara และคณะ (2019) การประเมินคุณภาพของเสาวรสีม่วง เป็นวิธีปฏิบัติที่สำคัญก่อน  
บริโภคหรือแปรรูป ศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผลไม้ (TSS) ความเป็นกรดแบบ titratable  
(TA) และปริมาณเยื่อกระดาษ (PC) ถูกทำนายโดยสเปกโทรสโกปีใกล้อินฟราเรด (NIR) แบบจำลองการทำนาย  
ถูกสร้างขึ้นโดย Chemometrics ของการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด partial least squares regression  
(PLS) บางส่วนบนสเปกตรัม NIR จากสเปกโทรสโกปี แบบจำลองการทำนายที่แข็งแกร่งของปริมาณ  
เยื่อกระดาษให้ค่าที่ดีที่สุดของค่าเบี่ยงเบนการทำนายส่วนที่เหลือ relative percent difference (RPD)  
เท่ากับ 6.4 การเลือกตัวแปรเน้นความยาวคลื่นที่สำคัญและช่วยในการตัดตัวแปรที่ไม่สำคัญสำหรับ ปริมาณ  
ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณกรด และ principal component (PC) สร้างการสอบเทียบที่มีผลลัพธ์ที่  
น่าพอใจในการทำนาย ค่า เท่ากับ 0.84 - 0.98 สรุปได้ว่า NIR สเปกโทรสโกปีแบบไม่ทำลายสามารถเป็น  
เครื่องทำนายศักยภาพในการกำหนดคุณภาพของเสาวรสีม่วง

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 ชิงอบแห้งสำเร็จรูป (dehydrated Ginger)

#### 3.2 อุปกรณ์

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

3.2.2 โปรแกรม Umbio Evince version 2.7.11

3.2.3 เครื่อง Near infrared spectroscopy ชนิด Hyperspectral Imagin รุ่น FX17e ยี่ห้อ specim

3.2.4 เครื่อง Homogenizer รุ่น IKA T25 หัวปั่นรุ่น S25N-18G dispersing tool

3.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนักสารดิจิตอล Sartorius รุ่น BSA3202S-CW

3.2.6 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล 500 กรัม / 0.01 กรัม รุ่น IDS704 ยี่ห้อ SDS

3.2.7 เครื่อง Refractometer รุ่น PAL-1 ยี่ห้อ ATAGO ประเทศ Japan

3.2.8 น้ำกลั่น (Distilled water)

3.2.9 ปีกเกอร์ ขนาด 10 มิลลิลิตร

3.2.10 ถุงซิปล็อค

3.2.11 plastic wrap

3.2.12 มีด หรือ กรรไกร

3.2.13 เขียง

3.2.14 ถุงมือยาง

3.2.15 กระบอกดวง

3.2.16 ผ้าขาวบาง

3.2.17 แท่งแก้ว

3.2.18 หลอดหยดสาร

3.2.19 น้ำ DI (Deionized water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 เตรียมตัวอย่างชิงอบแห้ง 14 ชิ้น/วัน โดยคัดเลือกรูปร่างให้มีความสม่ำเสมอ ด้านสีและน้ำหนัก ให้อยู่ในช่วง 4.99-5.00 กรัม ทำการขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ นำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการปรับอุณหภูมิก่อนการวัดด้วยการเก็บไว้ในห้องปรับอากาศที่รักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

3.3.2 ทำการวัดการดูดกลืนพลังงานแสงด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging โหมด reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 935 – 1720 นาโนเมตร โดยระบุตำแหน่งของการวัดเป็น 1 ด้านของตัวอย่างชิงอบแห้ง โดยรักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส

3.3.3 ทำการเตรียมตัวอย่างสารละลายของชิงอบแห้ง โดยการหามาชิงอบแห้ง น้ำหนัก 4.99-5 กรัม มาสับละเอียดด้วยมีด ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร และใช้กระบอกตวง deionized water ปริมาณ 95 มิลลิลิตร และปั่นด้วยเครื่อง homogenizer disperser ให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยความเร็ว 10.4 RPM ด้วยระยะเวลา 2 นาที และกรองด้วยผ้าขาวบาง ลงในบีกเกอร์ 10 มิลลิลิตร และปิดด้วย plastic wrap ให้เรียบร้อย เป็นการเตรียมสารละลายของชิงอบแห้ง เพื่อทำการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง

3.4.4 การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS) (AOAC, 2000) โดยใช้เครื่อง digital hand refractometer โดยหยดสารละลายที่เตรียมไว้ของชิงอบแห้งลงไป อ่านค่าที่ออกมาได้เป็นเปอร์เซ็นต์บริกซ์ และบันทึกข้อมูล

3.4.5 การนำข้อมูลที่ได้ออกมาวิเคราะห์ ซึ่งขั้นตอนดังนี้

3.4.5.1 เข้าโปรแกรม Umbio Evinco เปิดไฟล์ที่ได้จากการสแกนด้วยเทคนิค NIR hyperspectral Image แล้วจึงนำมาทำการหาค่าสเปกตรัมเฉลี่ยของชิงอบแห้ง โดยทำการตัดภาพพื้นหลังออกให้เหลือแต่ภาพตัวอย่าง จะได้ค่าสเปกตรัมเฉลี่ยของชิงอบแห้งของแต่ละตัวอย่าง นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยเซฟเป็นไฟล์ . excel ทำเช่นนี้ในทุกตัวอย่าง นำข้อมูลค่าสเปกตรัมมาเรียงในแนวแถว พร้อมกับข้อมูลปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง ในตัวอย่างเดียวกัน ทำเช่นนี้กับของชิงอบแห้งทุกชิ้นที่ใช้ในการทดลอง

3.4.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม The Unscrambler

3.4.5.2.1 กำหนดตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยให้ตัวแปรตาม

คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในขิงอบแห้ง ส่วนตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR spectrophotometer

3.4.5.2.2 นำข้อมูลค่าตัวแปรตามมาเรียงกัน โดยเรียงค่าตัวแปรตามทั้งหมดของขิงอบแห้งเรียงจากน้อยไปมาก แล้วทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (prediction set) กลุ่ม สร้างสมการจะต้องมีจำนวนข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มทดสอบสมการ จะต้องมีความถี่ข้อมูล 30 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลเท่าๆ กัน ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในขิงอบแห้งในกลุ่มสร้างสมการ จะต้องมีความถี่ที่ต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

3.4.5.2.3 นำข้อมูลทั้งหมดไปเข้าโปรแกรม The Unscrambler เพื่อตัดข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนมาก ๆ (Out liner) ออก เช่น ตัวอย่างที่มีราขึ้น ตัวอย่างที่มีสัญญาณรบกวนมาก ๆ หรือตัวอย่างที่มีข้อมูลไม่เป็นแนวโน้มเดียวกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งหมดเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน จนเหลือแต่ข้อมูลที่เหมาะสมในการทำการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การจัดเรียงค่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สำหรับนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม The Unscrambler

No.	wavelength	935.61	929.06	942.52	945.98	949.43	...	1720.23
	TSS	ค่าการดูดกลืนแสง						
1	$Y_1$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	...	$X_n$
2	$Y_2$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	...	$X_n$
3	$Y_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	...	$X_n$
4	$Y_4$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	...	$X_n$
5	$Y_5$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	...	$X_n$
...	...	...	...	...	...	...	...	$X_n$
N	$Y_n$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	...	$X_n$

No. คือ ลำดับตัวอย่างของขิงอบแห้ง

Y คือ ค่าตัวแปรตาม (ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในขิงอบแห้ง)

X คือ ค่าตัวแปรอิสระ (ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR hyperspectral imaging)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 3.4.5.2.4 นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยในกลุ่มสร้างสมการ

(calibration set) มาสร้างสมการในการทำนาย โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ต้องทำการ pre-treatment ก่อน โดยในสเปกตรัมจะมีสัญญาณรบกวนจึงมีการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง (pre-treatment) ในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในขิงอบแห้ง

No.	Pre-processing techniques
1	Smoothing
2	1 <sup>st</sup> Derivative
3	2 <sup>nd</sup> Derivative
4	MSC
5	SNV
6	Smoothing ร่วมกับ 1 <sup>st</sup> Derivative
7	Smoothing ร่วมกับ 2 <sup>nd</sup> Derivative
8	Smoothing ร่วมกับ MSC
9	Smoothing ร่วมกับ SNV
10	1 <sup>st</sup> Derivative ร่วมกับ 2 <sup>st</sup> Derivative
11	1 <sup>st</sup> Derivative ร่วมกับ MSC
12	1 <sup>st</sup> Derivative ร่วมกับ SNV
13	2 <sup>nd</sup> Derivative ร่วมกับ MSC
14	2 <sup>nd</sup> Derivative ร่วมกับ SNV
15	MSC ร่วมกับ SNV

Savitzky-Golay smoothing (Smoothing) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยการปรับเรียบแบบซวิตซ์กีโกลีย์ Savitzky-Golay first derivative differentiation (1<sup>st</sup> derivative) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง

Savitzky-Golay second derivative differentiation (2<sup>nd</sup> derivative) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

multiplicative scatter correction (MSC) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ  
standard normal variate transformation (SNV) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความ  
แปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

ซึ่งจะต้องพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients;  $R_{cv}$ ) ให้มีค่าสูงสุด  
ค่าแฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) ต้องมีค่าน้อย  
และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation;  
RMSECV) ต้องมีค่าต่ำที่สุด

3.4.5.2.6 เลือกสมการแล้ว นำไปทำนายตัวอย่างในกลุ่มทดสอบ  
สมการ (prediction set) เพื่อดูความแม่นยำของสมการซึ่งพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  
(correlation coefficients;  $R_p$ ) และ ค่าความคลาดเคลื่อนการทำนาย (root mean square error of  
prediction; RMSEP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ข้อมูลที่ได้จากการนำชิงอบแห้งนำไปวัดการดูดกลืนพลังงานแสงด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 935 – 1720 นาโนเมตร

เมื่อทำการสแกนชิงอบแห้ง ด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image โหมด reflectance แล้วจะทำให้ได้ค่าสเปกตรัมของชิงอบแห้งมา และทำการหาสเปกตรัมเฉลี่ย โดยโปรแกรม Umbio Evinco ทำให้ได้ข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยมาทั้งหมด 200 ข้อมูล



ภาพที่ 4.1 ชิงอบแห้ง

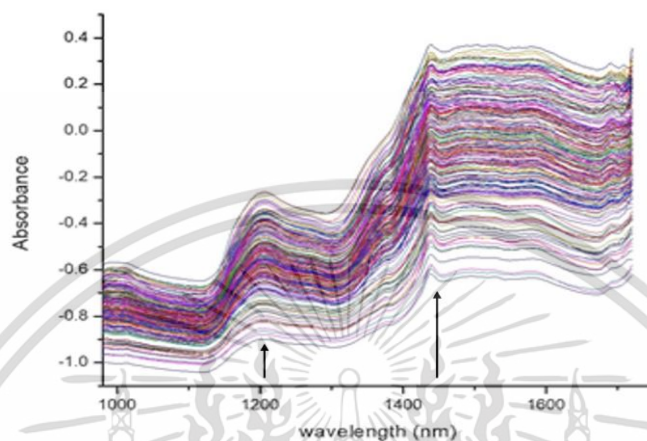
#### 4.2 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS) ของชิงอบแห้ง (AOAC, 2000)

เมื่อทำการสแกนชิงอบแห้ง ด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image โหมด reflectance แล้วทำการหาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ โดยการนำสารละลายชิงอบแห้งที่เตรียมไว้ มาทำการวัดโดยเครื่อง digital hand refractometer จะได้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของแต่ละตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.1

#### 4.3 ลักษณะสเปกตรัมของชิงอบแห้ง

ในการใช้เทคนิค NIR hyperspectral image โหมด reflectance เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้งทั้งหมด 200 ชิ้น ที่ความยาวคลื่น 935-1720 นาโนเมตร ปรากฏการณ์ทำให้มีผลกระทบต่อ การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน พบว่า สเปกตรัมมีลักษณะกว้างและเตี้ย มีจุดยอด (peak) ชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 1200 นาโนเมตร มีการดูดกลืนที่น้อยกว่าจุดยอด (peak) ที่ 1450 นาโนเมตร ที่มีการดูดกลืนมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ William and Norris (2001) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

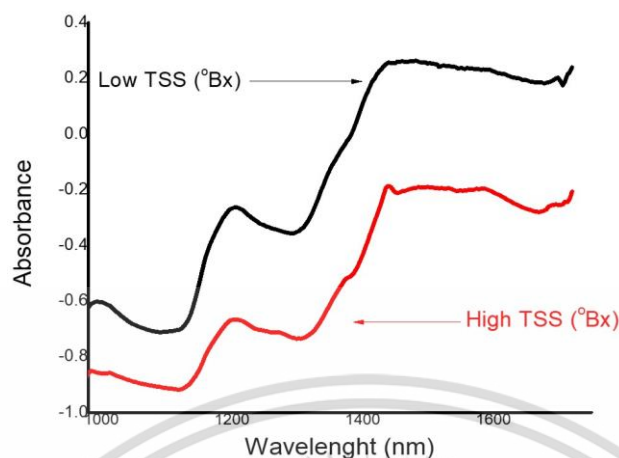
ที่กล่าวว่า ความยาวคลื่นสำคัญคือน้ำ อยู่ที่ 1450 นาโนเมตรที่เกี่ยวข้องกับ first overtone ของ O-H และถ้าความยาวคลื่นมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้น ได้รับการยืนยันว่าน้ำเป็นองค์ประกอบหลักของชิงอบแห้ง และมีค่าการดูดกลืนแสงที่สำคัญได้ แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงทั้งหมดกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง

#### 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยกับค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง

จากภาพที่ 4.3 จากภาพเมื่อทำการเปรียบเทียบที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ 935-1720 นาโนเมตร ลักษณะสเปกตรัมของชิงอบแห้งที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของชิงอบแห้ง ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ มีลักษณะที่คล้ายกัน มีพีคขึ้นที่บริเวณความยาว คลื่นบริเวณเดียวกัน ต่างกันที่ค่าการดูดกลืนแสงอย่างชัดเจน ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ มีค่าดูดกลืนแสงเริ่มต้นที่ -0.293 มีค่าดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูง มีค่าดูดกลืนแสงเริ่มต้นที่ -0.553 มีค่าดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำมีค่าดูดกลืนแสงที่สูงกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูง



ภาพที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของชิงอบแห้งที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของชิงอบแห้งที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ

#### 4.5 การสร้างโมเดลโดยใช้การวิเคราะห์แบบ PLS Regression

##### 4.5.1 การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม The Unscrambler ทั้งหมด ขึ้นตัวอย่าง โดยทำการแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (calibration set) จำนวน 133 ชิ้น และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (prediction set) จำนวน 67 ชิ้น พบว่าค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในกลุ่มสร้างสมการ เท่ากับ  $76 \pm 4.01^{\circ}\text{Bx}$  ค่าเฉลี่ยของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในกลุ่มทดสอบสมการ เท่ากับ  $77 \pm 4.09^{\circ}\text{Bx}$  แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้ง 2 กลุ่ม

ตาราง 4.1 แสดงค่าต่าง ๆ ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง ทั้งกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set)

Characteristic	Item	Calibration set	Prediction set
total soluble solids (TSS)	Number of sample	133	67
	Range	19	19
	Mean	76.64	77.24
	Standard Deviation	4.01	4.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว โดยการสร้างสมการถดถอยโดยวิธี Partial Least Square Regression (PLS Regression) จะทำการปรับแต่งสเปกตรัม (pre-treatment) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 4.2 จากกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ซึ่งอบแห้งจำนวน 133 ชิ้นเพื่อใช้ทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเชิงอบแห้ง ต้องพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R) ให้มีค่าสูงสุด ซึ่งต้องเข้าใกล้ 1 ค่าแฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) ต้องมีค่าน้อย และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ต้องมีค่าต่ำที่สุด เพื่อที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเชิงอบแห้ง จากการทดลอง พบว่า เทคนิคการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (Savitzky-Golay first derivative differentiation) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแทรก จากนั้นแปลงรูปด้วยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative scatter correction; MSC) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R) ที่สูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.788 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 6 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.478%Bx ที่ความยาวคลื่น 935-1720 นาโนเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมาก และเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง จากกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง

No.	Pre-processing techniques	total soluble solids		
		factor	$R_{cv}$	RMSECV (%)
1	Original	7	0.756	2.626
2	Smoothing	10	0.780	2.518
3	1 <sup>st</sup> Derivative	7	0.773	2.553
4	2 <sup>nd</sup> Derivative	5	0.740	2.701
5	MSC	5	0.774	2.535
6	SNV	5	0.767	2.573
7	Smoothing ร่วมกับ 1 <sup>st</sup> Derivative	11	0.782	2.526
8	Smoothing ร่วมกับ 2 <sup>nd</sup> Derivative	9	0.772	2.582
9	Smoothing ร่วมกับ MSC	9	0.802	2.401
10	Smoothing ร่วมกับ SNV	9	0.780	2.521
11	1 <sup>st</sup> Derivative ร่วมกับ 2 <sup>nd</sup> Derivative	4	0.751	2.645
12	<b>1<sup>st</sup> Derivative ร่วมกับ MSC</b>	<b>6</b>	<b>0.788</b>	<b>2.478</b>
13	1 <sup>st</sup> Derivative ร่วมกับ SNV	6	0.775	2.538
14	2 <sup>nd</sup> Derivative ร่วมกับ MSC	4	0.755	2.629
15	2 <sup>nd</sup> Derivative ร่วมกับ SNV	4	0.760	2.604
16	MSC ร่วมกับ SNV	5	0.767	2.569

correlation coefficients ( $R_{cv}$ ) คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

factor คือ จำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

root mean square error of cross-validation (RMSECV) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ

Savitzky-Golay smoothing (Smoothing) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยการปรับเรียบแบบซวิตซ์กีโกลีย์

Savitzky-Golay first derivative differentiation (1<sup>st</sup> derivative) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง

Savitzky-Golay second derivative differentiation (2<sup>nd</sup> derivative) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่สอง

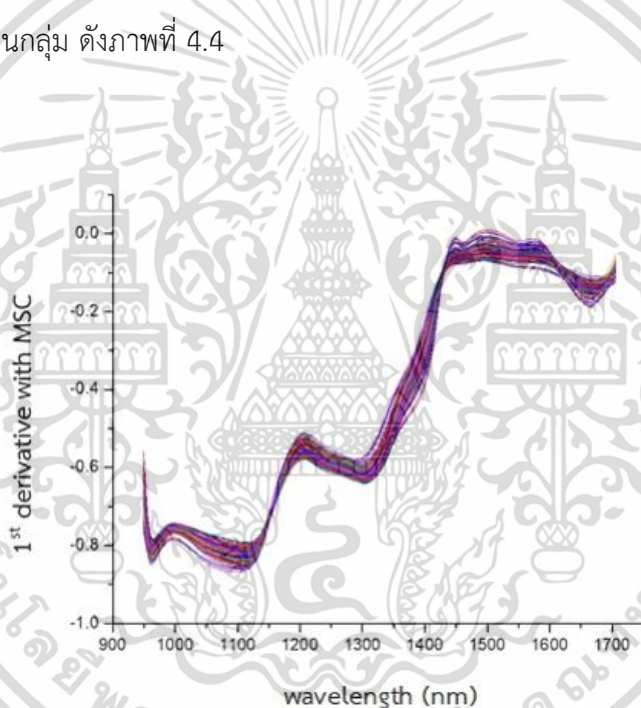
multiplicative scatter correction (MSC) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ

standard normal variate transformation (SNV) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความ

แปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราได้พบว่า เทคนิคการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (Savitzky-Golay first derivative differentiation) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแทรก แก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าที่เพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น จากนั้นแปลงรูปด้วยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative scatter correction; MSC) ทำให้ผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงให้เท่ากันตลอดช่วงของความยาวคลื่น ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R) ที่สูงสุด แพลกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) ที่ต่ำ และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ที่ต่ำที่สุด ที่ความยาวคลื่น 935-1720 นาโนเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กัน สเปกตรัมมีจุดยอด (peak) ชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 1200 และ 1450 นาโนเมตร และรวมกันเป็นกลุ่ม ดังภาพที่ 4.4



**ภาพที่ 4.4** สเปกตรัมการดูดกลืนแสงกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง ของกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) 133 ชิ้น หลังการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (Savitzky-Golay first derivative differentiation) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแทรก จากนั้นแปลงรูปด้วยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative scatter correction; MSC)

จากตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง จากกลุ่มทดสอบสมการ (Prediction set) ด้วยชิงอบแห้ง 67 ชิ้น สังเกตได้ว่าเมื่อเฉลี่ยข้อมูลสเปกตรัมด้วย เทคนิคการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (Savitzky-Golay first derivative differentiation) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแทรก จากนั้นแปลงรูปด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative scatter correction; MSC) พบว่ากลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients;  $R_c$ ) เท่ากับ 0.841 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 6 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean squared error of calibration; RMSEC) เท่ากับ 2.163°Bx และสำหรับกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients;  $R_p$ ) เท่ากับ 0.744 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 6 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 2.720°Bx จะเห็นว่าค่า R ในกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ที่ได้มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) ทั้งในกลุ่ม calibration และ validation (ค่า R ในกลุ่ม calibration เท่ากับ 0.841 ส่วนกลุ่ม validation เท่ากับ 0.788) ซึ่งค่าที่ได้ ยังมีความแม่นยำไม่สูงนัก ซึ่งแบบจำลองที่กล่าวมาดีที่สุดสำหรับการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในซิงอบแห้ง

**ตารางที่ 4.3** ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในซิงอบแห้ง

Parameters	Calibration					Prediction		
	Pre-treatment	F	N	$R_c$	RMSEC (%)	N	$R_p$	RMSEP (%)
TSS	1 <sup>st</sup> Derivative ร่วมกับ MSC	6	133	0.841	2.163	67	0.744	2.720

total soluble solids (TSS) คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

F คือ จำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

number of samples (N) คือ จำนวนของตัวอย่าง

correlation coefficients ( $R_p$ ,  $R_c$ ) คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

root mean square error of calibration (RMSEC) คือ ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ

root mean square error of prediction (RMSEP) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย

Savitzky-Golay first derivative differentiation คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธี

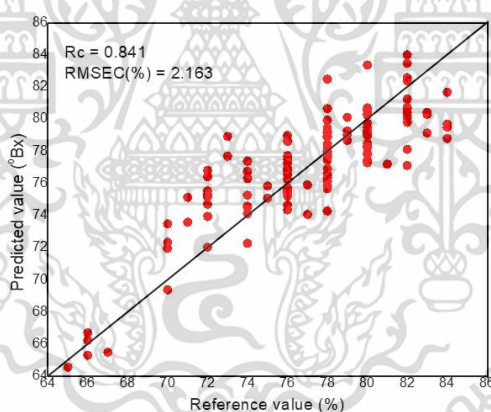
อนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง

multiplicative scatter correction (MSC) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image

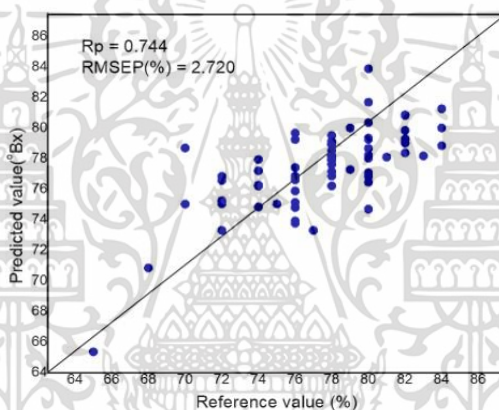
จากภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ของชิงอบแห้ง ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image ที่ความยาวคลื่น 935-1720 นาโนเมตร โดยใช้กลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ชิงอบแห้ง จำนวน 133 ชิ้น จากสมการที่ได้ สามารถดูประสิทธิภาพของสมการทำนายได้จาก ค่าจริงที่เข้าใกล้เส้นทแยงมุม (target line) จะบ่งบอกถึงการทำนายกลุ่มตัวอย่างที่แม่นยำมาก จากรูปที่ 4.5 สังเกตได้ว่า ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image โหมด reflectance นั้น พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเข้าใกล้เส้นทแยงมุม (target line) เป็นส่วนมาก และมีการกระจายอย่างเท่ากัน ข้อมูลกว้าง มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แสดงว่า สมการที่นำมาทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้งนั้นแม่นยำสูง ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients;  $R_c$ ) เท่ากับ 0.841 และ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean squared error of calibration; RMSECเท่ากับ 2.163%Bx



**ภาพที่ 4.5** แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงจากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายโมเดล PLS Regression จากกลุ่มสร้างสมการ 133 ชิ้น ที่ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง

จากภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ของชิงอบแห้ง ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิค NIR hyperspectral image ที่ความยาวคลื่น 935-1720 นาโนเมตร โดยใช้กลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) ชิงอบแห้งจำนวน 67 ชิ้น จากสมการที่ได้ พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวใกล้เส้นทแยงมุม (target line) เป็นส่วนมาก ข้อมูลกว้าง มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แสดงว่า สมการที่นำมาทำนายปริมาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเชิงอบแห้งนั้นแม่นยำสูง ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients;  $R_p$ ) เท่ากับ 0.744 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 2.720% ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients;  $R_p$ ) อยู่ในช่วง 0.71-0.80 สมการดังกล่าวสามารถพยากรณ์ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เชิงอบแห้งได้เท่ากับ 74.4 % แสดงว่า บ่งบอกถึงมีประสิทธิภาพในการทำนายแม่นยำสามารถใช้ทำนายเบื้องต้นได้ ค่าความแม่นยำที่ได้ยังถือว่าไม่สูงมากนัก จะทำให้โรงงานเกิดความไม่น่าเชื่อถือ และจึงมีโอกาที่ผู้บริโภคจะได้เชิงอบแห้งที่ไม่เป็นที่ยอมรับ เช่น เหนียว หรือมีน้ำตาลตกผลึกบนผิวหน้าเชิงอบแห้ง ที่สอดคล้องกับแนวทางการอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ correlation coefficient (R) หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ coefficient of determination ( $R^2$ ) ของ William and Norris (2001)



ภาพที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงจากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายโมเดล PLS Regression จากกลุ่มทดสอบสมการ 67 ชิ้น ที่ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเชิงอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการประยุกต์ใช้เทคนิค NIR hyperspectral image ที่ความยาวคลื่น 935-1750 นาโนเมตร โหมด reflectance กับชิงอบแห้ง จำนวน 200 ชิ้น เพื่อศึกษาการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง อยู่ในช่วง 65-84°Bx และมีความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำมีค่าดูดกลืนแสงที่สูงกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูง

เมื่อนำสมการมาทำการทดสอบการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้ง ทำการแบ่งกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) 133 ชิ้น และกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) 67 ชิ้น โดยการสร้างสมการถดถอยโดยวิธี Partial Least Square Regression (PLS Regression) พบว่า สมการที่มีประสิทธิภาพและมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดคือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ ลำดับที่หนึ่ง (Savitzky-Golay first derivative differentiation) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแทรก ช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าที่เพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น จากนั้นแปลงรูปด้วยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (multiplicative scatter correction; MSC) ทำให้ผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงให้เท่ากันตลอดช่วงของความยาวคลื่น โดยสมการที่สร้างขึ้นให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients;  $R_p$ ) เท่ากับ 0.744 แพลกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 6 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 2.720°Bx สมการดังกล่าวสามารถพยากรณ์ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้งได้ 74.4 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรตามและ ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมาก และเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน และบ่งบอกถึงมีประสิทธิภาพในการทำนายแม่นยำสามารถใช้ทำนายเบื้องต้นได้ ค่าความแม่นยำที่ได้ยังถือว่าไม่สูงมากนัก จะทำให้โรงงานเกิดความไม่น่าเชื่อถือ และจึงมีโอกาสที่ผู้บริโภคจะได้ชิงอบแห้งที่ไม่เป็นที่ยอมรับ จึงสรุปได้ว่าเทคนิคนี้มีความสามารถในการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในชิงอบแห้งได้สามารถใช้ทำนายเบื้องต้นได้ในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ถ้าต้องการปรับสมการให้มีระดับการให้ทำนายที่สูงขึ้น ควรเพิ่มประมาณตัวอย่าง และ ค่าวิเคราะห์ทางเคมี แล้วจึงนำผลไปปรับกับสมการ ที่มีอยู่เดิม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงใน อุตสาหกรรม

5.2.2 การสร้างสมการควรคำนึงถึงการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของค่าที่ได้จากการ วิเคราะห์ ซึ่งจะทำให้สมการที่สร้างมีความแม่นยำที่มากขึ้น

5.2.3 เทคนิคการใช้งานนี้ควรทดสอบกับผลไม่อบแห้งชนิดอื่นได้ ที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น มะม่วงอบแห้ง สับปะรดอบแห้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กาญจนา กิระศักดิ์, ทักษิณา ศันสยะวิชัย, วีระพล พลรักดี และอัมรารวรรณ ทิพย์วัฒน์ 2558. การวัดค่าความหวานของอ้อยด้วยแสงย่านใกล้อินฟราเรดวิชาการเกษตร. ปีที่33 ฉบับที่2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2558. หน้า 159-168. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/thaiagriculturalresearch/article/view/77752/62364>.  
 3 พฤษภาคม 2563.
- กรมส่งเสริมการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. องค์ความรู้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสู่การเป็น smart officer สมุนไพรและเครื่องเทศ. กรมส่งเสริมการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2553. ชิง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaicrudedrug.com>. 3 พฤษภาคม 2563.
- นิมิตรา ไชยรัตนโชติ. 2559. การใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้และเทคนิคการถ่ายภาพเชิงสเปกตรัมในการติดตามคุณภาพภายในและปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง. วิทยานิพนธ์.คณะเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยศิลปากร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<https://1th.me/QBcqu>. 3 พฤษภาคม 2563.
- ปานมนัส ศิริสมบุรณ์. 2556. เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [www.nirsresearch.com](http://www.nirsresearch.com). 12 พฤษภาคม 2563.
- พิทยา สรวมศิริ. 2546. อุตสาหกรรมพืชเครื่องเทศ. ภาควิชาพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พิมพ์เพื่อ พระเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนพานนท์. 2562. Total Soluble Solids ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ / Brix/ Refractometer. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [www.foodnetworksolution.com](http://www.foodnetworksolution.com).  
 3 พฤษภาคม 2563
- พรรณทิพย์ ห่อศรีสัมพันธ์. 2557. NIR Spectrometer เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สารอินทรีย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://nirapplication.blogspot.com/2008/03/nir-spectrometer.html>.  
 19 พฤศจิกายน 2562.
- ศิริพิชญ์ พงศ์ประเสริฐ และ ทิพย์วรรณ สวัสดิ์พานิช. 2559. การคัดแยกชนิดขาลาเปาด้วยการวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
[http://eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project\\_IdDoc278\\_IdPro691.pdf](http://eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project_IdDoc278_IdPro691.pdf).  
 9 พฤษภาคม 2559
- ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. หน้า 131-151. ใน: วารุณี ธนะแพทย์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล และ ธงชัย สุวรรณลิขิต, (ผู้รวบรวม), การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนา ผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรุงเทพมหานคร.
- สนธิสุข อีระชัยชยติ. 2558. การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง (Varieties and qualities classification of lime using near Infrared hyperspectral imaging). งานวิจัย. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล. 2555. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี อินฟราเรดย่านใกล้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- ออสเตรีย. 2019. ประโยชน์ของขิงไอบีเดียการกินการใช้เพื่อสุขภาพ และข้อควรระวัง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.honestdocs.co/benefits-of-ginger>. 18 พฤศจิกายน 2562.
- 20 พฤศจิกายน 2562
- April-May 2014. เทคโนโลยีการอบแห้ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn234a\\_p64-67.pdf](http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn234a_p64-67.pdf).
- 20 พฤศจิกายน 2562.
- AOAC International. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC. International. 17th ed. AOAC. International, Arlington, USA.
- Brochure. 2014. GINGERขิง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://1th.me/Jp9LL>.
- 16 พฤษภาคม 2563.
- Chavan, U. D., Amarowicz, R. 2012. Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. Journal of Food Research. 1: 202-209.
- Jiang J., Cena H., Zhang C., Lyu X., Weng H., Xu H., and He Y. 2018. Nondestructive quality assessment of chili peppers using near-infrared hyperspectral imaging combined with multivariate analysis. Postharvest Biology and Technology. 146: 147-154.
- Maniwaru P., Nakano K., Ohashi S., Boonyakiat D., Seehanam P., Theanjumol P., and Poonlarp P. 2019. Evaluation of NIRS as non-destructive test to evaluate quality traits of purple passion fruit. Scientia Horticulture. 257: 108712.
- Nordey, T., Joas, J., Davrieux, F., Chillet, M., and Léchaudel, M. 2017. Robust NIRS models for non-destructive prediction of mango internal quality. Scientia Horticulture. 216: 51-57.
- Osborne, B. G., Fearn, T. and Hindle, P. H. 1993. Practical NIR spectroscopy with application in food and beverage analysis. Longman Scientific & Technical: 1-7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Reich, G. 2005. Near-infrared spectroscopy and imaging: Basic principles and pharmaceutical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 57(8): 1109-1143.
- Saranwong, S. 2003. Nondestructive determination of harvesting maturity of mango for fresh consuming by near infrared spectroscopy. Ph. D. thesis. Chiang Mai University, ChiangMai. 179 pp.
- William. P, and K. Norris. 2001. Near-infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. American Association of Cereal Chem. USA.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

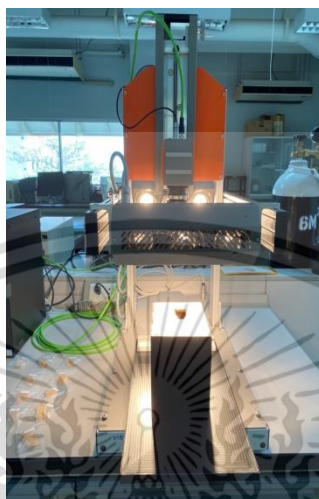


## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ ก.1 เครื่อง NIR hyperspectral imaging



ภาพที่ ก.2 เครื่อง homogenizer disperser



ภาพที่ ก.3 เครื่อง digital hand refractometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ขั้นตอนการทำงานวิจัย



ภาพที่ ข.1 ตัวอย่างขิงอบแห้ง (dehydrated gingers)

นำมาคัดเลือก ให้มีน้ำหนัก 4.99 – 5.00 กรัม นำมาบรรจุในถุงซิปล็อค และนำมาปรับอุณหภูมิของตัวอย่าง ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน เพื่อเตรียมนำเข้าเครื่องสแกน NIR hyperspectral imaging



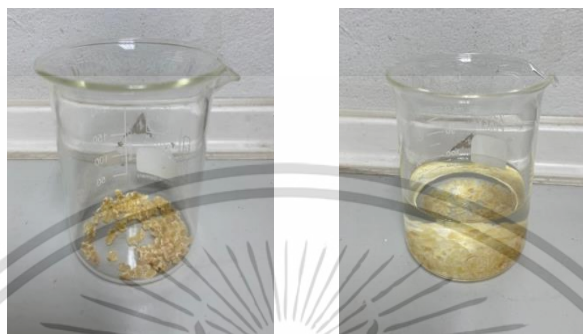
ภาพที่ ข.2 การสแกนด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging

ปรับโหมด Reflectance มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 935 – 1720 นาโนเมตร โดยระบุตำแหน่งของการวัด เป็น 1 ด้านของตัวอย่างขิงอบแห้ง โดยรักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ขั้นตอนการทำงานวิจัย(ต่อ)



ภาพที่ ข.3 กระบวนการเตรียมสารละลายชิงอบแห้ง

เตรียมตัวอย่างสารละลายของชิงอบแห้ง โดยการหำนำชิงอบแห้งน้ำหนัก 4.99-5 กรัม มาสับละเอียดด้วยมีดลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร และใช้กระบอกตวง Deionized water ปริมาณ 95 มิลลิลิตร



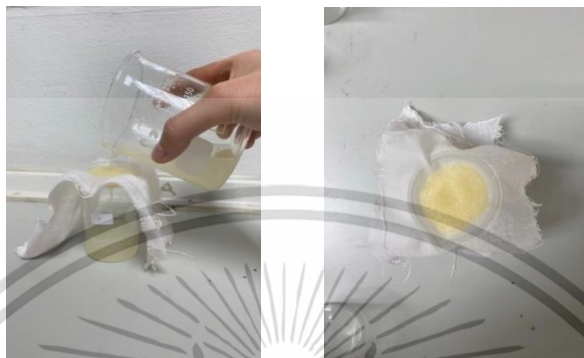
ภาพที่ ข.4 การปั่นด้วยเครื่อง homogenizer disperser

ทำหน้าที่ปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยความเร็ว 10.4 RPM ด้วยระยะเวลา 2 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ขั้นตอนการทำงานวิจัย(ต่อ)



ภาพที่ ข.5 การกรองสารละลายขิงอบแห้ง



ภาพที่ ข.6 สารละลายของขิงอบแห้ง

นำน้ำขิงที่ถูกกรองแล้ว มาใส่ลงในปิ๊บเกอร์ 10 มิลลิลิตร ปิดด้วย plastic wrap ให้เรียบร้อย เป็นการเตรียมสารละลายของขิงอบแห้ง เพื่อหาการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในขิงอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ขั้นตอนการทำงานวิจัย(ต่อ)



ภาพที่ ข.7 วิธีการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS) ทำการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS) โดยใช้เครื่อง digital hand refractometer โดยหยดน้ำที่คั้นได้ของชิงอบแห้งลงไป อ่านค่าที่ออกมาได้เป็นเปอร์เซ็นต์บริกซ์ และบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## ผลการวัดคุณภาพทางเคมีและกายภาพของซิงอบแห้ง

ตาราง ค.1 ข้อมูลค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด200ตัวอย่างที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS)

Simple	TSS (°Bx)
1	65
2	65
3	66
4	66
5	66
6	66
7	67
8	68
9	70
10	70
11	70
12	70
13	70
14	70
15	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
16	71
17	72
18	72
19	72
20	72
21	72
22	72
23	72
24	72
25	72
26	72
27	72
28	72
29	72
30	73
31	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
32	74
33	74
34	74
35	74
36	74
37	74
38	74
39	74
40	74
41	74
42	74
43	74
44	74
45	74
46	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
47	75
48	75
49	75
50	76
51	76
52	76
53	76
54	76
55	76
56	76
57	76
58	76
59	76
60	76
61	76
62	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
63	76
64	76
65	76
66	76
67	76
68	76
69	76
70	76
71	76
72	76
73	76
74	76
75	76
76	76
77	76
78	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
79	76
80	76
81	76
82	77
83	77
84	77
85	78
86	78
87	78
88	78
89	78
90	78
91	78
92	78
93	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
94	78
95	78
96	78
97	78
98	78
99	78
100	78
101	78
102	78
103	78
104	78
105	78
106	78
107	78
108	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
109	78
110	78
111	78
112	78
113	78
114	78
115	78
116	78
117	78
118	78
119	78
120	78
121	78
122	78
123	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
124	78
125	78
126	78
127	79
128	79
129	79
130	79
131	79
132	79
133	80
134	80
135	80
136	80
137	80
138	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
139	80
140	80
141	80
142	80
143	80
144	80
145	80
146	80
147	80
148	80
149	80
150	80
151	80
152	80
153	80
154	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
155	80
156	80
157	80
158	80
159	80
160	80
161	80
162	80
163	80
164	80
165	80
166	80
167	80
168	80
169	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
169	81
170	81
171	82
172	82
173	82
174	82
175	82
176	82
177	82
178	82
179	82
180	82
181	82
182	82
183	82
184	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตาราง ค.1 (ต่อ)

Simple	TSS (°Bx)
185	82
186	82
187	82
188	82
189	82
190	83
191	83
192	83
193	83
194	84
195	84
196	84
197	84
198	84
199	84
200	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

1. ชื่อ-นามสกุล นางสาวอชิรญา ตันตินันตตระกูล
- วัน เดือน ปีเกิด 21 พฤษภาคม 2541
- ประวัติการศึกษา
- ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 โรงเรียนโรงเรียนสาธิต"พิบูลบำเพ็ญ"มหาวิทยาลัยบูรพา
  - ระดับปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- E-mail 59080191@KMITL.AC.TH
2. ชื่อ-นามสกุล นางสาวอภิษฐา สถาวรตระกูล
- วัน เดือน ปีเกิด 16 ตุลาคม 2540
- ประวัติการศึกษา
- ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)4
  - ระดับปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- E-mail 59080192@KMITL.AC.TH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้