

การพัฒนากล้อง monochrome เพื่อวัดความหวานของอ้อยโดยใช้เทคนิค NIRs
Development of monochrome camera for measuring the sweetness of
sugarcane by using NIRs technique



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2563

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

การพัฒนากล้อง monochrome เพื่อวัดความหวานของอ้อยโดยใช้เทคนิค NIRs
Development of monochrome camera for measuring the sweetness of
sugarcane by using NIRs technique



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ **ปีการศึกษา 2563** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

DEVELOPMENT OF MONOCHROME CAMERA FOR MEASURING THE
SWEETNESS OF SUGARCANE BY USING NIRs TECHNIQUE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2020
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนากล้องโมนโครมเพื่อวัดความหวานของอ้อยโดยใช้เทคนิค
NIRs
Development of monochrome camera for measuring the
sweetness of sugarcane by using NIRs technique


นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวกัญญาณัฐ การบรรจง รหัสนักศึกษา 60010046
นายธนพงศ์ คุณธรรณ รหัสนักศึกษา 60010390
นายพิชิตร ใต้ฤกษ์ รหัสนักศึกษา 60010711

ปริญญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2563

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.จีรายุทธ หงษ์เวียงจันทร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

หัวข้อปริญาพนธ์	การพัฒนากล้องโมโนโครมเพื่อวัดความหวานของอ้อยโดยใช้เทคนิค NIRs		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวกัญญาณัฐ	การบรรจง	รหัสนักศึกษา 60010046
	นายธนพงศ์	คุณธรรณ	รหัสนักศึกษา 60010390
	นายพิชิต	ไต้ฤกษ์	รหัสนักศึกษา 60010711
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.จิรายุทธ	หงษ์เวียงจันทร์	
ปีการศึกษา	2563		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนากล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ที่รับเฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่น 760 nm และ 910 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อยเท่านั้น เพื่อให้กล้องสามารถถ่ายภาพที่มีความยาวคลื่นเฉพาะในช่วงที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อย และนำแบบจำลองมาทำนายความหวานของอ้อย การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเป็นการวัดผลการตอบสนองต่อแสงช่วง 700 – 1000 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ได้เป็นข้อมูลสเปกตรัม ส่วนที่สองเป็นการถ่ายภาพด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ซึ่งได้ภาพที่ตอบสนองต่อแสงเพียงช่วงที่ฟิลเตอร์ยอมให้ผ่านเท่านั้น นั่นคือ 750 – 770 และ 900 – 920 nm และได้เป็นข้อมูลค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) ที่ได้จากภาพถ่าย ทั้งนี้การลดอิทธิพลความโค้งงอของผิวตัวอย่างทำโดยการตัดภาพอ้อยให้มีขนาด 100x100 pixels และ 50x50 pixels และส่วนสุดท้ายเป็นการเก็บข้อมูลค่าบrixซึ่งถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ความหวานของอ้อยและใช้ในการทำนายจากแบบจำลอง ข้อมูลที่ได้จากทั้งสามส่วนจะถูกนำมาหาความสัมพันธ์และสร้างแบบจำลองทำนายค่าบrixด้วยวิธีการสมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square Regression) ผลการทดลองพบว่าแบบจำลองทำนายค่าบrixที่สร้างจากค่าการตอบสนองต่อแสงที่วัดได้จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ให้ค่า $R^2 = 0.721$ และ $RMSECV = 0.760$ °Brix และแบบจำลองทำนายค่าบrixที่สร้างจากค่าองค์ประกอบภาพที่ได้จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์โดยใช้วิธี Multiple Linear Regression ให้ค่า $R^2 = 0.222$ เนื่องจากการทำนายค่าบrixด้วยค่าองค์ประกอบภาพให้ความสัมพันธ์ที่ต่ำ จึงทำการทดสอบผลการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR นี้กับค่า Pixel ที่ได้จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ พบว่าการทำนายค่า Pixel ด้วยการตอบสนองของแสงที่วัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ให้ค่า $R^2 = 0.603$ และ $RMSECV = 162.68$ °Brix และ $R^2 = 0.956$ และ $RMSECV = 100.00$ °Brix เมื่อพิจารณาช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์ 760 และ 910 nm ตามลำดับ นั้นหมายความว่า การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การคัดลอกหรือการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

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

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

จากนั้นทำการทดสอบการทำนายค่าปริกซ์ด้วยแบบจำลองที่สร้างด้วยช่วงความยาวคลื่นทั้ง 5 ช่วงที่มีอิทธิพลสูงต่อแบบจำลองทำนายค่าปริกซ์ที่สร้างจากค่าการตอบสนองต่อแสงที่วัดได้จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ได้แก่ 726, 791, 846, 917, 962 nm พบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายสูงที่สุดเท่ากับ 0.765 และ RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 0.720

ดังนั้นการพัฒนาอัลกอริทึมที่ติดตั้งฟิลเตอร์เพื่อวัดความหวานของอ้อยยังคงมีความเป็นไปได้ โดยการเลือกใช้ฟิลเตอร์เพียง 2 ช่วงความยาวคลื่นนั้นไม่เพียงพอ ควรเลือกใช้จำนวนฟิลเตอร์มากขึ้นและเป็นฟิลเตอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อยโดยเฉพาะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Thesis Title	Development of monochrome camera for measuring the sweetness of sugarcane by using NIRs technique		
Authors	Kanyanut	Kanbanjong	60010046
	Thanaphong	Kuntorn	60010390
	Pichit	Diriruek	60010711
Thesis Advisor	Dr.Jeerayut	Hongwiangjan	
Year	2020		

Abstract

The objective of this project is aimed to study the possibility of monochrome camera attached with filter that allow only the wavelengths in range of 760 and 910 nm, which are the related wavelength to sugarcane's sweetness specifically for predicting sweetness of sugarcane. In order that the camera can take picture at a specific wavelength in relation to sugarcane's sweetness. This experiment was divided into 3 parts. The first experiment was to scan the reflection of sugarcanes in the range from 700 – 1000 nm by using spectrometer. The data was obtained as spectrum. The second experiment was to capture pictures of sugarcanes by using monochrome camera attached with NIR bandpass filters. Therefore, we got the pictures that response to light that filter allowed, that are 750 – 770 and 900 – 920 nm. The data from this part was obtained as the image composition (pixel) of each canes' picture. The effect of the curved surface of sugarcane on the distribution of the values of the components was studied and reduced by cropping the image to 100 x 100 pixels and 50 x 50 pixels. The last part was to collect °Brix values, which was used to determine the sugarcane's sweetness, by extracting sugarcane's juice and using refractometer. The data from 3 parts was used for the calibration and modeling to predict the Soluble Solid Content (SSC, °Brix) by using Partial Least Square Regression method. The relation between NIR spectrum measured by spectrometer and the image composition taken from monochrome camera attached with filters was investigated. The results showed that the °Brix prediction model based on the light response measured by spectrometer gave $R^2 = 0.721$ and RMSECV = 0.760

°Brix and the °Brix prediction model based on the image composition by using monochrome camera attached with NIR bandpass filters gave $R^2 = 0.222$, means that using the image composition to predict °Brix was poorly correlated. Because of the

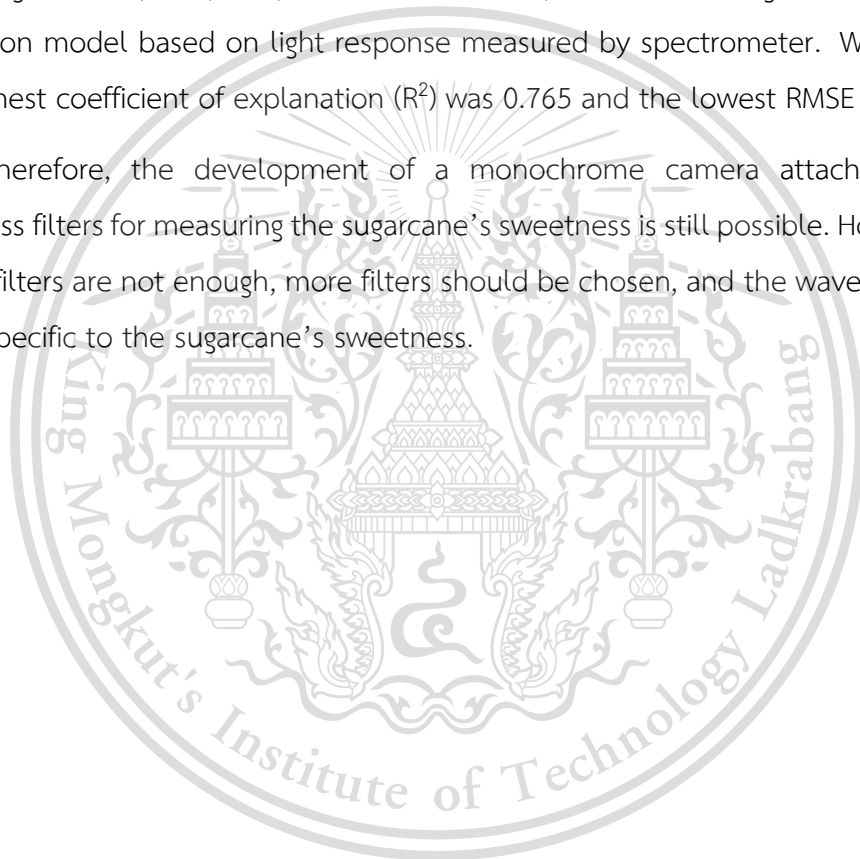
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

previous results, we did the NIR light response test with the image composition from monochrome camera attached with filters, whether they were related or not. As a result, the prediction of image compositions by light response data measured by spectrometer gave $R^2 = 0.603$ and RMSECV = 162.68 °Brix and $R^2 = 0.956$ and RMSECV = 100.00 °Brix when considering the filter 760 and 910 nm, respectively. These results mean that NIR light response from spectrometer and from monochrome camera attached with filters are moderately correlated for 760 nm filter and are highly correlated for 910 nm filter.

Finally, we did the accuracy test of the °Brix prediction by using data from 5 wavelengths (726, 791, 846, 917 and 962 nm), that had strong influence on °Brix prediction model based on light response measured by spectrometer. We found that the highest coefficient of explanation (R^2) was 0.765 and the lowest RMSE was 0.720.

Therefore, the development of a monochrome camera attached with NIR bandpass filters for measuring the sugarcane's sweetness is still possible. However, using only 2 filters are not enough, more filters should be chosen, and the wavelengths need to be specific to the sugarcane's sweetness.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการพัฒนากล้องโมโนโครมเพื่อวัดความหวานของอ้อยโดยใช้เทคนิค NIRs ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร.จิรายุทธ หงษ์เวียงจันทร์ ที่ให้คำปรึกษา ปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนให้ความรู้ ความเอาใจใส่ และให้คำแนะนำช่วยเหลือ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ช่วยเหลือในการทำการทดลองและให้กำลังใจเสมอมา



นางสาวกัญญาณัฐ การบรรจง รหัสนักศึกษา 60010046

นายธนพงศ์ คุณธรรม รหัสนักศึกษา 60010390

นายพิชิต ใต้ฤกษ์ รหัสนักศึกษา 60010711

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 อุตสาหกรรมอ้อย	3
2.2 อ้อย	3
2.3 อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3	6
2.4 ค่า Commercial Cane Sugar (C.C.S)	7
2.5 สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIRs)	9
2.6 การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ (Spectral preprocessing/ Pretreatment)	13
2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาก Near Infrared Spectral	19
2.8 การสร้างแบบจำลอง	21
2.9 เซนเซอร์รับภาพ (Image sensor)	21
2.10 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)	23
2.11 ภาพดิจิทัล (Digital Image)	26
2.12 รูปแบบของภาพ (Types of image)	26
2.13 ระบบสี (Color model)	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	34
3.1 ขั้นตอนการทดลอง	34
3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง	35
3.3 การทดลองเพื่อหาระยะที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) กับผิวตัวอย่างอ้อยที่น้อยที่สุด เพื่อใช้ในการทดลองและพัฒนาสำหรับระบบสายพานออนไลน์	35
3.4 การทดสอบฟิลเตอร์ก่อนนำมาทำการทดลอง	36
3.5 กระบวนการถ่ายภาพโดยกล้องไมโครม	36
3.6 การวัดผลการตอบสนองด้วย Near Infrared Spectrometer	37
3.7 การวัดค่า Soluble Solid Content (°Brix)	37
3.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง	40
4.1 ผลจากการทดลองหาระยะและความสูงของของเหลวอ้างอิงและทดสอบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย	40
4.2 ผลจากการทดลองเบื้องต้น	44
4.3 ผลจากการทดลองครั้งที่หนึ่ง	48
4.4 ผลจากการทดลองครั้งที่สอง	59
4.5 ผลจากการทดสอบความแม่นยำที่ได้จากการทดลองครั้งที่สอง	63
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	68
5.1 สรุปผลการทดลอง	68
5.2 ข้อเสนอแนะ	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งเอกสารอ้างอิงให้มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ 70 ไปใช้

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

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

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก	74
ภาคผนวก ข	77
ภาคผนวก ค	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ ด้วยเทคนิค NIRs ของน้ำอ้อยที่มีปริมาตร 30 ml	43
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ด้วยเทคนิค NIRs ของน้ำอ้อย ที่มีปริมาตร 40 ml	43
ตารางที่ 4.3 ค่าเชิงสถิติของค่าบริกซ์ของท่อนอ้อย	44
ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ด้วยเทคนิค NIRs	45
ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ จากค่าองค์ประกอบภาพ ขนาด 100x100 pixels ของท่อนอ้อย	47
ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ จากค่าองค์ประกอบภาพ ขนาด 50x50 pixels ของท่อนอ้อย	47
ตารางที่ 4.8 ค่าเชิงสถิติของค่าบริกซ์ของท่อนอ้อย	48
ตารางที่ 4.9 ค่าเชิงสถิติของค่าบริกซ์ของน้ำอ้อย	48
ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ด้วยเทคนิค NIRs	49
ตารางที่ 4.11 ค่าเชิงสถิติของค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x100 pixels ของท่อนอ้อย	51
ตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์จากค่าองค์ประกอบภาพ ขนาด 100x100 pixels ของท่อนอ้อย (N=90)	53
ตารางที่ 4.13 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ จากค่าองค์ประกอบภาพ ขนาด 100x500 pixels ของท่อนอ้อย (N=90)	54
ตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ จากค่าองค์ประกอบภาพ ขนาด 100x500 pixels ของท่อนอ้อย (N=30)	55
ตารางที่ 4.15 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ ของน้ำอ้อยด้วยเทคนิค NIRs	56
ตารางที่ 4.16 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์จากค่าองค์ประกอบภาพ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ตารางที่ 4.17 ค่าเชิงสถิติของค่าบริกซ์ ของท่อนอ้อย จนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ 59 ไปใช้

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

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

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.18 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ ของท่อนอ้อยด้วยเทคนิค NIRs	60
ตารางที่ 4.19 ค่าเชิงสถิติของค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x100 pixels ของท่อนอ้อย	62
ตารางที่ 4.20 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์จากค่าองค์ประกอบภาพ ขนาด 100x100 pixels ของท่อนอ้อย (N=63)	63
ตารางที่ 4.21 ผลการทำนายค่าพิกเซลด้วยสเปกตรัมของท่อนอ้อยที่ถูกครอบแล้ว	65
ตารางที่ 4.22 ผลการทำนายค่าบริกซ์ด้วยสเปกตรัมของท่อนอ้อยที่ถูกครอบแล้ว	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ฉ
สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของต้นอ้อย	4
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของราก	5
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของลำต้นโดยการลอกใบ	5
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของใบ	6
รูปที่ 2.5 อ้อยอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3	7
รูปที่ 2.6 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	9
รูปที่ 2.7 ตาราง NIR แสดงย่านโอเวอร์ทोनและคอมบิเนชันของพันธะ C-H, O-H และ N-H ที่เกิดมาจากการสั่นมูลฐานในอินฟราเรดย่านกลาง	11
รูปที่ 2.8 แสดงความเข้มแสงที่ผ่านตัวกลาง	12
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ	13
รูปที่ 2.10 สเปกตรัมเมื่อถูกทำให้เรียบโดยการเฉลี่ยการเคลื่อนที่	14
รูปที่ 2.11 สเปกตรัมเมื่อถูกทำให้เรียบโดยการปรับเรียบแบบจาวีตรีคิโกเลีย	14
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างสเปกตรัมที่มีขนาด Segment และ Gap เท่ากับ 12 และ 10 nm ตามลำดับ โดยความยาวคลื่นแต่ละจุดห่างกัน 2 nm	15
รูปที่ 2.13 สเปกตรัม (เส้นทึบ) และอนุพันธ์อันดับสองของสเปกตรัม (เส้นประ)	16
รูปที่ 2.14 สเปกตรัมเมื่อถูกปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน	16
รูปที่ 2.15 สเปกตรัมเมื่อถูกปรับแก้การกระเจิงแสงแบบทวีคูณ	18
รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ CCD	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.17 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ CMOS เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของการประมวลผลภาพ

23

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

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

รูปที่ 2.19 โครงสร้าง CCD	24
รูปที่ 2.20 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ	25
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างภาพดิจิทัล	26
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างภาพ Binary	27
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างเมตริกซ์ของภาพ RGB	27
รูปที่ 2.24 ตัวอย่างภาพ indexed	28
รูปที่ 2.25 ระดับสีของ Grayscale ตามขนาดข้อมูลที่ใช้เก็บ	28
รูปที่ 2.26 เปรียบเทียบสีแสง (RGB) และสีวัตถุ (CMYK)	29
รูปที่ 2.27 โมเดลระบบสี HSV แบบโคน (Cone)	29
รูปที่ 3.1 a) ภาพที่ถ่ายด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 760 nm	38
b) ภาพที่ถ่ายด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 910 nm	38
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมเฉลี่ยของท่อนอ้อยที่ระยะระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงและผิวตัวอย่างต่างๆ	41
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของแสงช่วงที่สามารถผ่านฟิลเตอร์	42
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมดิบของตัวอย่างท่อนอ้อย	45
รูปที่ 4.4 Regression coefficient จากโมเดลที่ทำนายค่าบรีกซ์ ด้วยเทคนิค NIRs โดยการปรับแต่งด้วยวิธี MA + SNV	46
รูปที่ 4.5 ภาพของท่อนอ้อยที่ได้จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ NIR	46
รูปที่ 4.6 Regression coefficient จากโมเดลที่ทำนายค่าบรีกซ์ ด้วยเทคนิค NIRs โดยการปรับแต่งด้วยวิธี MA + SNV	49
รูปที่ 4.7 Regression coefficient จากโมเดลที่ทำนายค่าบรีกซ์ ด้วยเทคนิค NIRs โดยการปรับแต่งด้วยวิธี MA + Mean Normalization	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 4.9 a) สเปกตรัมดิบของท่อนอ้อย b) ผลการตอบสนองต่อแสงของฟิลเตอร์ทั้งสองตัว 64

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

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

รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของท่อนอ้อยหลังทำการครอบด้วยผลการตอบสนองต่อแสงของฟิลเตอร์ 64

รูปที่ 4.11 a) ผลการตอบสนองต่อแสงของช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับค่าบริกซ์ (แยกช่วง) 66

b) ผลการตอบสนองต่อแสงของช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับค่าบริกซ์
(ผลรวมทั้ง 5 ช่วง) 66

รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของท่อนอ้อยหลังทำการครอบด้วยผลการตอบสนองต่อแสง
ของฟิลเตอร์ทั้ง 5 ช่วง 66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยถือเป็นประเทศเกษตรกรรมมาอย่างยาวนาน ด้วยปัจจัยทางสภาพภูมิศาสตร์ที่เหมาะสม ความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติ และความรู้ความสามารถด้านการเกษตร ที่ทำให้เกิดผลผลิตทางการเกษตรที่หลากหลาย และเป็นผลให้ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตผลผลิตทางการเกษตรมากที่สุดประเทศหนึ่ง อุตสาหกรรมอ้อยเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สำคัญของไทยที่สร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก อีกทั้งมีการส่งออกอ้อยมากที่สุดติดอันดับ 1 ใน 3 ของประเทศที่มีการส่งออกอ้อย และมีการผลิตอ้อยติดอันดับ 1 ใน 5 ของประเทศที่มีการผลิตอ้อย ทั้งยังเป็นสินค้าส่งออกสำคัญลำดับ 3 ในกลุ่มสินค้าเกษตรรองจากยางพาราและข้าว (โรจนลักษณ์ ปรีชา และคณะ) นอกจากนี้อ้อยเป็นวัตถุดิบหลักที่นำมาแปรรูปเป็นน้ำตาลทราย และน้ำตาลทรายยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการอย่างมากทั้งในและนอกประเทศ (วิริยภิตต์, 2559)

จากความสำคัญข้างต้นจึงมีการนำเครื่องมือเครื่องจักรและเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาใช้ในการอุตสาหกรรมอ้อยมากขึ้น เพื่อให้ได้ผลผลิตทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพสูงสุด มีความแม่นยำมากที่สุด และให้ผลที่รวดเร็ว เช่น การใช้ Refractometer เพื่อวัดความหวาน การใช้โดรนร่วมกับซอฟต์แวร์ภาพถ่ายดาวเทียมของเอกชน เพื่อวิเคราะห์ค่าความหวาน โรคของพืช (ขวัญตุตรี, 2562) เป็นต้น

ในปัจจุบันนี้มีการตรวจสอบคุณภาพผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRs) ทำการวัดการตอบสนองของตัวอย่างต่อแสงอินฟราเรดย่านใกล้ที่ฉายลงบนผิวภายนอกของตัวอย่าง เทคนิคนี้จึงเป็นวิธีที่ไม่ทำลายตัวอย่างและให้ผลที่รวดเร็ว ซึ่งแสงย่านนี้จะสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์มากกว่าแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible light) เช่น การตรวจสอบความสุกแก่ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง (จารุวรรณ, 2556) การทำนายคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของมะม่วงโดยรวม (องค์อร, 2556) เป็นต้น จากแนวคิดของเทคนิคนี้จึงเป็นที่มาของการนำกล้องโมโนโครมมาพัฒนาเพื่อใช้เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมอ้อยโดยเฉพาะ เนื่องจากการถ่ายภาพนั้นมีการใช้หลักการสะท้อนแสงจากวัตถุทำให้เกิดเป็นภาพ

ถึงแม้ว่าเทคนิค NIRs จะมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องราคาของอุปกรณ์ ดังนั้นเราจึงแก้ไขข้อจำกัดนี้โดยนำกล้องถ่ายภาพโมโนโครมมาพัฒนาโดยติดตั้งฟิลเตอร์ที่มีความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อย และเพื่อเป็นการจำกัดการใช้งานเครื่องมือให้มีความเฉพาะเจาะจงต่อผลผลิตทางการเกษตรนั้นๆ ซึ่งจะช่วยให้ความเป็นไปได้ในแนวคิดเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture, PA) และสามารถนำมาใช้ได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ 1) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนากล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น

อินฟราเรดย่านใกล้ เพื่อทำนายความหวานของอ้อย

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

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

2) เพื่อศึกษาการวัดความหวานของอ้อยด้วยกล้องโมโนโครมเปรียบเทียบกับเทคนิค NIRs

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ใช้อ้อยพันธุ์ข่อยแก่น 3
- 2) วัดค่าความหวานด้วยการใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้
- 3) ใช้ค่า Soluble Solid Content (°Brix) เป็นความหวานอ้อย
- 4) ใช้กล้องโมโนโครมที่ติดตั้งร่วมกับฟิลเตอร์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

กล้องมัลติสเปกตรัมต้นแบบที่วัดปริมาณความหวานโดยพัฒนาจากกล้องถ่ายภาพโมโนโครม

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2563					พ.ศ. 2564				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ NIR, Image Processing และกล้องโมโนโครม										
2. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์										
3. ทำการทดลองวัดสเปกตรัมของอ้อย										
4. ทำการถ่ายภาพอ้อยโดยกล้องที่ติดตั้งฟิลเตอร์										
5. วัดค่า Brix โดยเครื่อง Refractometer										
6. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมอ้อย

2.1.1 ความสำคัญของอุตสาหกรรมอ้อย

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมแปรรูปสินค้าเกษตรที่สำคัญของไทย สามารถสร้างรายได้จากการจำหน่ายน้ำตาลและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องได้ถึงปีละกว่า 250,000 ล้านบาท (ข้อมูลจากงบการเงินของธุรกิจน้ำตาลที่เผยแพร่ในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย และประมวลข้อมูลโดยธนาคารแห่งประเทศไทย สำนักงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ธปท. สกอ.)) คิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 21 ของ GDP ภาคเกษตร หรือสูงถึงร้อยละ 48 ของ GDP ภาคอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งนี้ ในปี 2559 ไทยมีมูลค่าการส่งออกน้ำตาลและผลิตภัณฑ์สูงถึง 2,573.4 ล้านดอลลาร์ (ข้อมูลจาก Trade map) สถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ สถาบันเครือข่ายของกระทรวงอุตสาหกรรม (สรอ.) ซึ่งจัดเป็นสินค้าส่งออกสำคัญลำดับที่ 13 ของไทย และเป็นสินค้าส่งออกสำคัญลำดับ 3 ในกลุ่มสินค้าเกษตรรองจากยางพาราและข้าว นอกจากนี้ อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลยังเป็นแหล่งสร้างงานและสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยกว่า 427,395 ครัวเรือน (ข้อมูลจากกรมส่งเสริมการเกษตร) หรือคิดเป็นจำนวนประชากรกว่า 927,447 คน รวมถึงแรงงานอีกเป็นจำนวนมากในอุตสาหกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง อาทิ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมไฟฟ้า อุตสาหกรรมพลังงาน และอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ เป็นต้น

จากความสำคัญดังกล่าวข้างต้น ทำให้อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทต่อการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างมาก นอกจากนี้ อุตสาหกรรมดังกล่าวยังถูกมองว่าเป็นอุตสาหกรรมต้นแบบที่สามารถขับเคลื่อนไปสู่อุตสาหกรรมแห่งอนาคตหรือ New S-Curve โดยใช้วัตุดิบทางการเกษตรที่เป็นจุดแข็งของประเทศ ผ่านการใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่ รวมถึงการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพตั้งแต่การเพาะปลูกของเกษตรกรไปจนถึงกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าเกษตร ซึ่งเป็นการตอบโจทย์การพัฒนาประเทศด้านเกษตรกรรมในทศวรรษ 4.0

2.2 อ้อย

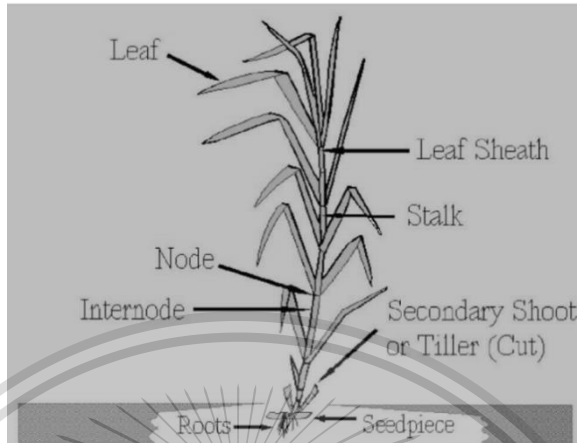
อ้อย (Sugarcane) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจัดอยู่ในวงศ์ Gramineae มีแหล่งกำเนิดเดิมอยู่ในหมู่เกาะนิวกินี ในมหาสมุทรแปซิฟิก ต่อมาได้แพร่กระจายพันธุ์ไปยังพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก เนื่องจากอ้อยเป็นพืชที่เจริญเติบโตในสภาพอากาศร้อนชื้น ดังนั้นอ้อยจึงนับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาล แหล่งปลูกที่สำคัญตั้งอยู่แถบทวีปเอเชีย อ้อยที่ปลูกเป็นการค้าเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมน้ำตาลในปัจจุบันคือ อ้อยที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* เป็นอ้อยที่มีความหวานสูง มีไฟเบอร์ต่ำ ลำปล้องแข็งแรงและยาว ซึ่งส่วนสำคัญของอ้อยอยู่ที่ลำต้น โดยเป็นส่วนที่ใช้สร้างน้ำตาล

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

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

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

อ้อยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในวงศ์หญ้า ส่วนหลักของต้นอ้อย ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของต้นอ้อย

(ที่มา : Sandhu, 2016)

2.2.1.1 ราก

มีระบบรากฝอย ในระยะแรกที่ลำต้นอ้อยงอกจะได้รับน้ำและอาหารส่วนใหญ่จากท่อนพันธุ์ รากชุดแรกของท่อนพันธุ์ (sett root) เกิดจากปุ่มรากในบริเวณเกิดราก เมื่อต้นอ่อนเจริญขึ้นจะเกิดปล้องสั้นๆ เป็นจำนวนมากใต้ดิน บริเวณข้อของลำต้นใต้ดินจะปรากฏปุ่มรากที่จะเกิดเป็นรากของต้น อ้อย (shoot root) ส่วนตาของลำต้นใต้ดินจะเจริญเติบโตแทงโผล่พ้นเหนือดินเป็นหน่อ รากอ้อยเหล่านี้จะเจริญเติบโตขึ้นมาทดแทนรากของท่อนพันธุ์ รากจะเจริญเติบโตแตกสาขามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพดิน และรากจะหยั่งลึกลงในดินมากขึ้นในกรณีที่หน้าดินหรือการไถดินทำได้ลึกเพียงพอ

รากของอ้อยแบ่งตามหน้าที่ได้ 3 ชนิด ได้แก่

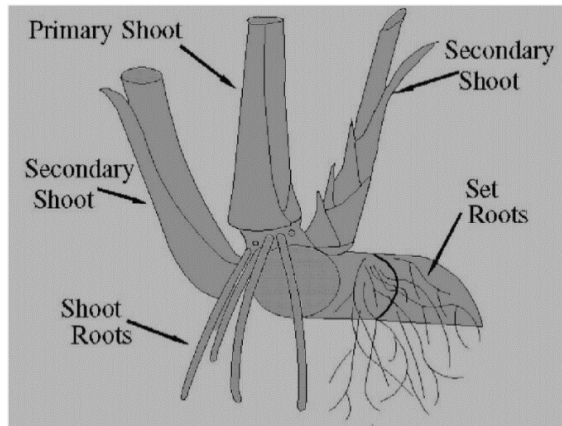
1. Superficial root เกิดจากปุ่มรากของข้อที่อยู่บริเวณใกล้ผิวดิน เป็นรากที่มีขนาดเล็กและแตกแขนงมาก ทำหน้าที่ดูดน้ำและแร่ธาตุอาหารให้แก่ต้นอ้อยเป็นส่วนใหญ่

2. Buttress root เป็นรากที่เกิดจากปุ่มรากของข้อที่อยู่ต่ำกว่ารากชนิดแรก มีสีเขาวอบขนาดใหญ่กว่ารากอื่นๆ ทำหน้าที่ดูดน้ำ แร่ธาตุ และพยุงลำต้น แข็งแรงกว่า Superficial root รากชนิดนี้ทำมุม 40-60 องศากับผิวดิน แตกแขนงน้อย

3. Deep root เป็นรากที่เกิดจากบริเวณเดียวกับ Buttress root หรือบริเวณที่ต่ำกว่า รากชนิดนี้จะหยั่งลึกลงไปตามแนวตั้ง มักสานรวมกันเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 15-20 ราก มีหน้าที่หลักในการพยุงลำต้น แต่ละรากอาจมีความยาวได้มากถึง 4-6 เมตร รากนี้ช่วยดูดน้ำจากดินชั้นล่างได้มากและเร็ว ดังนั้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

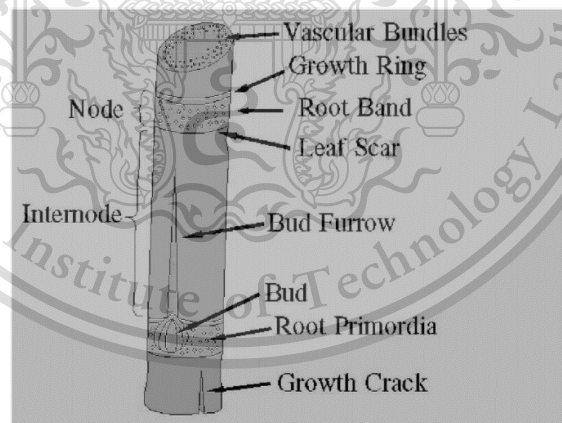


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของราก

(ที่มา : James, 2004)

2.2.1.2 ลำต้น

อ้อยสามารถขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยใช้ส่วนของลำต้น (cutting, set หรือ seed cane) ลำต้นอ้อยมีอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่อยู่ใต้ดินและเหนือดิน ส่วนที่อยู่ใต้เรียกว่า ตอหรือเหง้า ส่วนที่อยู่เหนือดินมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เป็นส่วนที่รองรับใบและช่อดอก บริเวณเหนือดินจะสังเกตเห็นข้อและปล้องอย่างชัดเจน จำนวนข้อและปล้องจะแตกต่างกันตามพันธุ์ อายุ สภาพดินและอากาศ ข้อเป็นส่วนที่รองรับใบ เมื่อใบหลุดจะปรากฏรอยกาบใบให้เห็น ความยาวระหว่างปล้องจากรอยกาบใบหนึ่งถึงรอยกาบใบถัดไป เรียกรวมกันว่าข้อปล้อง



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของลำต้นโดยการลอกใบ

(ที่มา : Sandhu, 2016, James, 2004)

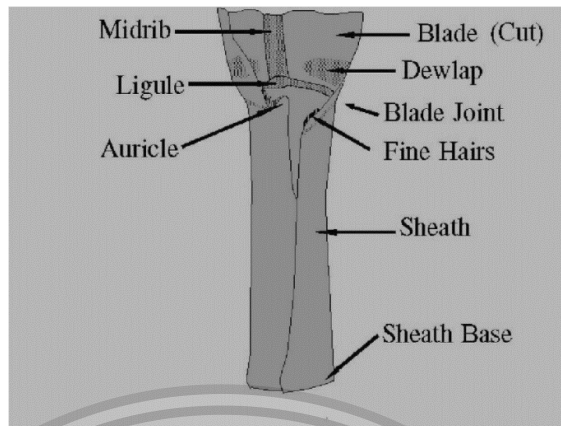
2.2.1.3 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เกิดเรียงสลับกันบนลำต้น ใบบางพันธุ์อาจเกิดเวียนรอบต้น ใบติดกับข้อของลำต้นตรงส่วนของฐานใบ การค้าไม่ว่ากรณีใด ใบ โครงสร้างของใบประกอบด้วย 2 หลักคือ กาบใบ และแผ่นใบ กาบใบไม่มีเส้นกลางใบ มักมีสีเขียว

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

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

อ่อนหรือม่วงแดง การที่กาบใบมีสีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณเม็ดสีในกาบใบของอ้อยแต่ละพันธุ์



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของใบ

(ที่มา : James, 2004)

2.2.1.4 ดอก

ช่อดอกเรียกว่า arrow เกิดที่ปลายยอดของลำต้น ลักษณะช่อดอกมีแกนกลาง ก้านแขนงแรกแตกออกจากแกนกลาง และก้านที่สองแตกออกจากก้านแขนงแรก ก้านแขนงที่สองนี้เป็นตำแหน่งของกลุ่มดอกบานเต็มที่ ที่ฐานของกลุ่มดอกจะมีขนสีขาวๆ ภายในกลุ่มดอกทั้งสองแบบจะประกอบไปด้วยดอกย่อย (flore) 2 ดอก อับเกสรจะแตกออกมีละอองเกสรตัวผู้สี่เหลี่ยม

2.2.2 การสร้างน้ำตาล

ใบอ้อยสามารถสร้างน้ำตาลจาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศและน้ำจากดิน โดยมีแสงแดดเป็นพลังงาน ขบวนการนี้เรียกว่าการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ในการสร้างน้ำตาล กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) 1 โมเลกุลต้องใช้วัตถุดิบ คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุลและน้ำ 12 โมเลกุล จะได้น้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล ออกซิเจนที่ได้จากน้ำ 6 โมเลกุล และน้ำอีก 6 โมเลกุล ดังสมการ ($6CO_2 + 12H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$)

2.3 อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3

2.3.1 ประวัติ

อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 (ชื่อเดิม 94-2-200) คัดเลือกจากคู่ผสมของอ้อยโคลน 85-2-352 กับ พันธุ์เค 84-200 ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี ในปี พ.ศ.2537 จากการประเมินผลผลิตในขั้น

การเปรียบเทียบเบื้องต้น การเปรียบเทียบในไร่เกษตรกร และการทดสอบในไร่เกษตรกรระหว่างปี พ.ศ. 2538-2550 รวม 35 แปลงทดลอง พบว่าพันธุ์อ้อยขอนแก่น 3 ให้ผลผลิตเฉลี่ยในอ้อยปลุกและอ้อยต่อไร่สูงกว่าพันธุ์อื่นที่ปลูกในไร่เกษตรกร โดยพันธุ์อ้อยขอนแก่น 3 ให้ผลผลิตเฉลี่ยในอ้อยปลุกและอ้อยต่อไร่สูงกว่าพันธุ์อ้อยทอง 3 ที่ระดับ 25 และ 28 % มีค่าซีซีเอสเฉลี่ยในอ้อยปลุกและอ้อยต่อไร่สูงกว่าพันธุ์อื่นที่ปลูกในไร่เกษตรกร โดยพันธุ์อ้อยขอนแก่น 3 ให้ผลผลิตเฉลี่ยในอ้อยปลุกและอ้อยต่อไร่สูงกว่าพันธุ์อ้อยทอง 3 ที่ระดับ 25 และ 28 % มีค่าซีซีเอสเฉลี่ยในอ้อยปลุกและอ้อยต่อไร่สูงกว่าพันธุ์อื่นที่ปลูกในไร่เกษตรกร

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

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

และอ้อยต่อ 1 ที่ 14.6 และ 15.1 ตัน/ไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอ้อยพันธุ์อุทอง 3 และขอนแก่น 1 และผ่านการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร ในปี พ.ศ. 2551



รูปที่ 2.5 อ้อยอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3

(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2014)

2.3.2 ลักษณะพฤกษศาสตร์

ทรงกอตั้งตรง ลำขนาดปานกลาง แตกกอปานกลาง (49 ลำ/กอ) ปล้องทรงกระบอก สีเหลืองอมเขียว และเปลี่ยนเป็นสีส้มแดงเมื่อโดนแสง การเรียงตัวของปล้องเป็นแบบซิกแซก ตามีลักษณะกลมรี หูใบด้านนอกรูปใบหอกสั้น หูใบด้านในรูปใบหอกยาว คอใบสีเขียวน้ำตาลรูปชายธง ปลายใบโค้ง กาบใบอ้า ลอกง่าย สีเขียว ไม่มีขนและไม่ออกดอก ส่งผลให้น้ำหนักและความหวานไม่ลดลงในช่วงปลายฤดูหีบ กาบใบอ้าและหลวมปานกลาง ทำให้เก็บเกี่ยวได้สะดวกรวดเร็ว โดยเฉพาะการเก็บเกี่ยวอ้อยสด ซึ่งฤดูการเก็บเกี่ยวจะอยู่ในช่วง เดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน มีอายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน

2.3.3 ลักษณะเด่น

อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นพันธุ์ที่มีการแตกกอดี ใบคลุมพื้นที่ได้เร็ว ทำให้การแข่งขันกับวัชพืชได้ดี ส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัชพืช และมีความต้านทานในระดับปานกลางต่อโรคเส้ดำและเหี่ยวเน่าแดง นอกจากนี้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 สามารถปลูกได้ทั่วไปในพื้นที่ที่เป็นดินร่วนปนทราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยให้ผลผลิตเฉลี่ย 21.7 ตัน/ไร่ และน้ำหนักเฉลี่ย 1.85 กก./ลำ

2.3.4 พื้นที่แนะนำ

ปลูกได้ทั่วไปในพื้นที่ที่มีสภาพดินร่วนปนทราย โดยเฉพาะเขตปลูกอ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.4 ค่า Commercial Cane Sugar (C.C.S)

ในอุตสาหกรรมอ้อยนั้นมีการคำนวณราคาของอ้อยจากน้ำหนักและคุณภาพ ซึ่งการคำนวณราคาของอ้อยตามคุณภาพในประเทศไทยใช้ระบบการซื้อขายอ้อยของประเทศออสเตรเลียที่เรียกว่า Commercial Cane Sugar หรือซีซีเอส (C.C.S) โดยค่าซีซีเอสนี้คือปริมาณร้อยละของของแข็งที่ละลาย

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

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

ได้ทั้งหมดในน้ำอ้อย ซึ่งส่วนใหญ่คือน้ำตาลซูโครส หรือกล่าวได้ว่าเป็นปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ผลิตได้จากอ้อยจำนวนหนึ่ง ยกตัวอย่าง อ้อยหนัก 1,000 กรัม มีค่าซีซีเอสเท่ากับ 10 แสดงว่าอ้อยจำนวนนี้สามารถให้น้ำตาลซูโครสได้มากที่สุด 100 กิโลกรัม เป็นต้น โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าซีซีเอสประกอบด้วยค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งหมายถึงน้ำตาลและสิ่งเจือปน (Soluble Solid Content, บริกซ์, °Brix) ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลซูโครส (Pol) และค่าเปอร์เซ็นต์เส้นใยอ้อย (Fiber) มีสูตรคำนวณตามมาตรฐานดังนี้

$$CCS = \frac{0.9433 \times Pol \times (100 - Fiber)}{100} - 0.5 \times \left\{ \frac{0.9660 \times Brix \times (100 - Fiber)}{100} - \frac{0.9433 \times Pol \times (100 - Fiber)}{100} \right\} \quad (2.1)$$

2.4.1 ค่า Soluble Solid Content (บริกซ์, °Brix)

คือ ปริมาณร้อยละของของแข็งที่ละลายได้ มีขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสกัดเอาน้ำอ้อย จากนั้นนำผ่านกระดาษกรองและวัดด้วยเครื่อง refractometer โดยการวัดดัชนีการหักเหของแสง หลักการคือเมื่อมีของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำมาก แสงที่ส่องผ่านจะใช้เวลาช้าในการไหลผ่าน ทำให้เกิดการหักเหของแสงมากขึ้น การหักเหของแสงเหล่านี้จะถูกแสดงเป็นค่าของ °Brix สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$^{\circ}\text{Brix in cane} = \frac{^{\circ}\text{Brix in juice} \times 100 - (\% \text{ Fiber} + 3)}{100} \quad (2.2)$$

2.4.2 ค่า Polarization (%Pol)

คือ ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลซูโครส มีขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสกัดเอาน้ำอ้อย จากนั้นนำผ่านกระดาษกรองและวัดด้วยเครื่อง polarimeter โดยใช้หลักการการเบี่ยงเบนระนาบของแสงสำหรับสารที่มีคุณสมบัติเบี่ยงเบนระนาบแสงได้จะเรียกว่าเป็นสาร optically active แต่ถ้าแสงผ่านสารนั้นแล้วไม่มีการเบี่ยงเบนระนาบแสงจะเรียกว่า optically inactive ซึ่งสามารถคำนวณค่าโพลได้ดังนี้

$$\% \text{ Pol in cane} = \frac{\% \text{ Pol in juice} \times 100 - (\% \text{ Fiber} + 5)}{100} \quad (2.3)$$

2.4.3 ค่า Fiber

คือ ส่วนที่เป็นของแข็งของอ้อยที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งจะมีสาร Pectin และ Pentozen เป็นส่วนประกอบสำคัญ มีขั้นตอนการวิเคราะห์โดยชั่งน้ำหนักถุงเปล่า นำอ้อยฝนใส่ถุง จากนั้นนำถุงไปซักผ่านน้ำเปล่า 1 ครั้งและต้มในน้ำเดือด 1 ชั่วโมง ทำซ้ำอีกครั้ง จากนั้นนำถุงมาอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วนำไปใส่ในตู้ดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักหลังอบของตัวอย่างอ้อย ซึ่งสามารถคำนวณค่าไฟเบอร์ได้ดังนี้

$$\text{Fiber in cane} = ^{\circ}\text{Brix in cane} - \% \text{ Pol in cane} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

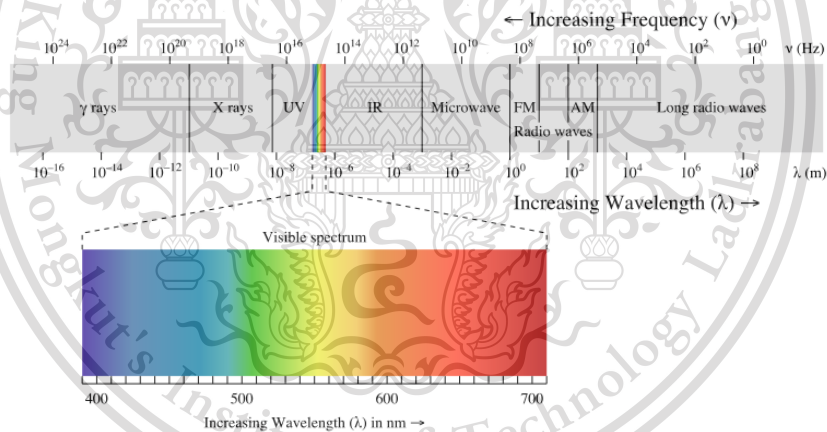
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIRs)

Near Infrared Spectroscopy (NIRs) เป็นเครื่องมือที่ใช้แสงจากความยาวคลื่นย่านใกล้ส่องไป สิ่งที่ต้องการวิเคราะห์โดยไม่ทำลายตัวอย่าง จากนั้นตัวอย่างจะดูดกลืนแสงและเกิดการสั่นของโมเลกุล ในหมู่ฟังก์ชันต่างๆ โดยพลังงานที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนจะสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ ซึ่งเทคนิคนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบผลผลิตทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยส่วนใหญ่ นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร อีกทั้งเทคนิคนี้ให้ผลที่รวดเร็ว ประหยัดพลังงาน ลดการใช้ สารเคมี และลดต้นทุนต่างๆ ตั้งแต่กระบวนการที่เป็นวัตถุดิบจนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้าย เพราะเหตุนี้ในปัจจุบันจึงมีการนำเทคนิคนี้มาใช้กันอย่างแพร่หลายในหลากหลายอุตสาหกรรมมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำเทคนิคนี้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาเครื่องมือและเทคโนโลยีต่างๆ อีกด้วย

2.5.1 หลักการของสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

แสงอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น อินฟราเรดย่านใกล้มีความยาวคลื่นช่วง 700-2,500 nm อินฟราเรดย่านกลางมีความยาวคลื่นช่วง 2,500-25,000 nm และอินฟราเรดย่านไกลมีความยาวคลื่นช่วง 25,000-100,000 nm ตามที่กำหนดโดย American Society for Testing and Materials (ASTM)



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

(ที่มา : Academy, 2019)

แสงอินฟราเรดย่านใกล้เป็นย่านที่มีการดูดกลืนแสงต่ำกว่าอินฟราเรดย่านอื่นๆ ทำให้แสงอินฟราเรดย่านใกล้มีแสงที่สะท้อนออกมาเพียงพอต่อการตรวจจับมากกว่า อีกทั้งแสงอินฟราเรดจะถูกดูดกลืนมากโดยน้ำ ทำให้การตรวจวัดแสงนั้นทำได้ลำบาก ดังนั้นแสงอินฟราเรดย่านใกล้จึงมีความเหมาะสมมากกว่าในการนำมาใช้กับวัสดุทางการเกษตรที่มีความชื้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ความถี่ที่ทำให้เกิดการสั่นและความยาวคลื่นของพลังงานที่ถูกดูดกลืนเข้าไปจะเป็นสมบัติเฉพาะตัวของโมเลกุลนั้น ๆ มีหลักการคือ แสงจะถูกส่งไปยังตัวอย่างและเกิดการดูดกลืนแสง จากนั้นจะเกิดการสั่นของโมเลกุลและจึงทำการวัดปริมาณแสงนั้น

พลังงานในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้เป็นย่านแสงที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และจะเพียงพอต่อการเปลี่ยนระดับพลังงานการสั่นในระดับต่ำเท่านั้น โดยปกติแล้ว อนุกรมที่มีห้องนั้นโมเลกุลส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับพลังงานการสั่นมูลฐานและมีระดับที่คงที่แน่นอน โดยการดูดกลืนแสงในอินฟราเรดย่านใกล้เป็นการเกิดจากโอเวอร์โทน ซึ่งเป็นความถี่ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานมากกว่า 2 ระดับพลังงานขึ้นไป ในขณะที่อินฟราเรดย่านกลางจะเกิดคอมบิเนชัน ซึ่งเป็นการดูดกลืนที่เกิดจากการสั่นมูลฐานที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน แต่ในทางปฏิบัติแล้วความยาวคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้จะพบความถี่ทั้งแบบโอเวอร์โทนและคอมบิเนชันของพันธะไฮโดรเจน (C-H, N-H, O-H และ S-H) ซึ่งต้องการพลังงานในการสั่นมากกว่าการสั่นแบบมูลฐานจึงทำให้เกิดเป็นพีกของสเปกตรัม (อนุพันธ์, 2558) โดยค่าความถี่ที่ดูดกลืนพลังงานเป็นค่าเฉพาะของแต่ละพันธะในสารอินทรีย์ เราจึงสามารถนำมาใช้วิเคราะห์หามุโครงสร้างที่ทำหน้าที่ตอบสนองต่อสเปกตรัมของสารอินทรีย์แต่ละประเภทได้ (รัชณี, 2544)

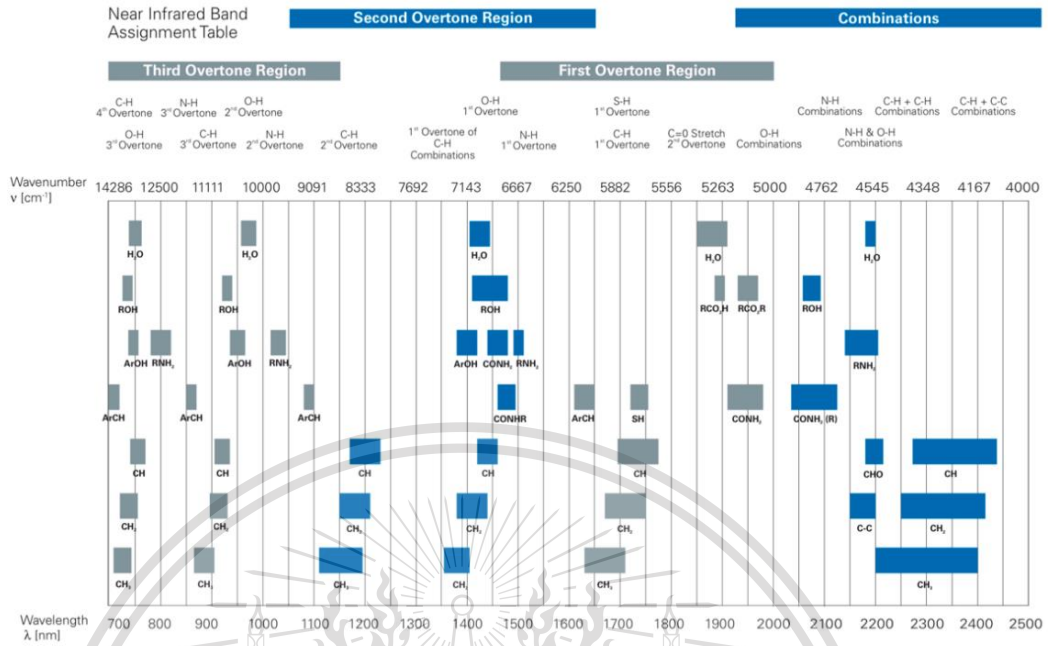
ในงานวิจัยนี้เราพิจารณาเพียงความยาวคลื่นของโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อย นั่นคือน้ำตาลซูโครส ที่ความยาวคลื่น 762 nm เป็นการสั่นแบบโอเวอร์โทนที่ 4 ของการยืดหด C-H ของน้ำตาล และที่ความยาวคลื่น 910 nm เป็นการสั่นแบบโอเวอร์โทนที่ 3 ของการยืดหด C-H ของซูโครสในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

● Near Infrared Table



รูปที่ 2.7 ตาราง NIR แสดงย่านโอเวอร์โทนและคอมบิเนชันของพันธะ C-H, O-H และ N-H ที่เกิดมาจากการสั่นมูลฐานในอินฟราเรดย่านกลาง

(ที่มา : Guide for infrared spectroscopy, Bruner Optics)

2.5.2 หลักการทำงานของสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

เมื่อมีการฉายแสงไปยังวัตถุใดๆ นั้นจะทำให้แสงบางส่วนถูกดูดกลืน (Absorbed) สะท้อน (Reflected) ทะลุผ่าน (Transmitted) วาวแสง (Fluorescence) หรือกระเจิงแสง (Scattered) โดยมีกฎของการดูดกลืนแสงที่สำคัญคือ กฎของ Beer-Lambert ซึ่งกฎของแลมเบิร์ตกล่าวว่า “เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic light) ผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน” และกฎของเบียร์กล่าวว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น” ทั้งนี้เมื่อวัดการดูดกลืนแสงแล้ว ปริมาณความเข้มแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและระยะทางที่แสงผ่าน จึงได้รวมกฎของทั้งสองคนไว้เป็นกฎของเบียร์-แลมเบิร์ตดังนี้

$$A = \alpha lc = \log(I_0/I) \tag{2.5}$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (Absorbance)

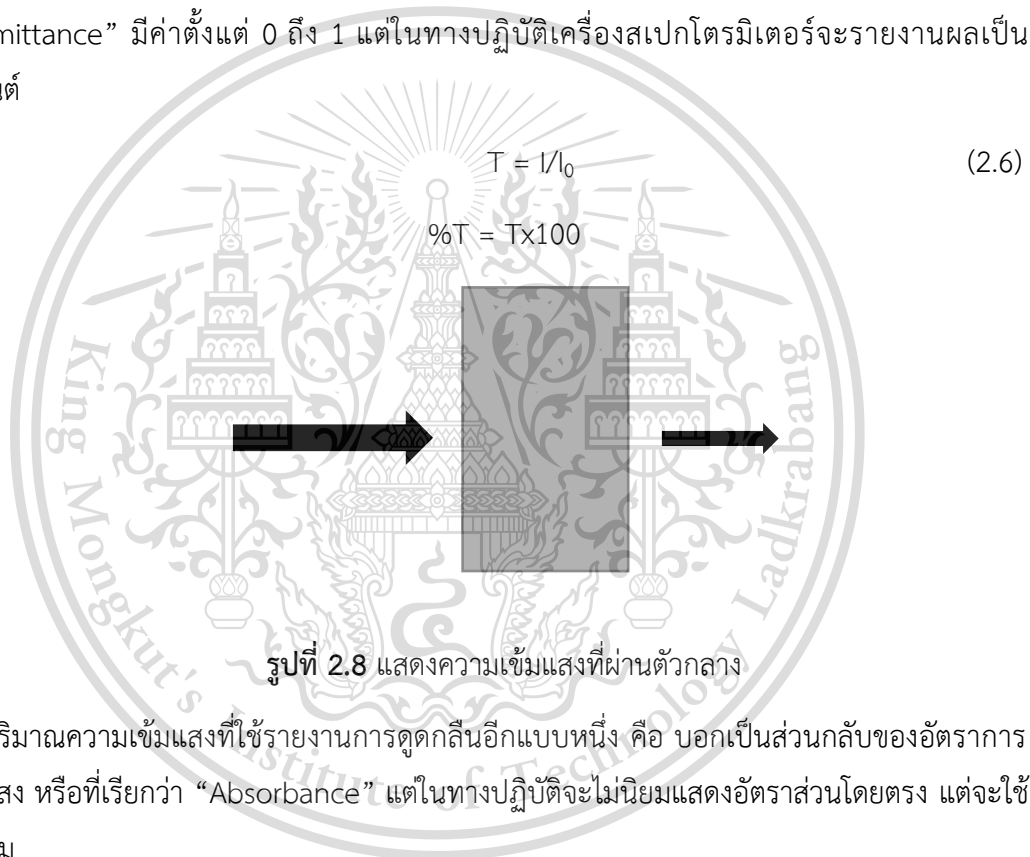
ε คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (Absorbance) เมื่อทราบค่าความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบบนตัวอย่างแล้ว ค่าการดูดกลืนแสงจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบบนตัวอย่าง และค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น

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

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

- l คือ ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่าง (cm)
 c คือ ความเข้มข้น (mol/L หรือ Molar, M)
 I คือ ความเข้มแสงที่ผ่านไปถึงตัวรับสัญญาณ
 I₀ คือ ความเข้มแสงตั้งต้น

หากเราวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ จะสามารถวัดได้ 2 ค่า ได้แก่ ความเข้มแสงที่ผ่านไปถึงตัวรับสัญญาณ (I) กับความเข้มแสงตั้งต้น (I₀) ซึ่งเป็นค่าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยปริมาณความเข้มแสงที่ใช้รายงานการดูดกลืนแสงมีสองแบบ คือ บอกเป็นอัตราการส่งผ่านแสงหรืออัตราส่วนระหว่างความเข้มแสงที่ผ่านไปถึงตัวรับสัญญาณกับความเข้มแสงตั้งต้น หรือที่เรียกว่า “Transmittance” มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 แต่ในทางปฏิบัติเครื่องสเปกโตรมิเตอร์จะรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.8 แสดงความเข้มแสงที่ผ่านตัวกลาง

ปริมาณความเข้มแสงที่ใช้รายงานการดูดกลืนอีกแบบหนึ่ง คือ บอกเป็นส่วนกลับของอัตราการส่งผ่านแสง หรือที่เรียกว่า “Absorbance” แต่ในทางปฏิบัติจะไม่นิยมแสดงอัตราส่วนโดยตรง แต่จะใช้ลอการิทึม

$$A = \log(I/I_0) = \log(1/T) \quad (2.7)$$

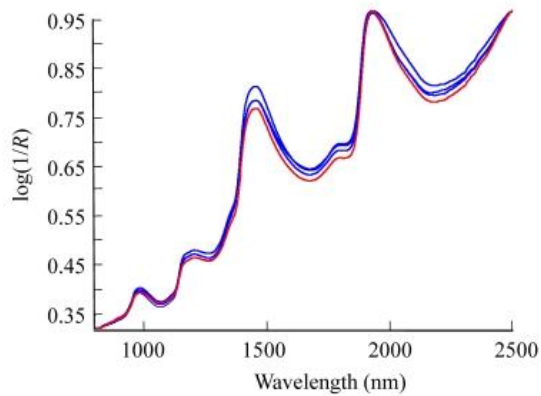
$$\text{หรือ } T = 10^{-A}$$

จากนั้นมีการแสดงผลเป็นสเปกตรัม NIR โดยมีแกนนอนเป็นค่าความยาวคลื่นแสงช่วง NIR และแกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของวัตถุ ลักษณะตัวอย่างกราฟดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ

(ที่มา : <http://www.flandersfood.com/artikel/2009/04/02/toepassingenvan-nir-spectroscopie-de-voedingsindustrie>)

2.6 การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ (Spectral preprocessing/ Pretreatment)

การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์เป็นวิธีการที่ทำก่อนการวิเคราะห์หลักเพื่อลดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องออกและทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น (Andrade-Garda, 2009) ในที่นี้เราสนใจลักษณะสเปกตรัม ซึ่งสเปกตรัมจะมีความซับซ้อนอันเนื่องมาจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น การกระเจิงของแสง สัญญาณรบกวน เป็นต้น ทำให้การสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องมีขั้นตอนการประมวลผลก่อน (Spectral preprocessing) เบื้องต้นอาจทำได้โดยการสแกนสเปกตรัมหลายครั้งแล้วนำข้อมูลมาเฉลี่ยกัน นอกเหนือจากนี้ยังมีวิธีการที่นิยมนำมาใช้ดังนี้

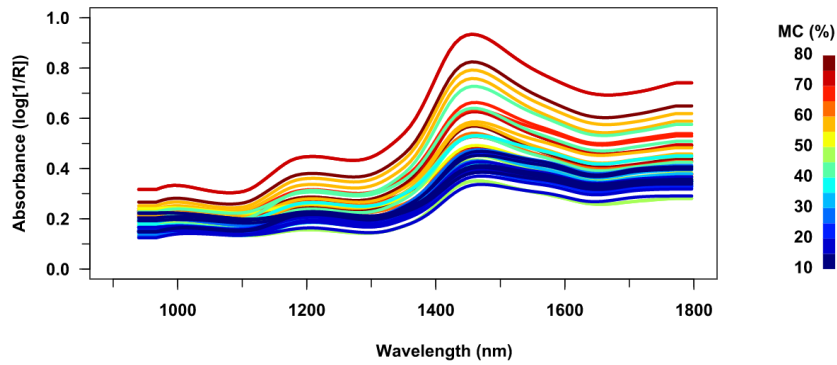
2.6.1 การเฉลี่ยการเคลื่อนที่ (Moving average smooth)

การเฉลี่ยการเคลื่อนที่เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดเพื่อปรับสเปกตรัมให้เรียบ มีหลักการคือ แทนค่า $\log(1/R)$ เริ่มต้นในแต่ละจุดหรือความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่า $\log(1/R)$ ที่คำนวณในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วงตรงกับจุดที่แทนที่ โดยจำนวนจุดที่นำมาเฉลี่ยคือ $n = 2m + 1$ เมื่อ m เป็นจำนวนจุดทั้งสองด้านของจุดศูนย์กลางการเฉลี่ย นำค่า $\log(1/R)$ ของจำนวนจุดที่ได้มารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำมาค่าที่ได้มาสร้างสเปกตรัมใหม่ นั่นคือค่าเฉลี่ยที่นำมาสร้างสเปกตรัมจะตรงกับความยาวคลื่นที่จุดศูนย์กลางช่วง จากนั้นจะเลื่อนช่วงไปทางขวา 1 จุดหรือ 1 ความยาวคลื่นแล้วทำซ้ำจนครบช่วงความยาวคลื่น สุดท้ายแล้วข้อมูลสเปกตรัมใหม่จะมีจำนวนข้อมูลช่วงเริ่มต้นและช่วงท้ายหายไปช่วงละ m ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

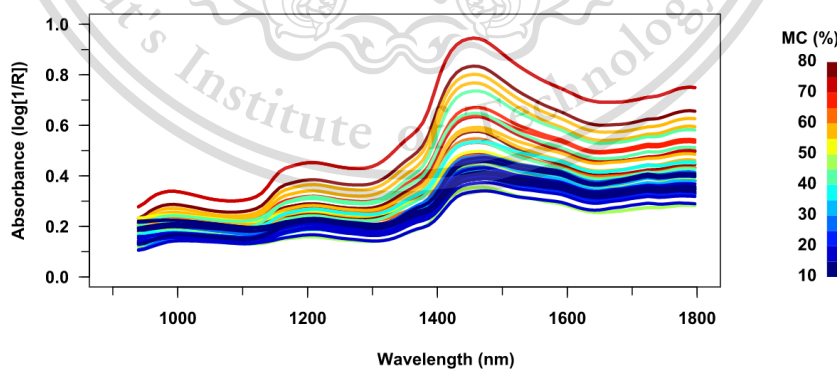


รูปที่ 2.10 สเปกตรัมเมื่อถูกทำให้เรียบโดยการเคลื่อนที่

(ที่มา : <https://guifh.github.io/RNIR/Smoothing.html>)

2.6.2 การปรับเรียบแบบจาวิตร์คิโกเลย์ (Savitzky-Golay smooth)

เป็นวิธีที่นิยมใช้มาก จะใช้เมื่อมีสัญญาณรบกวนมาก ต้องการให้สัญญาณเรียบ และคงรูปร่างสเปกตรัมให้เหมือนสเปกตรัมเริ่มต้น มีหลักการคือ กำหนดช่วงข้อมูลในช่วงความยาวคลื่น $n = 2m+1$ ซึ่งเหมือนกับวิธีการเคลื่อนที่ จากนั้นนำค่า $\log(1/R)$ ในช่วงที่กำหนดมาหาสมการโพลีโนเมียลโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square) ทำให้ได้สมการต่อเนื่องและเป็นตัวแทนของข้อมูลช่วงนั้น ๆ เริ่มจากข้อมูลจุดแรก จะได้สมการเพื่อนำมาคำนวณสเปกตรัมใหม่ที่แต่ละจุดหรือแต่ละความยาวคลื่นในช่วงนั้น ๆ จากนั้นนำมาคำนวณค่าสเปกตรัมที่จุดศูนย์กลางช่วง แล้วนำค่าที่คำนวณแทนในค่าสเปกตรัมเดิมที่จุดหรือความยาวคลื่นนั้น คำนี้อาจถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าสเปกตรัมเริ่มต้น จากนั้นเลื่อนช่วงที่เท่ากันไปทางขวา 1 จุดหรือ 1 ความยาวคลื่นและทำซ้ำจนครอบคลุมความยาวคลื่นทั้งหมด สเปกตรัมใหม่ที่ได้จะมีข้อมูลในส่วนต้นและส่วนท้ายหายไปเท่ากับ m จุด



รูปที่ 2.11 สเปกตรัมเมื่อถูกทำให้เรียบโดยการปรับเรียบแบบจาวิตร์คิโกเลย์

(ที่มา : <https://guifh.github.io/RNIR/Smoothing.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

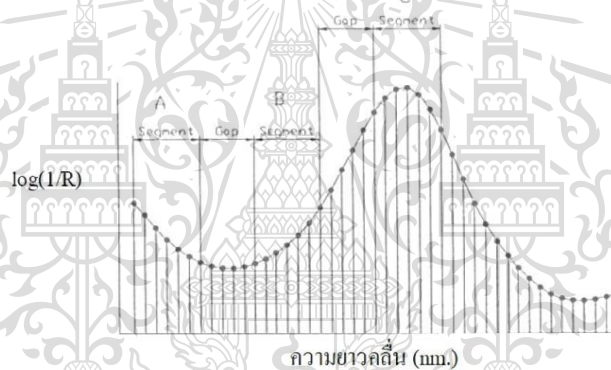
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.3 การหาอนุพันธ์ (Differentiation)

วิธีนี้ใช้เพื่อเพิ่มความละเอียดของสเปกตรัมและกำจัดผลกระทบทั้งแบบเสริมและแบบหักล้างของอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งสามารถกำจัดพฤติกรรมสเปกตรัมเส้นฐานได้ ในขณะที่อนุพันธ์อันดับสองจะสามารถกำจัดได้ทั้งแนวโน้มเส้นฐานและแนวโน้มเชิงเส้น โดยอนุพันธ์อันดับหนึ่งเป็นการแก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นของเส้นสเปกตรัม (Baseline shift) ในขณะที่อนุพันธ์อันดับสองเป็นการแก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นและพิกที่ซ้อนทับกัน (Overlapping peaks)

2.6.4 อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First Derivative)

การหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง นั้นคือความชันของสเปกตรัม โดยในการคำนวณเราจำเป็นต้องกำหนดขนาด Segment และ Gap ซึ่ง Segment เป็นขนาดของความยาวคลื่นที่ทำการเฉลี่ยให้ได้ค่าใหม่เพื่อใช้เป็นตัวแทนหนึ่งจุด จากนั้นทำการข้ามช่วงความยาวคลื่นนั้นไปเท่ากับขนาด Gap เพื่อใช้จุดนั้นเป็นจุดแรกในการคำนวณ Segment ถัดไป ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างสเปกตรัมที่มีขนาด Segment และ Gap เท่ากับ 12 และ 10 nm ตามลำดับ โดยความยาวคลื่นแต่ละจุดห่างกัน 2 nm

(ที่มา : อนุพันธ์, 2545)

การหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งใช้ได้กับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอ และช่วยลดปัญหาการเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัม

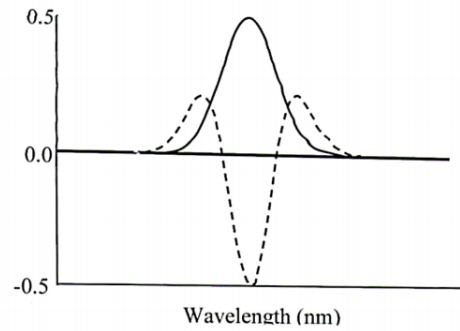
2.6.5 การหาอนุพันธ์อันดับที่สอง (Second Derivative)

การหาอนุพันธ์อันดับที่สอง นั้นคือการหาการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัม สามารถคำนวณได้ด้วยความแตกต่างของค่าที่ได้จากอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งที่ติดกัน วิธีนี้จะช่วยลดผลที่เกิดจากการกระเจิงของแสงทั้งผลเชิงบวกและเชิงลบ โดยจะใช้ได้ดีกับตัวอย่างที่ขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้อนุพันธ์อันดับสองได้รับความนิยมมากกว่าเพราะมีจุดยอดตรงกับสเปกตรัมเดิม ถึงแม้ว่าจะกลับหัวก็ตาม แสดงดังรูป 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.13 สเปกตรัม (เส้นทึบ) และอนุพันธ์อันดับสองของสเปกตรัม (เส้นประ)

(ที่มา : Hruschka, 1987)

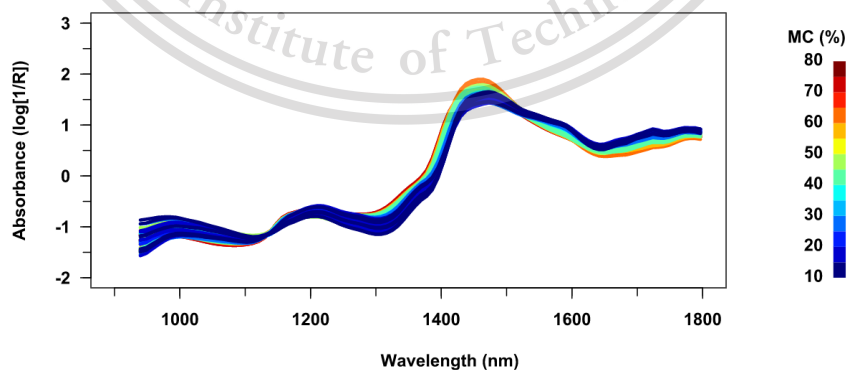
2.6.6 วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (Standard normal variate, SNV)

เป็นการปรับค่าการดูดกลืนให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (normalization) โดยปรับแก้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมให้เป็นศูนย์ ด้วยการลบสเปกตรัมแต่ละสเปกตรัมด้วยค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมตัวอย่างนั้นๆ และปรับแก้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานให้เป็นหนึ่ง โดยการหารด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสเปกตรัมตลอดช่วงตั้งสมการ 2.8 หลังจากทำ SNV แล้วแต่ละสเปกตรัมจะมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 1

$$A_i(\text{SNV}) = \frac{(A_i - \bar{a}_i)}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^p (A_{ij} - \bar{a}_i)^2}{(p-1)}}} \quad (2.8)$$

เมื่อ A_{ij} คือ ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น j (ทั้งหมด p ความยาวคลื่น) ของตัวอย่าง i

\bar{a}_i คือ ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนตลอดช่วงสเปกตรัมของตัวอย่าง i



รูปที่ 2.14 สเปกตรัมเมื่อถูกปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ที่มา : <https://guifh.github.io/RNIR/SNV.html>)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ข้อมูลใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.6.7 การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Multiplicative scatter correction, MSC)

วิธีการนี้ใช้เพื่อชดเชยการกระเจิงของแสงเช่นเดียวกับวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน แต่แตกต่างกันที่วิธี MSC จำเป็นต้องคำนวณสเปกตรัมอ้างอิงเพื่อใช้ในการปรับแต่งสเปกตรัม โดยสเปกตรัมอ้างอิงนี้เป็นค่าเฉลี่ยของทุก ๆ สเปกตรัมที่อยู่ในชุดข้อมูล ทำโดยการปรับโมเดลเชิงเส้นระหว่างสเปกตรัมอ้างอิงกับสเปกตรัมอื่นโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ในขณะที่วิธี SNV จะใช้เพียงสเปกตรัมของตัวเอง

ขั้นแรกคือการนำสเปกตรัมทั้งหมดมาเฉลี่ย จากนั้นนำค่าการดูดกลืนหรือการสะท้อนแสงที่แต่ละความยาวคลื่นมาพล็อตกับค่าการดูดกลืนหรือการสะท้อนแสงของสเปกตรัมเฉลี่ย จากนั้นทำการหามุสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้ตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย โดยหาค่าคงที่ที่มัลบออกจากสเปกตรัม และหาค่าคงที่อีกค่าหนึ่งมาหาค่าการดูดกลืนหรือการสะท้อนแสงของทุกจุด เพื่อปรับความชันของสเปกตรัม การหาค่าคงที่นี้คำนวณโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression) ดังสมการ 2.9 และ 2.10

$$x_{iw} = a_i + b_i \bar{x}_w \quad (2.9)$$

$$w = 1, \dots, p \quad (2.10)$$

เมื่อ \bar{x}_w คือ ค่า $\log(1/R)$ ของตัวอย่าง i ที่มีความยาวคลื่น w ของตัวอย่างที่มี p ความยาวคลื่น

x_{iw} คือ ค่าเฉลี่ย $\log(1/R)$ ที่มีความยาวคลื่น w ของตัวอย่างทั้งหมด

a_i และ b_i คือ ค่าคงที่สำหรับสมการความถดถอยของตัวอย่าง i

ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะมีค่า a_i และ b_i ที่แตกต่างกัน และนำมาคำนวณค่าสเปกตรัมใหม่ตามสมการ

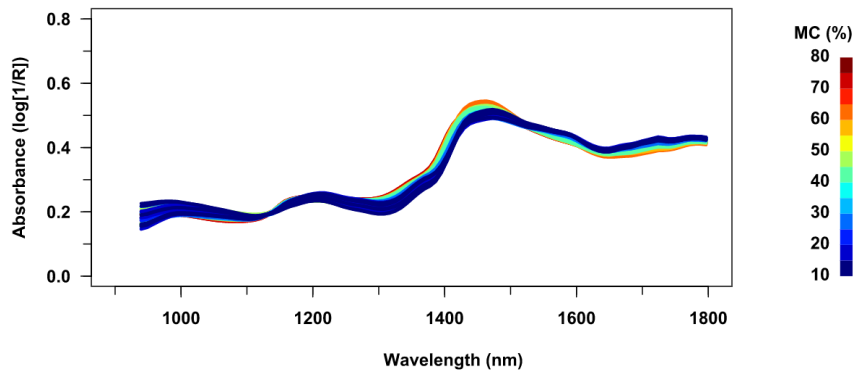
2.11

$$X_{i, MSC} = \frac{(x_{iw} - a_i)}{b_i} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.15 สเปกตรัมเมื่อถูกปรับแก้การกระเจิงแสงแบบทวีคูณ

(ที่มา : <https://guihf.github.io/RNIR/MSC.html>)

2.6.8 การปรับเป็นค่ามาตรฐาน (Normalization)

โดยทั่วไปวิธีนี้เป็นการปรับแก้กลุ่มของสเปกตรัมเพื่อให้จุดที่สำคัญของสเปกตรัมนั้นเด่นชัดขึ้น และกำจัดความแปรปรวนต่างๆ วิธีที่ง่ายที่สุดคือการนำค่าการดูดกลืนหรือการสะท้อนแสง ($\log(1/R)$) ของตัวอย่างที่มีความยาวคลื่นหนึ่ง ซึ่งกำหนดให้เป็นความยาวคลื่นอ้างอิง หรือค่าที่มากที่สุด มาลบออกจากค่า $\log(1/R)$ ที่ความยาวคลื่นอื่นในสเปกตรัมเส้นเดียวกัน ดังสมการ 2.12

$$A'_{\lambda_i} = A_{\lambda_i} - A_{\lambda^*} \quad (2.12)$$

เมื่อ A_{λ_i} คือ ค่าสเปกตรัมเริ่มต้นที่ความยาวคลื่น λ_i
 A_{λ^*} คือ ค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นอ้างอิง หรือค่า $\log(1/R)$ ที่มากที่สุด
 หาค่า $\log(1/R)$ อื่นๆ ทั้งหมด

สเปกตรัมใหม่ที่ได้หลังจากการปรับเป็นค่ามาตรฐานนี้จะมีข้อมูลส่วนต้นและท้ายหายไป m จุด

2.6.9 การปรับแก้เส้นฐาน Baseline corrections

เป็นการปรับแต่งความแตกต่างของระยะห่างฐานสเปกตรัม (spectral offset) แต่ละเส้นโดยการปรับแต่งข้อมูลให้อยู่บนจุดอ้างอิง โดยจุดอ้างอิงอาจเป็นจุดที่ต่ำที่สุดของสเปกตรัมหรืออาจสร้างเส้นตรงจากตัวแปร 2 ตัวที่ผู้ใช้กำหนดเอง สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ การปรับแต่งสเปกตรัมแบบ Baseline offset และ Linear baseline correction ซึ่งเป็นการปรับแก้ฐานของสเปกตรัมให้อยู่ในระนาบเดียวกัน โดยส่วนมากจะใช้ในงานที่ใช้สเปกโทรสโคปี โดยการปรับแต่งทั้งสองแบบสามารถใช้ร่วมกันหรือแยกกันก็ได้ ซึ่งในกรณีที่ใช้ร่วมกันจะใช้การปรับแต่งแบบ Baseline offset ก่อนแล้วจึงใช้การปรับแต่งแบบ Linear baseline correction

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามเนื้อหาไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.6.10 การปรับแต่งแบบ Baseline offset

การคำนวณเส้นสเปกตรัมแบบ Baseline offset ใช้สมการ 2.13

$$f(x) = x - \min\{X\} \quad (2.13)$$

เมื่อ x คือ ตัวแปร
 X คือ ตัวแปรที่เลือกทั้งหมดสำหรับตัวอย่างนี้

ค่าของจุดต่ำสุดในสเปกตรัมจะถูกลบออกจากตัวแปรทั้งหมด จะทำให้ค่าต่ำสุดถูกตั้งค่าเป็นศูนย์ และส่วนที่เหลือเป็นค่าบวก

2.6.11 การปรับแต่งแบบ Linear baseline correction

เป็นการปรับความชันของฐานสเปกตรัมให้เป็นแนวนอน ซึ่งจะช่วยให้เห็นตัวแปรสองตัวที่ควรกำหนดพื้นฐานใหม่ โดยตัวแปรสองตัวนี้จะถูกกำหนดให้เป็นศูนย์ แล้วตัวแปรที่เหลือถูกปรับตามเส้นตรงที่สร้างขึ้น ข้อเสนอแนะคือไม่ควรเลือกตัวแปรพื้นฐานที่มีแถบสเปกโทรสโกปีสำหรับการปรับแต่งวิธีนี้ และตรวจสอบว่าจุดต่ำสุดเกี่ยวข้องกับตัวแปรเดียวกันสำหรับตัวอย่างทั้งหมด

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาก Near Infrared Spectral

การวิเคราะห์ข้อมูลนี้มี 2 ขั้นตอนหลัก โดยขั้นตอนแรกคือการทำ Calibration ในการใช้ทำโมเดล เพื่อวัดค่าที่ต้องการตรวจสอบ ขั้นตอนที่สองคือการทำ Validation หรือการทดสอบความแม่นยำของสมการ Calibration ที่สร้างขึ้น เพื่อเลือกสมการที่ทำนายค่าได้แม่นยำมากที่สุด และความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แล้วจึงนำสมการ Calibration นั้นไปใช้ทำนายคุณสมบัติที่เราต้องการต่อไป

2.7.1 การทำ Calibration

ในการหาตัวแปรอิสระอาจมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่เรากำหนดนั้นสามารถหาได้ 2 แบบ ได้แก่ การเลือกช่วงความยาวคลื่นเฉพาะ และการวิเคราะห์ความยาวคลื่นทุกช่วง

2.7.1.1 การเลือกช่วงความยาวคลื่นเฉพาะ

วิธีนี้อาศัยเทคนิคในการคัดเลือกหลายแบบ เช่น เลือกจากความรู้ความชำนาญ หรือเอกสารอ้างอิงที่บ่งบอกช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามที่เราต้องการศึกษา เลือกจากการใช้เทคนิคทางสถิติ เช่น Multiple regression เป็นต้น การสร้างสมการ Calibration ที่ใช้หลักการเลือกช่วงความยาวคลื่นเฉพาะนี้ เช่น Simple linear regression, Multiple linear regression เป็นต้น

โดยการใช้เลือกช่วงความยาวคลื่นนี้สามารถเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย ไม่ว่าจะเกิดจากค่าข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า จำนวนตัวอย่างน้อย ทำให้มีตัวแปรอิสระมากเกินไปส่งผลให้ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.7.1.2 การวิเคราะห์ความยาวคลื่นทุกช่วง

วิธีนี้สามารถแก้ไขปัญหากล่าวมาข้างต้นได้ แต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องตัวแปรอิสระที่มากเกินไป ซึ่งวิธีที่จะช่วยแก้ไขปัญหานี้คือการใช้วิธีการทางสถิติในการจัดกลุ่มแยกประเภทตัวแปรที่เกี่ยวข้องกัน และสร้างตัวแปรใหม่จากตัวแปรเดิม โดยวิธีการทางสถิติที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ Principle Components Regression (PCR), Partial Least Square Regression (PLSR) เป็นต้น

2.7.2 การทำ Validation

จากที่กล่าวมาข้างต้น การทำ Validation เป็นการทดสอบความแม่นยำของสมการ Calibration ที่ได้ก่อนนำไปใช้ โดยวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับ ได้แก่ Full cross validation และ Test set หรือ Prediction testing

2.7.2.1 Full cross validation

เป็นการทดสอบความแม่นยำของสมการแบบภายใน โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบคือตัวอย่างเดียวกับชุดที่ใช้สร้างสมการ มีขั้นตอนเริ่มต้นโดยการตัดตัวอย่างตัวที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างที่เหลือมาสร้างสมการและนำสมการที่ได้นั้นมาประเมินค่าทางเคมีของตัวอย่างตัวที่ 1 หลังจากนั้นใส่ตัวอย่างตัวที่ 1 กลับไปยังชุดตัวอย่าง ตัดตัวอย่างตัวที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่าง จากนั้นทำซ้ำแบบเดียวกับตัวอย่างตัวที่ 1 และทำซ้ำจนครบทุกตัวอย่าง หาค่า Root Mean Square Error of Cross Validation (RMSEV) ดังสมการ 2.14

$$RMSEV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Y_{cv,i} - Y_i}{n-1}} \quad (2.14)$$

2.7.2.2 Test set หรือ Prediction testing

เป็นการทดสอบความแม่นยำของสมการแบบภายนอก โดยมีตัวอย่างชุดใหม่ที่จะนำมาวิเคราะห์ในการทดลองแบบเดียวกับชุดตัวอย่างมาตรฐาน เรียกชุดตัวอย่างใหม่นี้ว่า ชุดทดสอบ (Test set) ซึ่งวิธีการนี้ต้องระบุงปริมาณค่าทางเคมีที่ใช้ทดสอบจะต้องอยู่ในช่วงของตัวอย่างชุดมาตรฐาน ขั้นตอนคือนำสเปกตรัมที่ได้จากชุดทดสอบไปคำนวณค่าทางเคมี จากนั้นดูผลที่ได้ด้วยค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่า Bias หรือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธี NIR กับค่าจากวิธีอ้างอิง และค่า Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP) ถ้าค่า RMSEP มีค่าต่ำแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการทำนายสูง

$$Bias = \frac{\sum (X-Y)}{n} \quad (2.15)$$

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum (X-Y)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.8 การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองมีหลากหลายวิธี เช่น Multiple Linear Regression (MLR), Principal Component Regression (PCR), Partial Least Square Regression (PLS) เป็นต้น ในงานวิจัยเราใช้เพียง Partial Least Square Regression (PLS) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) และนิยมใช้กับเทคนิค NIR โดยการจัดกลุ่มลดจำนวนตัวแปร ซึ่งตัวแปรใหม่นั้นจะสร้างจากตัวแปรต้นเดิม (X) และนำตัวแปรตามมาสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า ค่าคะแนนปัจจัย (Factor Loading)

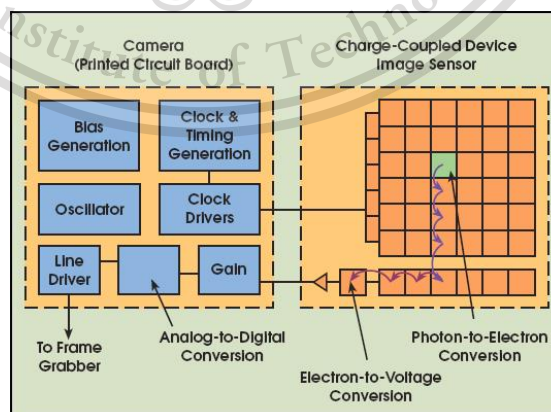
การทำ PLS เพื่อสร้างสมการ Calibration สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การสร้างสมการถดถอยแบบ PLS1 คือการสร้างสมการสำหรับทำนายค่าตัวแปรตาม 1 ตัวโดยใช้ 1 สมการ และการสร้างสมการถดถอยแบบ PLS2 คือ การสร้างสมการสำหรับทำนายค่าตัวแปรตามหลายตัวโดยใช้สมการเดียวกัน ซึ่งวิธี PLS1 จะทำนายได้ดีกว่าวิธี PLS2 (ธงชัย และปิติพร, 2555)

2.9 เซนเซอร์รับภาพ (Image sensor)

กล้องทุกตัวจะต้องมีเซนเซอร์รับภาพที่ทำหน้าที่รับแสง จากนั้นแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ในปัจจุบันมีเซนเซอร์รับภาพ 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ CCD (Charge Coupled Device) และ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

2.9.1 CCD (Charge Coupled Device)

CCD (Charge Coupled Device) เป็นเซ็นเซอร์แสงที่พัฒนาจากเทคโนโลยี IC ภายในเซ็นเซอร์ของ CCD นี้ มีแผงวงจรส่วนที่ทำหน้าที่รับแสงเพียงอย่างเดียว แล้วจึงออกไปพักที่ buffer ก่อนที่จะส่งต่อไปยัง converter เพื่อแปลงค่าสัญญาณแสงซึ่งเป็นสัญญาณ analog ให้เป็น digital อีกที ดังนั้นสัญญาณที่ออกจากตัวเซ็นเซอร์ CCD จึงเป็นสัญญาณแบบ analog อยู่ดังรูป 2.16



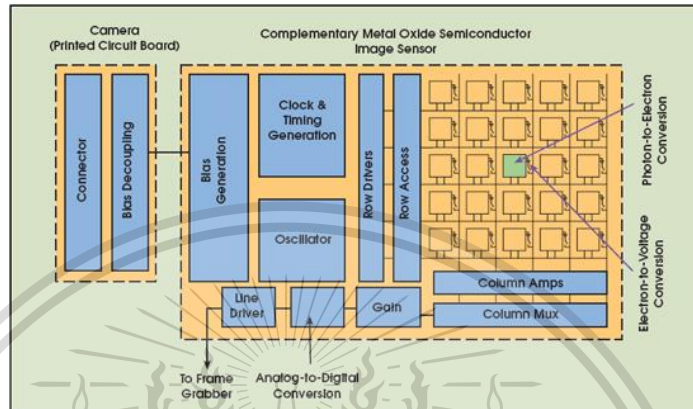
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษา **รูปที่ 2.16** หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ CCD นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามเผยแพร่ข้อมูลและอ้างถึงชื่อของเอกสารฉบับนี้ที่มีการนำไปใช้
(ที่มา : <https://www.ps-solutionandservice.com/article/299/>)

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

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

2.9.2 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) เป็นเซ็นเซอร์แสงที่พัฒนามาจากเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ ภายในจึงจะมีเซ็นเซอร์เล็กๆ จัดอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งภายในเซ็นเซอร์มีส่วนที่ทำหน้าที่รับแสง และส่วนที่ทำหน้าที่เป็น converter แปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณ digital อยู่ในเซ็นเซอร์เดียวกัน ทำให้สัญญาณที่ออกจากตัวเซ็นเซอร์ CMOS จึงเป็นสัญญาณ digital



รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ CMOS

(ที่มา : <https://www.ps-solutionandservice.com/article/299/>)

2.9.3 ความแตกต่างระหว่าง CCD และ CMOS

สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) CCD มีคุณภาพของภาพมากกว่าเซ็นเซอร์ CMOS เนื่องจากขนาดพื้นที่ที่เท่ากัน เซ็นเซอร์ CCD มีแต่วงจรส่วนรับแสงเพียงอย่างเดียว ขณะที่ CMOS จะมีทั้งส่วนที่รับแสงและส่วนที่แปลงค่าสัญญาณจาก analog เป็น digital ด้วย
- 2) ความเร็วในการทำงานของ CMOS จะมากกว่า CCD เพราะต้องเสียเวลาในการส่งสัญญาณไปแปลงค่าก่อน
- 3) CCD มี signal to noise ratio สูงกว่า จึงมี noise (สัญญาณรบกวนภาพ) น้อยกว่า CMOS
- 4) CCD มีช่วงในการการรับแสงมากกว่า คือ สามารถรับแสงได้ตั้งแต่แสงเหนือม่วง (Ultraviolet, UV) ไปจนถึงแสงใต้แดง (Infrared, IR)
- 5) CCD ใช้พลังงานมากกว่า CMOS
- 6) ราคา CCD ถูกกว่า CMOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

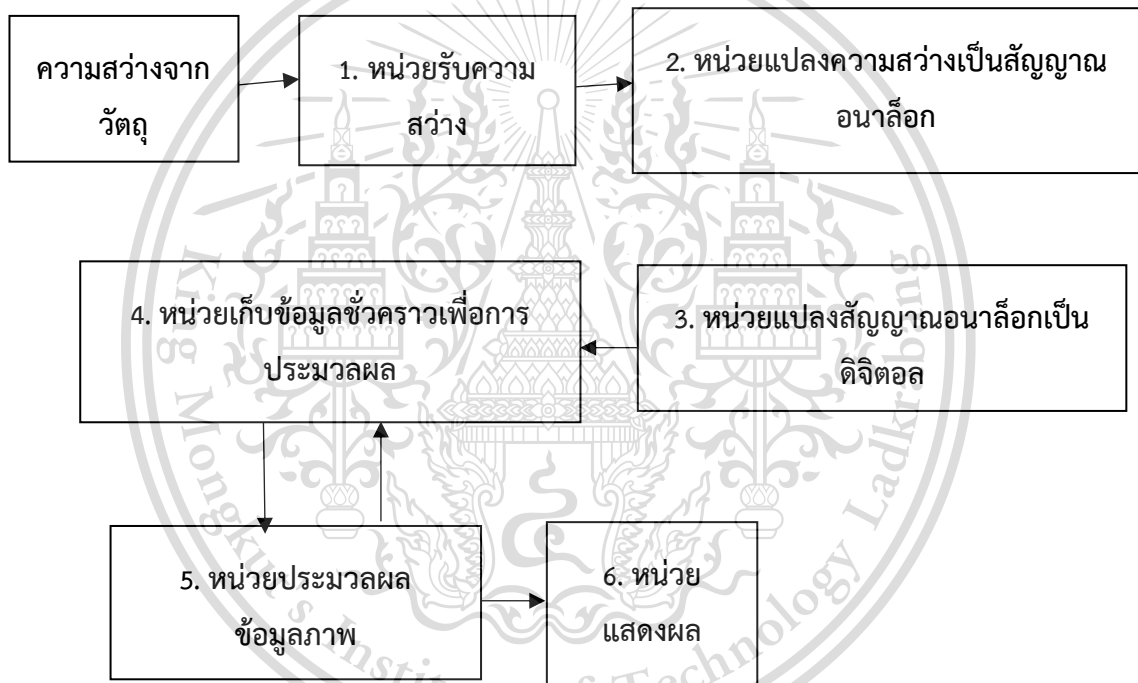
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

2.10 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

เป็นการวิเคราะห์และคำนวณภาพด้วยคอมพิวเตอร์ โดยประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง หรือภาพวิดีโอ และยังรวมถึงสัญญาณ 2 มิติอื่นๆ เพื่อปรับปรุงภาพให้สามารถตีความได้ง่ายขึ้น จัดการข้อมูลภาพสำหรับการเก็บและส่งภาพ วิเคราะห์รูปภาพอัตโนมัติ เป็นต้น มีลำดับการประมวลผลภาพและนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์เชิงปริมาณ เช่น ขนาด จากนั้นนำข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้มาวิเคราะห์และสร้างเป็นระบบ เพื่อนำไปใช้ในประโยชน์ด้านต่างๆต่อไป เช่น การวินิจฉัยโรค การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในโรงงาน การคัดแยกคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร

2.10.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของการประมวลผลภาพ มีดังนี้



รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของการประมวลผลภาพ

1) หน่วยรับความสว่าง

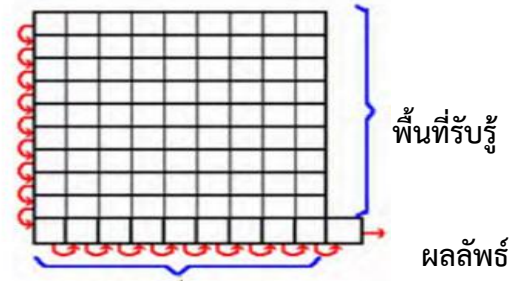
เลนส์หรือกระจกสำหรับรับแสงสว่างที่ผ่านไปยังฉากให้เกิดภาพ เช่น หน่วยรับความสว่างของกล้อง CCD หน่วยรับความสว่างของเครื่องสแกนเนอร์

2) หน่วยแปลงความสว่างเป็นสัญญาณอนาล็อก

บริเวณฉากรับภาพของหน่วยรับความสว่างจะมีเซนเซอร์สำหรับรับแสงสว่างและแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก มักนิยมใช้ CCD ซึ่งมีโครงสร้างดังภาพ

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

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



รีจิสเตอร์เลื่อนแนวนอน

รูปที่ 2.19 โครงสร้าง CCD

3) หน่วยแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

เมื่อมีการแปลงสัญญาณเป็นอนาล็อกแล้วจะมีการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลหรือตัวเลข เพื่อความสะดวกในการเก็บและประมวลผล

4) หน่วยเก็บข้อมูลชั่วคราวเพื่อการประมวลผล

มักจะแบ่งพื้นที่หน่วยความจำให้เก็บภาพได้ตั้งแต่ 2 เฟรมขึ้นไป เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิง 1 เฟรม และเพื่อการประมวลผล 1 เฟรม

5) หน่วยประมวลผลข้อมูลภาพ

เป็นหน่วยที่นำข้อมูลจากหน่วยเก็บข้อมูลมาคำนวณแล้วนำกลับไปเก็บไว้

6) หน่วยแสดงผล

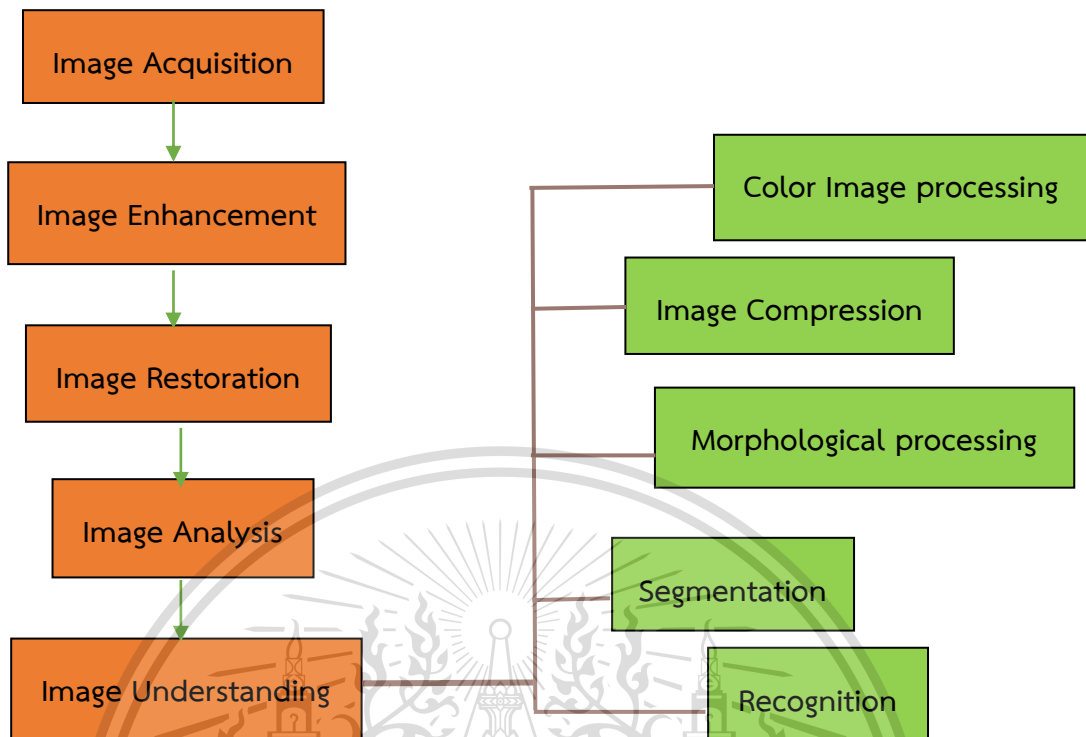
เป็นจอภาพที่แสดงข้อมูลในรูปของภาพ ตัวเลข หรือตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.10.2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ



รูปที่ 2.20 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

Image Acquisition เป็นการนำภาพเข้าระบบโดยอาจมีการประมวลผลก่อน (Preprocessing) เช่น การปรับขนาด การลดสัญญาณรบกวน

Image Enhancement เป็นการปรับปรุงภาพ เช่น การทำให้รายละเอียดชัดเด่นขึ้น

Image Restoration เป็นการทำให้ภาพคืนสู่สภาพเดิม หากไม่สามารถวิเคราะห์ผลของภาพได้ หรือปรับปรุงภาพให้เหมาะแก่การมองเห็น

Image Analysis เป็นการวิเคราะห์ภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการในการแปลผล

Image Understanding แบ่งได้ดังนี้ Color Image processing (ประมวลผลภาพสี ใช้สำหรับแยกสิ่งที่สนใจ), Image Compression (บีบอัดข้อมูลให้มีขนาดเล็กลง), Morphological processing (ประมวลโครงสร้างภาพ การแยกส่วนเพื่อแสดงรูปร่าง), Segmentation (การแบ่งส่วนของภาพ) และ Recognition (การรู้จำรูปแบบของภาพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

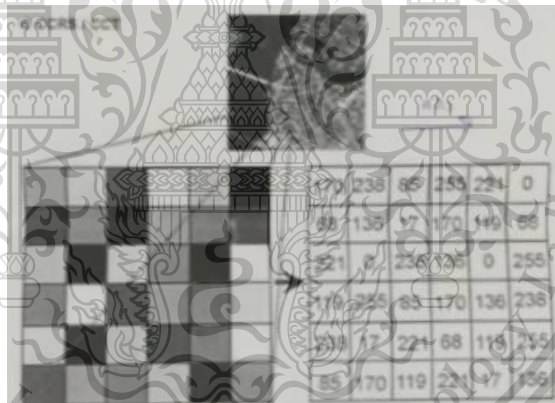
2.10.3 การแสดงภาพในเมทริกซ์

$$f(M, N) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & \cdots & f(0, N-1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1, 0) & \cdots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

แสดงเป็นฟังก์ชันสองมิติ $f(x, y)$ โดย x และ y เป็นพิกัดของภาพ และมีแอมพลิจูด f ที่พิกัดนั้นๆ โดยค่า f นี้จะแสดงถึงค่าความเข้มแสง (Intensity) ที่ตำแหน่งนั้นๆ และเมื่อพิกัด x, y และแอมพลิจูด f เป็นค่าจำกัด เราจึงเรียกว่าเป็นภาพดิจิทัล (Digital image) โดยด้านขวาของสมการเป็นการบอกภาพดิจิทัล ซึ่งทุกอย่างองค์ประกอบของเมทริกซ์ เราเรียกว่าเป็นองค์ประกอบของภาพ หรือ “พิกเซล”

2.11 ภาพดิจิทัล (Digital Image)

แสดงในรูปแบบของชุดตัวเลข ในการแปลงค่าจากภาพถ่ายเป็นตัวเลขนั้นทำโดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่เล็กๆที่เรียกว่า “พิกเซล” หรือองค์ประกอบของภาพ ในแต่ละพิกเซลจะมีค่าที่เป็นตัวเลขหรือชุดตัวเลขซึ่งถูกบันทึกจากอุปกรณ์ถ่ายภาพที่สามารถอธิบายคุณลักษณะของแต่ละพิกเซล เช่น ความสว่าง (ความเข้มของแสง) สี เป็นต้น ตัวเลขนั้นจะถูกจัดเรียงอยู่ในแถวและหลักที่สัมพันธ์กับตำแหน่งแนวตั้งและแนวนอนของแต่ละพิกเซลในภาพถ่าย ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างภาพดิจิทัล

(ที่มา : รวิภัทร, 2561)

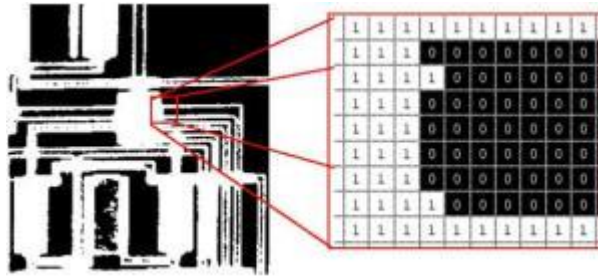
2.12 รูปแบบของภาพ (Types of image)

1) Binary image หรือภาพขาวดำ ใช้ขนาดการเก็บข้อมูล 1 บิตต่อพิกเซล จะให้ค่าสี 2 ค่า ได้แก่ 0 คือสีดำและ 1 คือสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

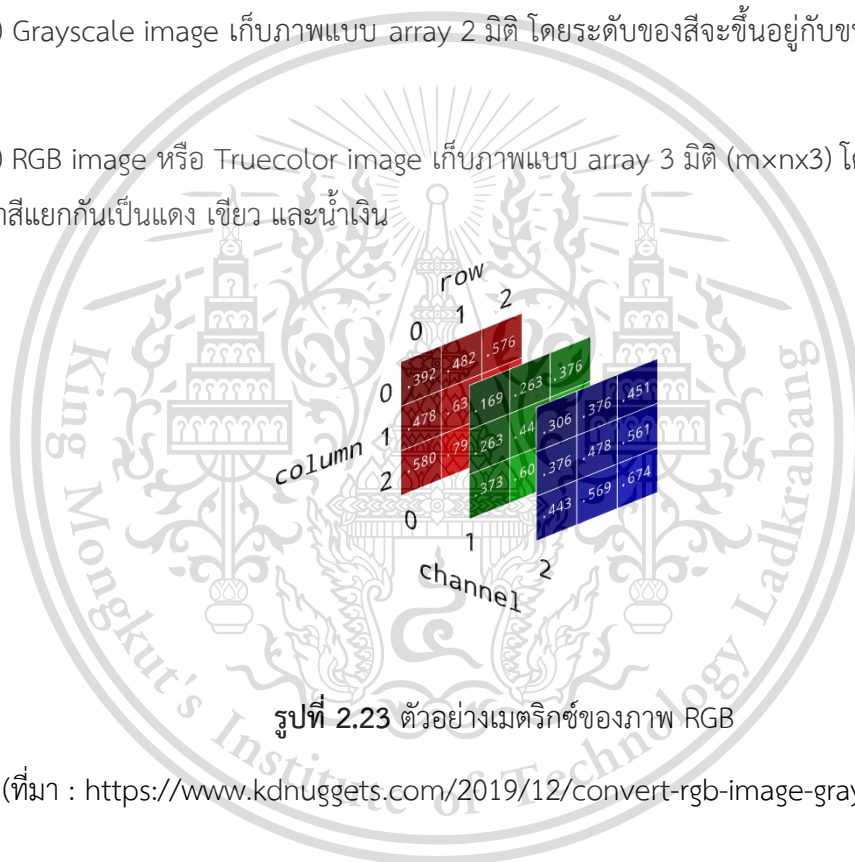


รูปที่ 2.22 ตัวอย่างภาพ Binary

(ที่มา : <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/>)

2) Grayscale image เก็บภาพแบบ array 2 มิติ โดยระดับของสีจะขึ้นอยู่กับขนาดบิตที่ใช้เก็บค่าสี

3) RGB image หรือ Truecolor image เก็บภาพแบบ array 3 มิติ ($m \times n \times 3$) โดยมิติตัวสุดท้ายจะเก็บค่าสีแยกกันเป็นแดง เขียว และน้ำเงิน



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างเมตริกซ์ของภาพ RGB

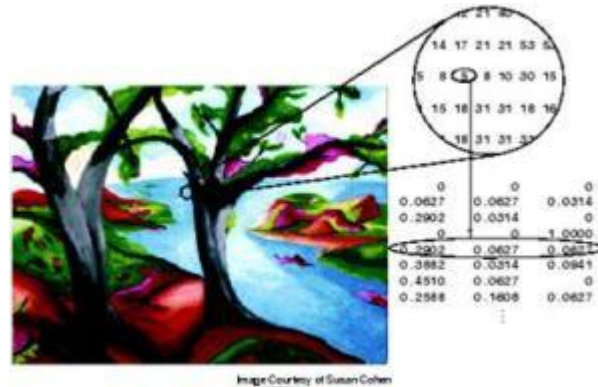
(ที่มา : <https://www.kdnuggets.com/2019/12/convert-rgb-image-grayscale.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4) Indexed image เก็บค่าสีเป็น indexed และแต่ละช่วง array จะเก็บตำแหน่งสีใน indexed นั้นๆไว้

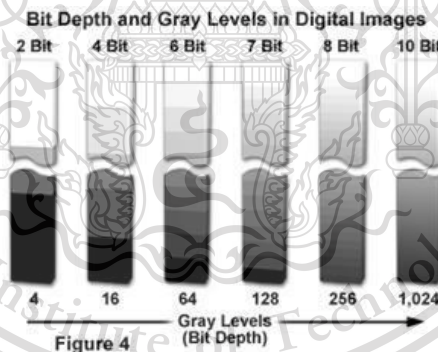


รูปที่ 2.24 ตัวอย่างภาพ indexed

(ที่มา : <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/>)

2.13 ระบบสี (Color model)

1) Grayscale จะแสดงความเข้มของสี (Intensity) ในระดับต่างๆ โดยสีต่ำจะมีความเข้มสีน้อย และสีขาวจะมีความเข้มสีมาก จำนวนระดับสีขึ้นอยู่กับขนาดบิต โดยทั่วไปจะเก็บข้อมูลขนาด 8 บิตหรือ 1 ไบต์ นั่นคือ 2^8 หรือ 256 เฉดสี



รูปที่ 2.25 ระดับสีของ Grayscale ตามขนาดข้อมูลที่ใช้เก็บ

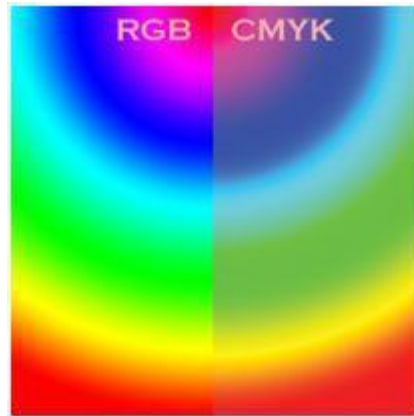
(ที่มา : <http://learn.hamamatsu.com/articles/microscopyimaging.html>)

2) RGB (Red, Green, Blue) หรือ “สีแสง” เป็นระบบสีที่ประกอบด้วย 3 สีหลัก ได้แก่ แดง เขียว และน้ำเงิน เป็นระบบสีแบบ additive นั่นคือ ถ้ามีครบทุกสีจะเห็นเป็นสีขาว และถ้าไม่มีสีใดเลย จะเห็นเป็นสีดำ

3) CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key) เป็นระบบสีที่เรารู้จักกันว่า “สีวัดดู” เหมาะสำหรับการเอกซเรย์เป็นงานพิมพ์ต่างๆ งานพิมพ์ต่างๆ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 2.26 เปรียบเทียบสีแสง (RGB) และสีวัตถุ (CMYK)

(ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Color_space)

4) HSV หรือ HSB (Hue, Saturation, Value/ Brightness) เป็นระบบสีที่ใกล้เคียงกับความคิดของมนุษย์กว่าระบบสี RGB โดย Hue คือสีของภาพ Saturation คือความอิ่มตัวของสี ถ้ามีค่ามาก ภาพที่ได้จะมีความสดใสน้อยจนเป็นภาพ Grayscale และ Value/ Brightness คือความสว่างของภาพ ถ้ามีค่ามาก ภาพที่ได้จะสว่างมาก



รูปที่ 2.27 โมเดลระบบสี HSV แบบโคน (Cone)

(ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Color_space)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.14.1 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบออนไลน์และออฟไลน์ (On-line and Off-line NIR Spectroscopy for Measuring Total Soluble Solids of Durian)

ศึกษาการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบออนไลน์และออฟไลน์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ทั้งแบบออนไลน์และออฟไลน์ โดยใช้ตัวอย่างโดยทุเรียนพันธุ์หมอนทอง 269 ตัวอย่าง เก็บข้อมูล สเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร โดยการสร้างแบบจำลอง ใช้ช่วงความยาวคลื่น เนียร์อินฟราเรดระหว่าง 800-2,500 นาโนเมตร สำหรับการสแกนแบบออนไลน์จะใช้ความยาวช่วงคลื่น เนียร์อินฟราเรดระหว่าง 800-1,000 นาโนเมตร และการสแกนแบบออฟไลน์จะใช้ช่วงความยาวคลื่น เนียร์อินฟราเรดระหว่าง 800-2,500 นาโนเมตร การสแกนแบบออนไลน์ทุเรียนจะถูกส่งมาทาง สายพานลำเลียง

การสแกนแบบออฟไลน์โดยใช้เครื่อง FT-NIR Spectrometer ทำการวัดในรูปแบบดูดซับคลื่น หลังจากสแกนแบบออนไลน์และออฟไลน์ สำหรับการสแกนโดยใช้เครื่อง AvaSpec-ULS2048 ทำการ วัดแบบดูดซับคลื่น พบว่าจากการสร้างแบบจำลองแบบออนไลน์ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination, R^2) เท่ากับ 0.70 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลัง สองของการทำนาย (Root Mean Squared Error of Prediction; RMSEP) เท่ากับ 4.0% Brix ค่า ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เท่ากับ 0.4% Brix และ อัตราส่วนของประสิทธิภาพต่อค่าความคลาดเคลื่อน กำลังสองเฉลี่ย (ratio of performance to inter-quartile range; RPIQ) เท่ากับ 2.18 และผลที่ได้ จากการสร้างแบบจำลองแบบออฟไลน์ คือ ค่า R^2 เท่ากับ 0.81 ค่า RPIQ เท่ากับ 3.90 RMSEP เท่ากับ 3.27 % Brix และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เท่ากับ -0.529 % Brix

2.14.2 เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ในการพัฒนาระบบติดตามความหวานของอ้อยแบบ ออนไลน์บนสายพานลำเลียง (Near-Infrared Technique in Developing an Online Sugar Content Monitoring System of Sugarcane on The Elevator Conveyor)

ศึกษาเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ในการพัฒนาระบบติดตามความหวานของอ้อยแบบออนไลน์บน สายพานลำเลียง เพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ในการพัฒนาระบบ ติดตามความหวานอ้อยที่กำลังถูกลำเลียงอยู่บนชุดลำเลียง โดยใช้อ้อยพันธุ์ (พันธุ์ลำปาง 92-11 และ ขอนแก่น 3) โดยนำอ้อยที่รวบรวมได้ 50 กอ มาใช้ในการสร้างและตรวจสอบแบบจำลองในการศึกษา นี้ ต้นอ้อยในแต่ละกอ ถูกสับเป็นแท่งยาวประมาณ 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดเดียวกับที่เครื่องเก็บเกี่ยว อ้อยสับ ดังนั้นจึงสับ 50 กอ และจัดกลุ่มเป็น 200 กลุ่มแท่งอ้อย โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ใน

การวัดความหวานอ้อยแบบออนไลน์ พบว่าสายพันธุ์อ้อยที่แตกต่างกันส่งผลต่อการทำนายความหวานของอ้อย จึงเสนอการสร้างแบบจำลองชนิด global ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองจากข้อมูลทั้งสองสายพันธุ์ขึ้น และสามารถให้ผลการทำนายความหวานอ้อยเป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นจึงนำเสนอระบบต้นแบบในการวัดความหวานของอ้อยแบบออนไลน์บนสายพานลำเลียงโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ และทำการประเมินสมรรถนะแบบจำลองที่ใช้ทำนายตัวอย่างอ้อยขณะกำลังถูกลำเลียง ระบบต้นแบบประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ชุดลำเลียงอ้อยซึ่งจำลองการทำงานในสภาวะจริงของระบบลำเลียงของรถตัดอ้อย และระบบการตรวจวัดสัญญาณเชิงแสง (สเปกตรัม) แบบจำลองถูกพัฒนาด้วยสมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการทำนายเท่ากับ 78.5% และ 0.30 องศาปริกซ์ตามลำดับ

2.14.3 Short-Wavelength Near-Infrared Spectra of Sucrose, Glucose, and Fructose with Respect to Sugar Concentration and Temperature

ศึกษาเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ของซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นและอุณหภูมิของน้ำตาล เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นของน้ำตาล โดยใช้ความยาวคลื่นเนียร์อินฟราเรด (SW-NIR) ที่ความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ในการตรวจสอบ พบว่าการดูดซับสเปกตรัม ของน้ำและน้ำตาล (ซูโครส D-glucose และ D-fructose) ในสารละลายน้ำที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน พบแถบการดูดซับที่ความยาวคลื่น 970 นาโนเมตร และเมื่อใช้อนุพันธ์อันดับสองของการดูดซับสเปกตรัมของการสั่นสะเทือนของ OH พบว่าความละเอียดสูงขึ้นเมื่อใช้อนุพันธ์อันดับสองเมื่อเทียบกับการดูดซับ SW-NIR ของน้ำที่ 970 นาโนเมตร สามารถแก้ไขได้เป็นจุดสูงสุดของการดูดซับที่ 960 นาโนเมตร และจุดดูดซับเล็กน้อยอยู่ที่ 840 นาโนเมตร (OH Combination band) และที่ 772 และ 740 นาโนเมตร (two bands for the third overtone of OH stretching vibrations) เมื่อใช้ช่วงอุณหภูมิ 15-50 องศาเซลเซียส พบว่าการดูดซับสเปกตรัมของการสั่นสะเทือนของ OH อยู่ที่ความยาวคลื่น 750, 840, 960 และ 985 นาโนเมตร

2.14.4 On-line analysis of intact olive fruits by vis-NIR spectroscopy: Optimisation of the acquisition parameters

ศึกษาการวิเคราะห์ผลมะกอกแบบออนไลน์ด้วยสเปกโทรสโกปี Vis-NIR เพื่อตรวจสอบศักยภาพของ NIRS สำหรับการวิเคราะห์ผลมะกอกในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพแบบออนไลน์ โดยปรับพารามิเตอร์หลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับสเปกตรัม เช่น ระยะโฟกัสและเวลา การวัดสเปกตรัมแบบออนไลน์นี้ ได้นำผลมะกอกที่สมบูรณ์มาวัดด้วยสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 380-1690 นาโนเมตร โดยใช้สเปกตรัมไดโอดอาร์เรย์ที่อยู่บนสายพานลำเลียง ใช้หลักเกณฑ์ทางสถิติในการประเมินความสามารถ โดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของค่า (1/R) และค่าเฉลี่ยรากกำลังสอง (RMS) ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าสำหรับการควบคุมผลมะกอกในการเคลื่อนที่แบบออนไลน์ มีระยะโฟกัส เท่ากับ 13 มิลลิเมตร และเวลา 5 วินาที ซึ่งเป็นระยะโฟกัสและเวลาที่เหมาะสมกับการทำงานมากที่สุด

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

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

2.14.5 The Application of Spectroscopic Methods to Predict Sugarcane Quality Based on Stalk Cross-sectional Scanning

ศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีสเปกโตรสโกปีในการทำนายคุณภาพอ้อย เพื่อประเมินความสามารถของเทคนิคสเปกโตรสโกปีว่าเป็นเครื่องมือที่รวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่างในการทำนายคุณภาพของอ้อยในแปลง ใช้ทั้ง Vis และ NIR แบบมือถือ ในช่วงความยาวคลื่น (350-1075 นาโนเมตร) และแบบเต็มช่วง (350-2500 นาโนเมตร) การตรวจสอบคุณภาพของอ้อยโดยการสแกนพื้นผิวหน้าตัดของลำต้น โดยใช้ลำต้นจำนวน 100 ลำต้น และแต่ละลำต้นจะถูกตัดออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง หลังจากนั้นใช้วิธี Partial Least Squares (PLS) เพื่อเปรียบเทียบสเปกตรัม และพัฒนาแบบจำลองการเปรียบเทียบคุณภาพอ้อย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์โดยรวมของการกำหนด (R^2) สำหรับ Brix, Pol, CCS และ fiber เท่ากับ 0.68, 0.71, 0.70 และ 0.56 ตามลำดับ โดย R^2 ที่สอดคล้องกันสำหรับ Brix, Pol, CCS และ fiber ตามที่ FRs ทำนายไว้คือ 0.76, 0.76, 0.81 และ 0.68 ตามลำดับ และจากการใช้ Vis / NIR ที่ตำแหน่งบนสุดสามารถทำนาย R^2 เท่ากับ 0.89 ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการทำนายค่า CCS ซึ่งการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า สเปกโตรสโกปีตามการสแกนหน้าตัดก้านเป็นวิธีที่เป็นไปได้ในการทำแผนที่และทำนายคุณภาพอ้อยในแปลง

2.14.6 Prediction and classification of sugar content of sugarcane based on skin scanning using visible and shortwave near infrared

ศึกษาการทำนายและการจำแนกปริมาณน้ำตาลในอ้อยโดยสแกนที่บริเวณผิว โดยใช้คลื่นสั้นที่มองเห็นได้และคลื่นสั้นใกล้อินฟราเรด เพื่อเป็นทางเลือกและลดต้นทุนในการทำนายปริมาณน้ำตาลด้วยการสแกนบริเวณผิว โดยใช้ตัวอย่างลำต้น 291 ตัวอย่าง แทนพันธุ์อ้อยเชิงพาณิชย์ที่แตกต่างกันสามสายพันธุ์ แต่ละตัวอย่างจะถูกสแกน 4 จุดเพื่อให้ได้ข้อมูลสเปกตรัม ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่า Brix (ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้) โดยใช้แบบจำลองกำลังสองน้อยที่สุด (PLS) ได้รับการพัฒนาให้นำไปใช้กับตัวอย่างการสอบเทียบและการคาดคะเน การใช้ข้อมูลสเปกตรัมการสะท้อนแบบจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังสอง (R^2) เท่ากับ 0.91 และข้อผิดพลาดกำลังสองของการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 0.721 Brix เครือข่ายประสาทเทียม (ANN) ถูกนำไปใช้เพื่อจำแนกข้อมูลข้อมูลสเปกตรัมออกเป็น 5 ประเภท ซึ่ง ANN ให้ประสิทธิภาพการจำแนกที่ดีตั้งแต่ 50-100% และมีความแม่นยำ 83.1% ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เทคนิคคลื่นสั้นที่มองเห็นได้และคลื่นสั้นใกล้อินฟราเรด เพื่อทำนายความหวานของอ้อย เป็นองศา Brix ด้วยวิธีการสแกนบริเวณผิวในแปลง

2.14.7 Prediction of Sugarcane Quality Parameters Using Visible Shortwave Near Infrared Spectroradiometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษา
ไม่ว่ากรณีศึกษาการทำนายคุณภาพอ้อยด้วยวิธีสเปกโตรสโกปี สแกนกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ข้อมูลสเปกตรัม

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

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

ของ 125 ข้อต่อ โดยใช้เครื่องวัดรังสีสเปกตรัมคลื่นเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และใช้การแก้ไขข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน ปริมาณน้ำหนักและปริมาณเส้นใย และความชื้นพบว่าสัมพันธ์กับการตัดสินใจ เท่ากับ 0.88, 0.93 และ 0.90 ตามลำดับ ดังนั้น จึงสามารถใช้ในการทำนายคุณภาพอ้อยได้

2.14.8 Image Measurement System for Estimating Serum Vitamin A Level of Beef Cattle Using a Monochrome Camera

ศึกษาระบบการวัดภาพสำหรับการประมาณระดับวิตามินเอของโคเนื้อในซีรัมโดยใช้กล้องถ่ายภาพขาวดำ เพื่อพัฒนาวิธีการเลือกในการสุ่มตัวอย่างเลือดสำหรับการตรวจวัดวิตามินเอและการสะท้อนของรูม่านตา ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยใช้กล้องถ่ายภาพแบบขาวดำ กล้องถ่ายภาพแบบขาวดำนี้ถูกนำไปใช้กับดวงตาของโคโดยตรง เพื่อให้ได้ภาพการสะท้อนของรูม่านตาของโคที่ถูกข่มจากภาพรูม่านตาจะถูกดึงข้อมูลออกมาจากกล้องถ่ายภาพขาวดำและค่าเฉลี่ยของระดับสีเทาจะถูกวัดโดยซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับสีเทาเฉลี่ยและระดับ VA ในซีรัมแม้ว่าการทดลองเหล่านี้จะไม่สามารถหาความสัมพันธ์เชิงเส้นได้ แต่ก็มีความเป็นไปได้ที่สำหรับการประมาณเส้นโค้งกำลังสอง วิธีนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการวัดวิตามินเอแบบไม่ทำลาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. การศึกษาเบื้องต้น

- พันธุ์อ้อยที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ขอนแก่น 3

- เทคนิค Near Infrared Spectroscopy

- หลักการกล้องโมโนโครม

- Bandpass Filter NIR

2. วางแผนการทดลอง

3. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

- กล้องโมโนโครม (ace acA1300-60gmNIR, Basler)

- Bandpass Filter NIR (Bandpass filter 760nm, CWL 760±2 nm, FWHM 10±2 nm, Thorlabs, United States)

- Bandpass Filter NIR (Bandpass filter 910nm, CWL 910±2 nm, FWHM 10±2 nm, Thorlabs, United States)

- เครื่อง Spectrometer (AvaSpec-2048-USB2, Avantes BV, Netherlands)

- แหล่งกำเนิดแสงหลอด Tungsten halogen (50W, Aluline Halogen 12 VR111, Royal Philips, Holland)

- แหล่งกำเนิดแสงหลอด Tungsten halogen (100W, Aluline Halogen 12 VR111)

- สายในแก้วนำแสง (Optic fibre, FCR-7IR200-2-BX, Avantes, Netherlands)

- เครื่องค้นระบบไฮดรอลิก

- เครื่อง Refractometer (Pocket PAL-1, ATAGO, Japan)

- อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3

4. ขั้นตอนการทดลอง

- แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ การทดลองหาระยะและความสูงของของเหลวอ้างอิง

และทดสอบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง การทดลองเบื้องต้น การทดลองครั้งที่หนึ่ง การทดลองครั้งที่สอง และการทดสอบความแม่นยำที่ได้จากการทดลองครั้งที่สอง

- นำอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 มาตัดเป็นท่อน โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ โคน กลาง และยอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- วัดผลการตอบสนองด้วย Near Infrared Spectrometer (AvaSpec-2048-USB2, Avantes BV, Netherlands)

- ถ่ายภาพด้วยกล้องโมโนโครม(ace acA1300-60gmNIR, Basler) ที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 760 nm และ 910 nm

- นำท่อนอ้อยที่ผ่านการสแกนสเปกตรัมและถ่ายภาพด้วยกล้องแล้วไปคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นระบบไฮดรอลิก

- วัดความหวานอ้อยด้วยเครื่อง Refractometer (Pocket PAL-1, ATAGO, Japan)

5. สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน

3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง

1. นำตัวอย่างอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 จังหวัดกาญจนบุรี มาเตรียม

2. นำอ้อยแต่ละลำแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ โคน กลาง ยอด

3. ทำความสะอาดไซ (Wax) บนท่อนอ้อยออกเพื่อลดอิทธิพลต่อแสง

4. นำตัวอย่างท่อนอ้อยวางในกล่องทึบเพื่อทำการทดลอง 3 ส่วน ได้แก่ การทดลองหาระยะอ้างอิง กระบวนการถ่ายภาพโดยกล้องโมโนโครม และการวัดผลการตอบสนองด้วย Near Infrared Spectrometer

5. นำตัวอย่างท่อนอ้อยที่ผ่านการทดลอง 3 ส่วนแรกแล้ว มาคั้นด้วยเครื่องคั้นระบบไฮดรอลิกเพื่อทำการทดลองวัดค่า Soluble Solid Content ($^{\circ}$ Brix)

3.3 การทดลองเพื่อหาระยะที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) กับผิวตัวอย่างอ้อยที่น้อยที่สุด เพื่อใช้ในการทดลองและพัฒนาสำหรับระบบสายพานออนไลน์

ในการทดลองเกี่ยวกับ NIR นี้จำเป็นต้องพิจารณาระยะห่าง (Focal Distance) ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับผิวตัวอย่าง เนื่องจากระยะห่างที่แตกต่างกัน มีผลต่อการตอบสนองต่อแสง NIR โดยปริมาณแสงที่สะท้อนจากตัวอย่างกลับมายังสเปกโตรมิเตอร์จะแตกต่างกัน (Salguero-Chaparro, 2012) เราจึงทำการทดลองโดยนำตัวอย่างท่อนอ้อย 1 ท่อนวางที่แทนวางตัวอย่างและเปิดไฟจากแหล่งกำเนิดแสงทั้งหมด (จากหลอดไฟ Tungsten Halogen 100 W จำนวน 2 หลอดและจากสเปกโตรมิเตอร์) จากนั้นตั้งระยะห่างระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับผิวท่อนอ้อยที่ระยะ 2.5 cm แล้วสแกนสเปกตรัมของท่อนอ้อยจำนวน 3 ครั้งเพื่อนำสเปกตรัมมาเฉลี่ย จะได้สเปกตรัม 1 ข้อมูล จากนั้นเพิ่มระยะครึ่งละ 0.5 cm และทำซ้ำ ณ สภาวะเดียวกัน จนกระทั่งระยะ 5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.4 การทดสอบฟิลเตอร์ก่อนนำมาทำการทดลอง

โดยทั่วไปกล้องโมโนโครม (ace acA1300-60gmNIR, Basler) สามารถตอบสนองต่อแสงได้ตั้งแต่ความยาวคลื่น 400 – 1100 nm แต่สำหรับการทำงานนายค่าความหวานของอ้อยด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ NIR นั้น ภาพที่ได้จะต้องเป็นภาพที่ตอบสนองต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับฟิลเตอร์แต่ละตัวที่นำมาติดตั้งหน้าเลนส์ ซึ่งได้แก่ ฟิลเตอร์ 760 nm จะยอมให้แสงผ่านในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 750-770 nm (Bandpass filter 760nm, CWL 760±2 nm, FWHM 10±2 nm, Thorlabs. United States) และฟิลเตอร์ 910 nm จะยอมให้แสงผ่านในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 900-920 nm (Bandpass filter 910nm, CWL 910±2 nm, FWHM 10±2 nm, Thorlabs. United States) เราจึงทำการทดลองวัดความสามารถในการตอบสนองต่อแสงของความยาวคลื่นช่วง NIR ของฟิลเตอร์ทั้งสองตัว โดยนำฟิลเตอร์มาติดตั้งกับชุดทดสอบฟิลเตอร์ (Filter Kit) ที่บริเวณหน้าเลนส์ใยแก้วนำแสง จากนั้นวัดการตอบสนองต่อแสง (Transmittance) ที่ส่องผ่านฟิลเตอร์

3.5 กระบวนการถ่ายภาพโดยกล้องโมโนโครม

โดยทั่วไปกล้องโมโนโครมจะมีเซนเซอร์อยู่ 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่ CCD และ CMOS ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้กล้องที่มีเซนเซอร์ชนิด CMOS เนื่องจากเซนเซอร์ชนิดนี้มีราคาต่ำถึงปานกลาง ในขณะที่เซนเซอร์ชนิด CCD มีราคาสูง ความเร็วในการอ่านของเซนเซอร์ CMOS สูงกว่า กินไฟน้อยกว่า โดยกล้องโมโนโครมนั้นจะสามารถยอมให้แสงผ่านได้ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 1000 nm ภาพถ่ายที่ได้จะเป็นภาพที่มีการสะท้อนแสงตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่น 400 – 1000 nm ตามระดับความเข้มแสงที่สะท้อนมายังเซนเซอร์ และแปลงเป็นค่าดิจิทัลบนแต่ละจุดภาพหรือองค์ประกอบภาพ (Pixel)

การเตรียมกล้องสำหรับถ่ายภาพมีขั้นตอนคือ นำฟิลเตอร์ NIR ที่ยอมให้แสงเฉพาะช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ที่ 760 nm และ 910 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อยผ่านได้ ติดตั้งหน้าเลนส์ ภาพที่ได้จะเป็นภาพที่มีการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm และ 910 nm

การถ่ายภาพตัวอย่างอ้อยทำโดยนำตัวอย่างอ้อยมาวางในกล่องทึบแสงที่มีความกว้าง 80 cm ความยาว 90 cm และความสูง 85 cm ติดตั้งกล้องสูงจากตัวอย่างเป็นระยะ 5 cm สำหรับตัวอย่างทึบแสงนั้น มีแหล่งกำเนิดแสง Tungsten halogen (50W, Aluline Halogen 12 VR111, Royal Philips, Holland) และเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสง Tungsten halogen (100W, Aluline Halogen 12 VR111) ในการทดลองครั้งที่หนึ่งเป็นต้นไปเพื่อเพิ่มกำลังแสง ทำมุมฉายกับตัวอย่าง 45° จากนั้นนำสเปกซิออลมาวางกับท่อนอ้อยเพื่อใช้ในการปรับรูรับแสงของกล้อง และถ่ายภาพด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ตัวที่หนึ่ง (Bandpass filter 760 nm) ซึ่งเป็นภาพการตอบสนองของแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 760 nm และถ่ายภาพอีกครั้งด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ตัวที่สอง (Bandpass filter 910

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถนำไปใช้ซ้ำได้โดยไม่ต้องขออนุญาตจากสถาบันฯ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากเอกสารนี้โดยไม่ผ่านการคัดค้านั้น อาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดได้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

nm) ซึ่งเป็นภาพการตอบสนองของแสงในช่วงความยาวคลื่น 910 nm จากนั้นวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบภาพจากภาพถ่ายอ้อยทั้งสองแบบจะได้ $Depth_{760}$ และ $Depth_{910}$ โดยมีค่าตั้งแต่ 0 – 4055 (12 bit)

3.6 การวัดผลการตอบสนองด้วย Near Infrared Spectrometer

เทคนิค Near Infrared Spectrometer หรือ NIRs นี้เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรโดยไม่ทำลายตัวอย่าง ทั้งนี้มีงานวิจัยที่นำเทคนิคนี้มาใช้กับอ้อยและให้ผลที่ดี (Nawi et al., 2013; Phetpan et al., 2018; Aomsin et al., 2019) โดยการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR นี้สัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง เราจึงทำการวัดการตอบสนองต่อแสงของตัวอย่างอ้อยและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบภาพที่ได้จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 12-bit กับค่าบริกซ์

ส่วนประกอบของระบบการสแกน Near Infrared Spectroscopy ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงหลอด Tungsten halogen (50 W, Aluline Halogen 12 VR111, Royal Philips, Holland) หรือ แหล่งกำเนิดแสง Tungsten halogen (100W, Aluline Halogen 12 VR111) สเปกโตรมิเตอร์ ช่วงความยาวคลื่น 350 – 1100 nm (AvaSpec-2048-USB2, Avantes BV, Netherlands) และเส้นใยแก้วนำแสง (Optic fibre, 25° field-of-view) ติดตั้งสูงจากตัวอย่างเป็นระยะ 4 cm โดยโหมดในการสแกนใช้ reflectance

การวัดผลการตอบสนองต่อแสงด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์นี้จะทำการถ่ายภาพด้วยกล้องโมโนโครม โดยสแกนท่อนอ้อยที่ผิวด้านเดียวกับผิวที่ถูกถ่ายภาพ 3 จุด คือ ส่วนบน กลาง และล่างของท่อนอ้อย จากนั้นนำสเปกตรัมทั้ง 3 ที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างอ้อย 1 ท่อน และใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของค่าองค์ประกอบภาพ 12-bit

3.7 การวัดค่า Soluble Solid Content (°Brix)

ในการวัดคุณภาพของอ้อยตามมาตรฐาน Commercial Cane Sugar (CCS) ประกอบด้วย ค่าบริกซ์ ค่าโพล และค่าไฟเบอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เพียงค่าบริกซ์เป็นตัวแทนความหวานของอ้อย เนื่องจากได้รับการพิสูจน์แล้วว่าค่าบริกซ์มีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับความหวานของอ้อย (Nawi et al., 2013) อีกทั้งมีขั้นตอนการวัดที่ง่าย ต้นทุนต่ำ โดยนำตัวอย่างอ้อยมาคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นไฮดรอลิก จากนั้นนำน้ำอ้อยที่คั้นแล้วมาทำการวัดค่าบริกซ์ด้วยเครื่อง Refractometer (Pocket PAL-1, ATAGO, Japan) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ตรวจสอบปริมาณน้ำตาลในของเหลว โดยอาศัยหลักการหักเหแสง มีหน่วยการวัดเป็น °Brix ซึ่งจะทำการวัดค่าบริกซ์หลังจากการทดลองวัดผลการตอบสนองต่อแสงด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และการถ่ายภาพด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.8.1 วิเคราะห์ค่าองค์ประกอบภาพ 12-bit

นำภาพถ่ายที่ได้จากกระบวนการถ่ายภาพโดยใช้กล้องโมโนโครม (ace acA1300-60gmNIR, Basler) ที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 760 nm ดังรูป 3.6 (ก) และภาพถ่ายที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 910 nm ดังรูป 3.6 (ข) มาวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบของรูปภาพด้วยโปรแกรม MATLAB R2020b จะได้ข้อมูลที่ออกมาเป็นค่าเฉลี่ยของค่าองค์ประกอบภาพบริเวณที่ท่อนอ้อยมีแสงตกกระทบของ Spectrometer (AvaSpec-2048-USB2, Avantes BV, Netherlands) และแสงจากแหล่งกำเนิดแสง Tungsten halogen (100W, Aluline Halogen 12 VR111)



รูปที่ 3.1 a) ภาพที่ถ่ายด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 760 nm

b) ภาพที่ถ่ายด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 910 nm

3.8.2 วิเคราะห์ผลการตอบสนองด้วยสเปกโตรมิเตอร์ต่อค่าบริกซ์

นำสเปกตรัมที่ได้จากการวัดผลการตอบสนองต่อแสงด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มาทำการปรับแต่งสเปกตรัมก่อนนำไปวิเคราะห์ (Pretreatment) 4 วิธี ได้แก่ Moving Average (MA) + Mean Normalization, Moving Average (MA) + Baseline Offset, Moving Average (MA) + Standard Normal Variate (SNV), Moving Average (MA) + Multiplicative Scatter Correction (MSC) จากนั้นสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Partial Least Square Regression ด้วยโปรแกรม Unscramble (Unscrambler X 10.3, Camo, Norway) เพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าบริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.8.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบภาพกับค่าบรีกซ์

นำข้อมูลค่าองค์ประกอบภาพที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องโมนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์มาหาความสัมพันธ์กับค่าบรีกซ์ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Refractometer ด้วยวิธี Simple Linear Regression และ Multiple Linear Regression



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ การทดลองหาระยะและความสูงของของเหลวอ้างอิง และทดสอบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยการทดลองหาระยะอ้างอิงระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) กับตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลอง การทดสอบฟิลเตอร์ทั้งสองตัวก่อนนำมาทดลอง การทดลองหาความสูงของน้ำอ้อยที่น้อยที่สุดในภาชนะที่สามารถใช้ในการทดลอง การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาวิธีการและแนวทางในการทดลองที่ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งประกอบไปด้วย การทำนายค่าปริมาตรด้วยเทคนิค NIRs โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์ และการทำนายค่าปริมาตรโดยใช้ค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) การทดลองครั้งที่หนึ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยการทำนายค่าปริมาตรด้วยเทคนิค NIRs โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์ การทดลองหาปริมาณแสง ช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์ และตำแหน่งการอ่านภาพที่เหมาะสม และการทำนายค่าปริมาตรโดยใช้ค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) ของอ้อยที่อยู่ในสภาพน้ำอ้อยและท่อนอ้อย การทดลองครั้งที่สองซึ่งประกอบไปด้วยการทำนายค่าปริมาตรด้วยเทคนิค NIRs โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์ การทำนายค่าปริมาตรโดยใช้ค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) ของท่อนอ้อย และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตอบสนองต่อแสงของสเปกโตรมิเตอร์กับผลการตอบสนองต่อแสงของกล้องที่ติดตั้งฟิลเตอร์ และส่วนสุดท้ายคือการทดสอบความแม่นยำที่ได้จากการทดลองครั้งที่สอง

4.1 ผลจากการทดลองหาระยะและความสูงของของเหลวอ้างอิงและทดสอบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ก่อนการทดลองกับอุปกรณ์ต่างๆ ต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้นเพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากเครื่องมือและอุปกรณ์ โดยในงานวิจัยนี้เราได้ทำการหาระยะที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับผิวตัวอย่างเพื่อหาระยะที่จะได้ผลการตอบสนองของแสงที่ดีที่สุด รวมถึงให้มีระยะอ้างอิงที่ใช้ตลอดการทดลอง การทดสอบฟิลเตอร์ทั้งสองตัวว่ามีผลการตอบสนองต่อแสงต่อกับรายละเอียดของสินค้าหรือไม่ การทดลองหาความสูงของน้ำอ้อยที่น้อยที่สุดในภาชนะที่สามารถใช้วิเคราะห์ผลการตอบสนองต่อแสงของสเปกโตรมิเตอร์ในการทดลอง และการทดลองหาปริมาณแสง ช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์ และตำแหน่งการอ่านภาพที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลการตอบสนองต่อแสงของกล้อง (ค่าองค์ประกอบภาพ) มีค่าดีที่สุด

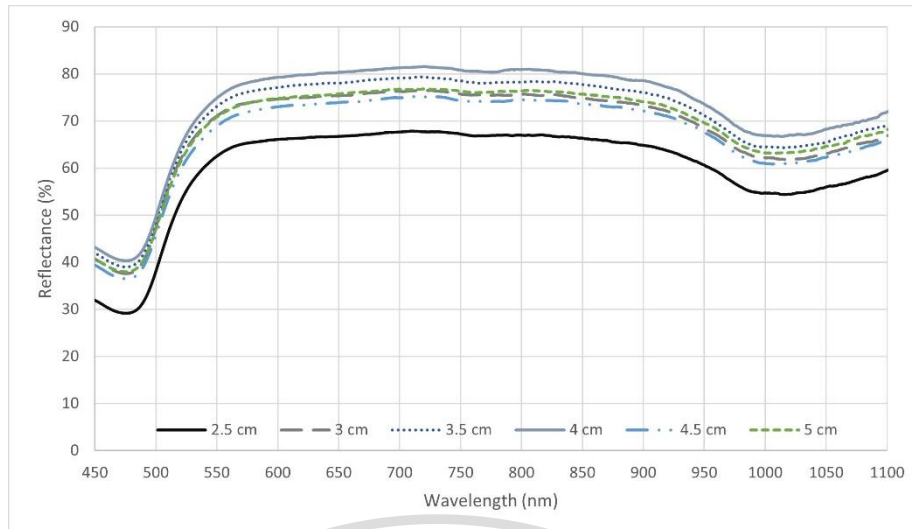
4.1.1 ระยะอ้างอิงระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) กับตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลอง

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าในการทดลองเราจำเป็นต้องทราบระยะอ้างอิงทั้งเพื่อการมีประสิทธิภาพในการทดลองและเพื่อลดตัวแปรในเรื่องของระยะห่าง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมเฉลี่ยของท่อนอ้อยที่ระยะระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงและผิวตัวอย่างต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 พบว่าระยะห่างที่เหมาะสมคือ 4 cm เนื่องจากให้ผลการตอบสนองต่อแสง (Reflectance) มากที่สุด เราจึงใช้ระยะนี้เป็นระยะอ้างอิงสำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้

4.1.2 การทดสอบฟิลเตอร์ทั้งสองตัวก่อนนำมาทดลอง

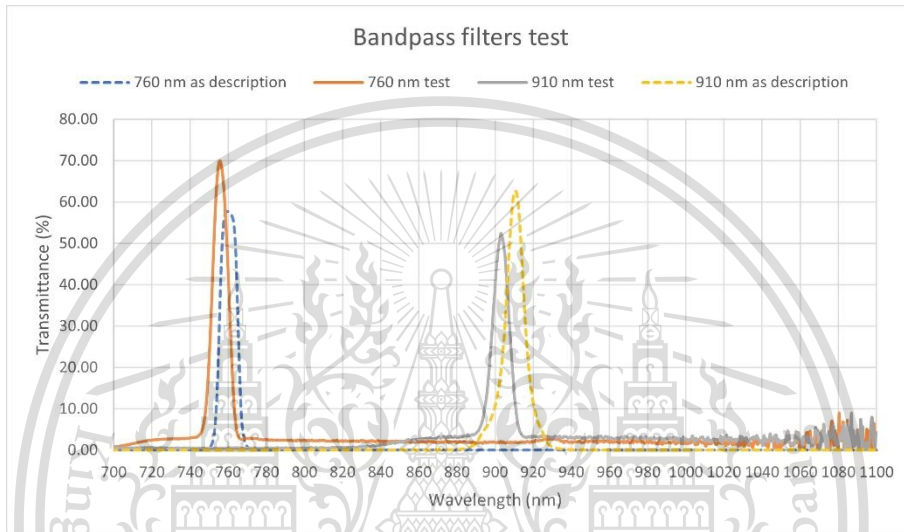
การทำนายค่าความหวานของอ้อยด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์นั้น ภาพที่ได้จะเป็นภาพที่มีการสะท้อนของแสงในช่วงที่สัมพันธ์กับฟิลเตอร์นั้นๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้เราใช้ฟิลเตอร์สองตัวนั่นคือ Bandpass Filter 760 nm จะยอมให้แสงผ่านได้ตั้งแต่ความยาวคลื่น 750 nm ถึง 770 nm และ Bandpass Filter 910 nm จะยอมให้แสงผ่านได้ตั้งแต่ความยาวคลื่น 900 nm ถึง 920 nm โดยเราทำการวัดการตอบสนองต่อแสงที่สามารถผ่านฟิลเตอร์ไปยังเส้นใยแก้วนำแสงด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ พบว่าจากรูปที่ 4.2 นั้น ฟิลเตอร์ 760 nm สามารถกรองแสงตั้งแต่ความยาวคลื่นประมาณ 745-765 nm (เส้นสีส้ม) และฟิลเตอร์ 910 nm สามารถกรองแสงตั้งแต่ความยาวคลื่นประมาณ 890-910 nm (เส้นสีเทา) ซึ่งช่วงความยาวคลื่นที่ตอบสนองต่อแสงมีความคลาดเคลื่อนจากคำอธิบายของสินค้าประมาณ 5-10 nm ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชุดทดสอบฟิลเตอร์ที่ไม่ทึบแสงมากเพียงพอ อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าฟิลเตอร์ทั้งสองตัวนี้สามารถนำมาใช้ในการทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

การตอบสนองของฟิลเตอร์ NIR จากการทดลองวัดความสามารถในการตอบสนองของความยาวคลื่นช่วง NIR ของฟิลเตอร์ NIR (IR720 filter) โดยการใช้ spectrometer วัดการสะท้อนของแสงที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ NIR พบว่าฟิลเตอร์ สามารถกรองตั้งแต่ความยาวคลื่นช่วง 670 nm และมีอัตราการกรองที่สูงขึ้น จนกระทั่งสามารถกรองแสง NIR ได้อย่างสมบูรณ์ที่ความยาวคลื่นช่วง 790 nm แสดงดังรูป 4.1 จากกราฟการตอบสนองของแสง เส้นสีน้ำเงินคือการตอบสนองของฟิลเตอร์ NIR และสีเหลืองคือการตอบสนองของแสงกับตัวปรับ White balance พบว่าฟิลเตอร์ NIR สามารถกรองแสง NIR ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของแสงช่วงที่สามารถผ่านฟิลเตอร์

4.1.3 ความสูงของของเหลวที่น้อยที่สุดที่สามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อทำการทดลองโดยใช้น้ำอ้อยที่มีปริมาณ 30 ml ใส่ลงในภาชนะอลูมิเนียมชนิดพิเศษที่บแสงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 cm และวัดผลการตอบสนองต่อแสงด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าปริกซ์ จะได้ผลดังตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่าสเปกตรัมของน้ำอ้อยที่มีปริมาณ 30 ml และค่าปริกซ์ มีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายสูงสุดเท่ากับ 0.983 และ RMSECV มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.005 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ ด้วยเทคนิค NIRs ของน้ำอ้อยที่มีปริมาตร 30 ml

Pre-Processing	R ²	RMSECV
MA + Mean normalization	0.983	0.005
MA + Baseline offset	0.821	0.070
MA + SNV	0.949	0.012
MA + MSC	0.954	0.096

หมายเหตุ : MA คือ Moving Average method, MSC คือ Multiplicative Scatter Correction, SNV คือ Standard Normal Variate, R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย และ RMSECV คือ Root Mean Square Error of Cross Validation

จากนั้นทำการทดลองโดยเพิ่มปริมาณน้ำอ้อยเป็น 40 ml ในการวัดด้วยสเปกโตรมิเตอร์ จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าบริกซ์เพื่อศึกษาว่ามีความสัมพันธ์มากขึ้นหรือน้อยลงแตกต่างกันมากเพียงใด จะได้ผลดังตารางที่ 4.2 พบว่าสเปกตรัมของน้ำอ้อยที่มีปริมาตร 40 ml และค่าบริกซ์มีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายสูงสุดเท่ากับ 0.977 และ RMSECV มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.006 ซึ่งแสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูงเช่นกัน อีกทั้งความสัมพันธ์นั้นไม่แตกต่างกันมาก เราจึงสามารถใช้น้ำอ้อยสำหรับทดลองได้ โดยมีปริมาณอย่างน้อย 30 ml

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ด้วยเทคนิค NIRs ของน้ำอ้อยที่มีปริมาตร 40 ml

Pre-Processing	R ²	RMSECV
MA + Mean normalization	0.977	0.006
MA + Baseline offset	0.791	0.097
MA + SNV	0.972	0.012
MA + MSC	0.973	0.103

หมายเหตุ : MA คือ Moving Average method, MSC คือ Multiplicative Scatter Correction, SNV คือ Standard Normal Variate, R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย และ RMSECV คือ Root Mean Square Error of Cross Validation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบันฯ

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

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

4.2 ผลจากการทดลองเบื้องต้น

ในการทดลองครั้งนี้ใช้อ้อยทั้งหมด 30 ลำ แบ่งเป็น 3 ส่วน (โคน, กลาง, ยอด) จะได้ตัวอย่างทั้งหมด 90 ท่อน และนำอ้อยที่ได้มาคั้นเพื่อหาค่าบrixของแต่ละท่อน ตัวอย่าง โดยค่าบrixที่ใช้อ้างอิงในการทำนายได้จากการวัดด้วยเครื่อง Refractometer ซึ่งค่าบrixเชิงสถิติของอ้อยที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเชิงสถิติของค่าบrixของท่อนอ้อย

Sample	Section	N	Max (°Brix)	Min (°Brix)	Mean (°Brix)	SD
	All	90	22.90	7.20	17.03	4.63
Sugarcane (Khonkean 3)	Top	30	21.10	15.20	19.49	1.42
	Middle	30	22.900	8.833	19.419	3.11
	Bottom	30	19.80	7.20	12.18	4.18

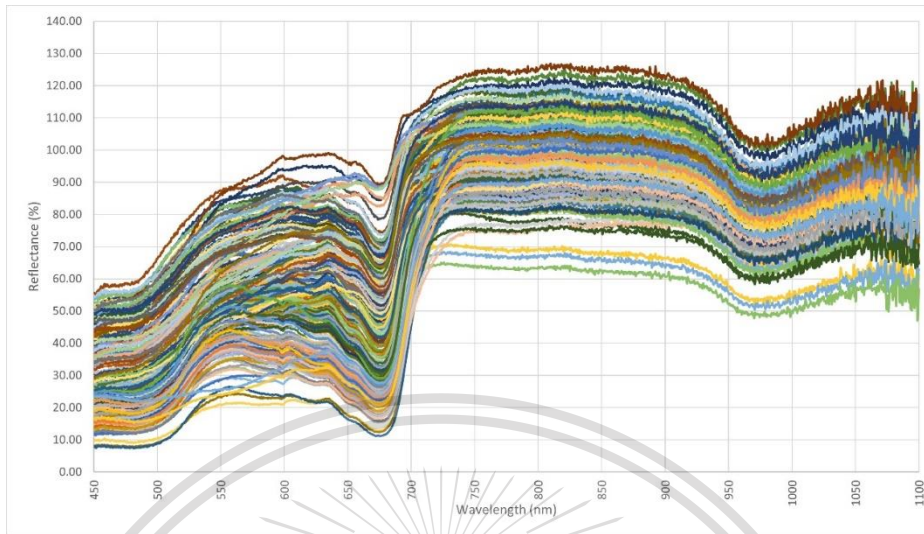
หมายเหตุ : N คือ Number of Samples, Max คือ Maximum, Min คือ Minimum, SD คือ Standard Deviation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.2.1 การทำนายค่าบริกซ์ของท่อนอ้อยด้วยสเปกตรัมการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมดิบของตัวอย่างท่อนอ้อย

นำสเปกตรัมที่ได้จากการวัดตัวอย่างท่อนอ้อยด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มาทำ Pretreatment ทั้ง 4 วิธี หลังจากนั้นนำไปสร้างโมเดลด้วยวิธี Partial Least Square regression (PLS) โดยโปรแกรม Unscramble version 10 (Unscrambler X 10.3, Camo, Norway) เพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าความหวานของอ้อย หรือค่าบริกซ์

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ด้วยเทคนิค NIRs

Pretreatment	R^2	RMSECV
MA + Mean normalization	0.772	1.890
MA + Baseline offset	0.762	1.931
MA + SNV	0.805	1.745
MA + MSC	0.766	1.914

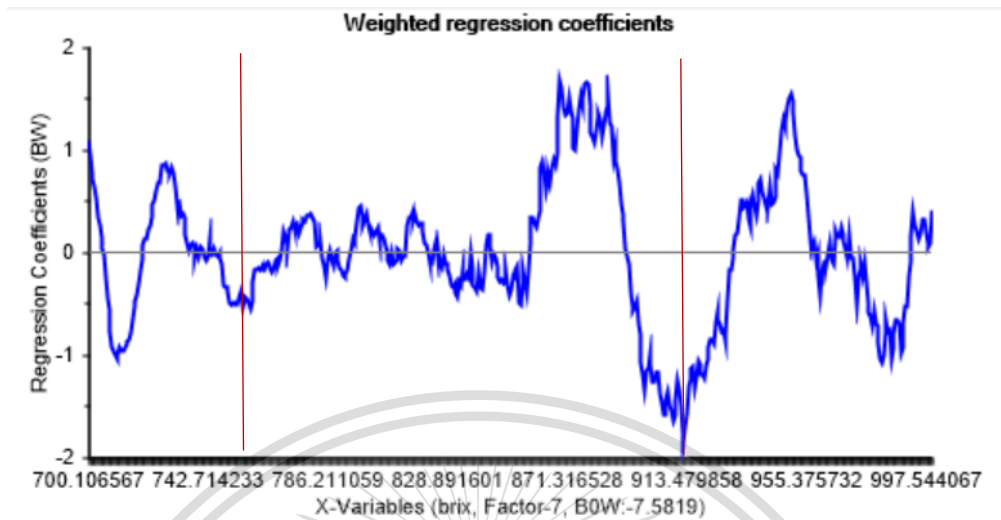
หมายเหตุ : MA คือ Moving Average method, MSC คือ Multiplicative Scatter Correction, SNV คือ Standard Normal Variate, R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย และ RMSECV คือ Root Mean Square Error of Cross Validation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์นี้ให้โดยไม่คิดค่า และต้องอ้างถึงชื่อของเอกสารฉบับนี้ทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้
 ที่สุดมีค่า 0.805 และ RMSECV น้อยที่สุดมีค่า 1.745 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ที่สูง จากนั้นนำ

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

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

แบบจำลองที่ได้นี้มาพิจารณา Regression Coefficient เพื่อวิเคราะห์ความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อแบบจำลอง



รูปที่ 4.4 Regression coefficient จากโมเดลที่ทำนายค่าบrix ด้วยเทคนิค NIRs โดยการปรับแต่งด้วยวิธี MA + SNV

จากรูปที่ 4.4 พบว่าความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อการทำนายค่าบrix ด้วยเทคนิค NIRs สำหรับแบบจำลองนี้ได้แก่ 755 และ 912 nm

4.2.2 การทำนายค่าบrixของท่อนอ้อยด้วยค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์



รูปที่ 4.5 ภาพของท่อนอ้อยที่ได้จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ NIR
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ในการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบภาพกับค่าบรีกซ์นี้ จะใช้ค่าองค์ประกอบภาพของท่อนอ้อยที่มีขนาดภาพ 100x100 pixels ในการพิจารณา เพื่อลดอิทธิพลความโค้งงอของผิวตัวอย่าง จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์โดยวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (R^2) ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบรีกซ์ จากค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x100 pixels ของท่อนอ้อย

Bandpass filter (nm)	R^2
760	0.122
910	0.001
760, 910	0.123

หมายเหตุ : R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายมีค่าต่ำ แสดงถึงค่าบรีกซ์ กับค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x100 pixels มีความสัมพันธ์กันต่ำ เราจึงตัดภาพให้มีขนาดเล็กลงเป็น 50x50 pixels และทำการวิเคราะห์อีกครั้ง

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบรีกซ์ จากค่าองค์ประกอบภาพขนาด 50x50 pixels ของท่อนอ้อย

Bandpass filter (nm)	R^2
760	0.110
910	0.001
760, 910	0.117

หมายเหตุ : R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย

จากตารางที่ 4.7 พบว่าหลังจากทำการตัดภาพให้มีขนาดเล็กลงพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายยังคงมีค่าต่ำ และมีค่าต่ำลง ผลการวิเคราะห์นี้จึงแสดงว่าค่าองค์ประกอบภาพไม่มีความสัมพันธ์กับค่าบรีกซ์ ทั้งนี้การใช้กล้องโมโนโครมวัดความหวานอ้อยอาจต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ อาทิเช่น ความสามารถในการตอบสนองต่อแสงของกล้องและของสเปกโตรมิเตอร์ ปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แสง การกระจายตัวของแสง อายุของอ้อย

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

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

4.3 ผลจากการทดลองครั้งที่หนึ่ง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้อ้อยทั้งหมด 90 ท่อนและนำอ้อยที่ได้มาคั้นเพื่อหาค่าบrixของแต่ละท่อน จากนั้นใช้น้ำอ้อยที่คั้นแล้วนั้นมาเป็นตัวอย่างทั้งหมด 34 ตัวอย่าง โดยค่าบrixที่ใช้อ้างอิงในการทำนาย ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Refractometer ซึ่งค่าบrixเชิงสถิติของอ้อยที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 ค่าเชิงสถิติของค่าบrixของท่อนอ้อย

Sample	N	Max (°Brix)	Min (°Brix)	Mean (°Brix)	SD
Sugarcane (Khonkean 3)	90	25.10	14.47	21.45	2.07

หมายเหตุ : N คือ Number of Samples, Max คือ Maximum, Min คือ Minimum, SD คือ Standard Deviation

ตารางที่ 4.9 ค่าเชิงสถิติของค่าบrixของน้ำอ้อย

Sample	N	Max (°Brix)	Min (°Brix)	Mean (°Brix)	SD
Sugarcane (Khonkean 3)	34	24.56	17.83	21.98	1.71

หมายเหตุ : N คือ Number of Samples, Max คือ Maximum, Min คือ Minimum, SD คือ Standard Deviation

4.3.1 การทำนายค่าบrixของท่อนอ้อยด้วยสเปกตรัมการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

นำสเปกตรัมดิบที่ได้จากการวัดตัวอย่างท่อนอ้อยด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มาทำ Pretreatment ทั้ง 4 วิธี หลังจากนั้นนำไปสร้างโมเดลด้วยวิธี Partial Least Square regression (PLS) โดยโปรแกรม Unscramble version 10 (Unscrambler X 10.3, Camo, Norway) เพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าความหวานของอ้อย หรือค่าบrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

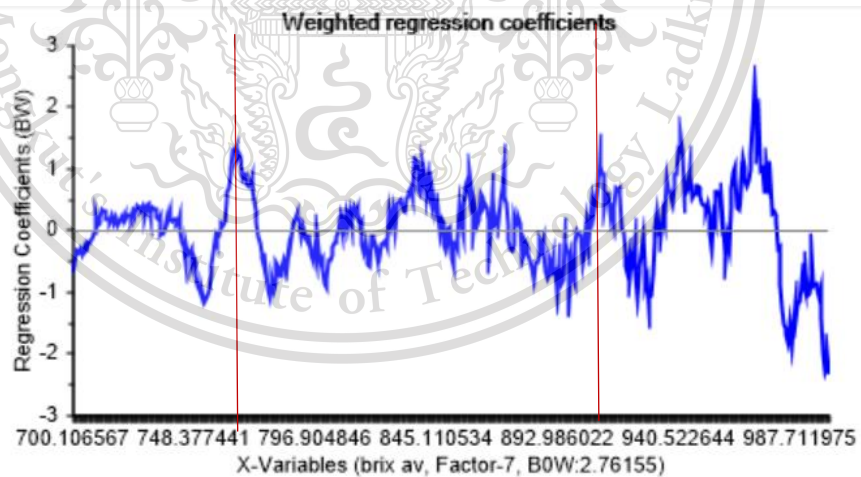
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบrixด้วยเทคนิค NIRs

Pre-Processing	R ²	RMSECV
MA + Mean normalization	0.528	1.278
MA + Baseline offset	0.468	1.357
MA + SNV	0.624	1.140
MA + MSC	0.527	1.279

หมายเหตุ : MA คือ Moving Average method, MSC คือ Multiplicative Scatter Correction, SNV คือ Standard Normal Variate, R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย และ RMSECV คือ Root Mean Square Error of Cross Validation

จากตารางที่ 4.10 พบว่าวิธี MA + SNV ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายที่มากที่สุดมีค่า 0.624 และ RMSECV น้อยที่สุดมีค่า 1.140 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ที่ยอมรับได้ เราจึงนำแบบจำลองของสเปกตรัมที่ถูกปรับแก้ด้วยวิธี MA + SNV ที่ได้นั้นมาพิจารณา Regression Coefficient เพื่อวิเคราะห์ความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อแบบจำลอง



รูปที่ 4.6 Regression coefficient จากโมเดลที่ทำนายค่าบrix ด้วยเทคนิค NIRs โดยการปรับแต่งด้วยวิธี MA + SNV

จากรูปที่ 4.6 พบว่าความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อการทำนายค่าบrix ด้วยเทคนิค NIRs สำหรับแบบจำลองนี้ ได้แก่ 765 และ 910 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.3.2 การทำนายค่าบริคซ์ของท่อนอ้อยด้วยค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) จากกล้องโมนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์

นำภาพถ่ายของท่อนอ้อยที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องโมนโครม (ace acA1300-60gmNIR, Basler) ติดตั้ง Bandpass filter ที่มีความยาวคลื่น 760 nm และ 910 nm ทั้ง 90 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบภาพด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) ของท่อนอ้อยแต่ละตัวอย่าง โดยขนาดภาพที่พิจารณาคือ 100x100 pixels



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.11 ค่าเชิงสถิติของค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x100 pixels ของท่อนอ้อย

Sample	N	Light Source	Bandpass filter (nm)	Position	Max	Min	Mean	SD	
Sugarcane (Khonkean 3)	90	Tungsten Halogen, Optic Fiber	760	Same as NIR	3554.52	1410.42	2723.72	470.31	
				Middle	3958.54	2597.18	3509.67	259.24	
				Same as NIR	3227.51	1562.89	2467.57	347.52	
				Middle	3369.95	2637.17	3140.06	119.63	
				Same as NIR	323.24	134.24	192.14	27.81	
				Middle	239.25	87.56	109.73	27.06	
		None	910	None	Same as NIR	296.96	155.14	211.42	28.42
					Middle	191.35	89.24	114.79	21.51
					Same as NIR	134.24	91.06	95.06	4.27
					Middle	111.66	80.03	84.86	3.19
					Same as NIR	155.14	91.44	95.75	6.27
					Middle	101.14	81.54	85.43	2.51

หมายเหตุ : N คือ Number of Samples, Max คือ Maximum, Min คือ Minimum, SD คือ Standard Deviation

ในการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบภาพกับค่าปริกซ์นี้ จะใช้ค่าองค์ประกอบภาพของท่อนอ้อยที่มีขนาดภาพ 100x100 pixels โดยอ่านค่าเป็นจุดในการพิจารณา เพื่อลดอิทธิพลความโค้งงอของผิวตัวอย่าง โดยพิจารณาตำแหน่งการอ่านภาพที่ต่างกัน ได้แก่ ตำแหน่งเดียวกับแสงจากสเปกโตรมิเตอร์ที่ฉายลงบนตัวอย่าง และบริเวณกลางท่อนอ้อย เพื่อลดปัจจัยการกระจายตัวของแสง นอกจากนี้อ่านค่าพิกเซล

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

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

จากปริมาณแสงที่ต่างกัน 3 แบบนั้นคือเมื่อมีแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟ Tungsten Halogen 100 W จำนวน 2 หลอด และไฟจากสเปกโตรมิเตอร์ เมื่อมีแหล่งกำเนิดแสงจากไฟของสเปกโตรมิเตอร์ เท่านั้น และเมื่อไม่มีแหล่งกำเนิดแสงในการทดลอง จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์โดยวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (R^2) ดังตารางที่ 4.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบรีกซ์จากค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x100 pixels ของท่อนอ้อย (N=90)

Sample	N	Light Source	Bandpass filter (nm)	Position	R ²	
Sugarcane (Khonkean 3)	90	Tungsten Halogen, Optic Fiber	760	Same as NIR	0.079	
				Middle	0.019	
			910	Same as NIR	0.087	
				Middle	0.100	
			760, 910	Same as NIR	0.115	
				Middle	0.104	
			760	Same as NIR	0.024	
				Middle	0.075	
			910	Same as NIR	0.065	
				Middle	0.052	
			760, 910	Same as NIR	0.065	
				Middle	0.121	
			760	Same as NIR	0.022	
				Middle	0.045	
			None	910	Same as NIR	0.018
					Middle	0.033
			760, 910	910	Same as NIR	0.043
					Middle	0.080

หมายเหตุ : N คือ Number of Samples, R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.13 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ จากค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x500 pixels ของท่อนอ้อย (N=90)

Sample	N	Light Source	Bandpass filter (nm)	Position	R ²	
Sugarcane (Khonkean 3)	90	Optic Fiber	760	Same as NIR	0.099	
				Middle	0.022	
			Tungsten Halogen, Optic Fiber	910	Same as NIR	0.106
					Middle	0.122
			760, 910	Same as NIR	0.141	
				Middle	0.125	
			760	Same as NIR	0.002	
				Middle	0.091	
			910	Same as NIR	0.003	
				Middle	0.077	
			760, 910	Same as NIR	0.007	
				Middle	0.154	
			760	Same as NIR	0.032	
				Middle	0.048	
			None	910	Same as NIR	0.016
					Middle	0.032
760, 910	Same as NIR	0.050				
	Middle	0.084				

หมายเหตุ : N คือ Number of Samples, R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่นำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น และต้องยกย่องเจ้าของเอกสารทุกครั้ง
100x100 pixels มีความสัมพันธ์กันต่ำ เราจึงอ่านค่าพิกเซลเป็นแนวแถบ (Strip) ขนาด 100x500
pixels เพื่อลดปัจจัยเรื่องความสม่ำเสมอของแสง จากนั้นทำการวิเคราะห์อีกครั้ง

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

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

จากตาราง 4.13 พบว่าหลังจากเปลี่ยนวิธีการอ่านค่าพิกเซลเป็นแนวแถบ (Strip) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายมีค่าสูงขึ้น แต่ยังคงมีแสดงความสัมพันธ์ที่ต่ำ เราจึงนำค่าพิกเซลของแต่ละส่วนของท่อนมาเฉลี่ยเป็นข้อมูล 1 ตัวอย่าง จะได้ข้อมูล 30 ตัวอย่าง แล้วมาทำการวิเคราะห์อีกครั้งโดยใช้เพียงเงื่อนไขที่มีแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟ Tungsten Halogen 100 W จำนวน 2 หลอด และจากสเปกโตรมิเตอร์

ตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ จากค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x500 pixels ของท่อนอ้อย (N=30)

Sample	N	Light Source	Bandpass filter (nm)	Position	R ²
Sugarcane (Khonkean 3)	90	Tungsten Halogen, Optic Fiber	760 910 760, 910	Same as NIR	0.259
				Middle	0.002
				Same as NIR	0.157
				Middle	0.071
				Same as NIR	0.290
				Middle	0.112

หมายเหตุ : N คือ Number of Samples, R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย

จากตาราง 4.14 พบว่าหลังจากทำการเฉลี่ยสเปกตรัมแล้วพบค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายมีค่าสูงขึ้นแต่ยังคงมีความสัมพันธ์ที่ต่ำ ผลการวิเคราะห์นี้จึงแสดงว่าค่าองค์ประกอบภาพไม่มีความสัมพันธ์กับค่าบริกซ์ ทั้งนี้การใช้กล้องโมโนโครมวัดความหวานอ้อยอาจต้องพิจารณาความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อยมากกว่า 2 ช่วงมาพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.3.3 การทำนายค่าบrixของน้ำอ้อยด้วยสเปกตรัมการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

นำสเปกตรัมดิบที่ได้จากการวัดตัวอย่างน้ำอ้อยด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มาทำ Pretreatment ทั้ง 4 วิธี หลังจากนั้นนำไปสร้างโมเดลด้วยวิธี Partial Least Square regression (PLS) โดยโปรแกรม Unscramble version 10 (Unscrambler X 10.3, Camo, Norway) เพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าความหวานของอ้อย หรือค่าบrix

ตารางที่ 4.15 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบrix ของน้ำอ้อยด้วยเทคนิค NIRs

Pre-Processing	R ²	RMSECV
MA + Mean normalization	0.992	0.004
MA + Baseline offset	0.822	0.070
MA + SNV	0.952	0.012
MA + MSC	0.956	0.094

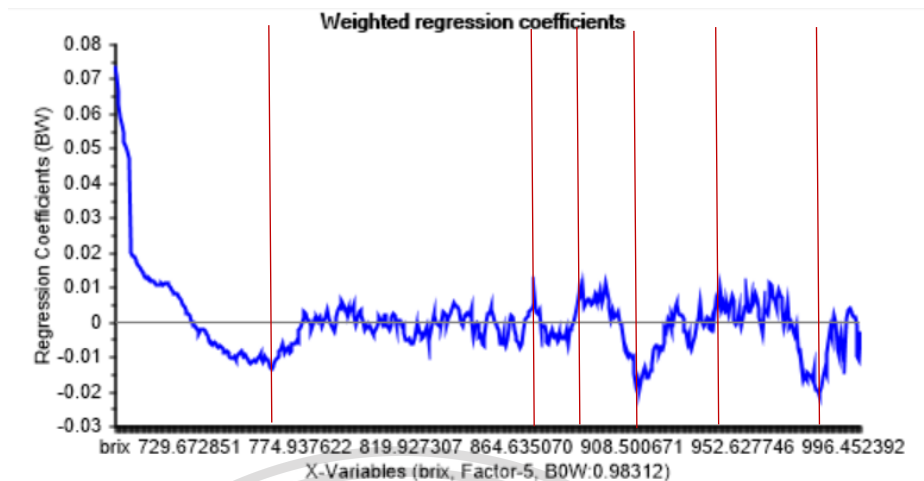
หมายเหตุ : MA คือ Moving Average method, MSC คือ Multiplicative Scatter Correction, SNV คือ Standard Normal Variate, R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย และ RMSECV คือ Root Mean Square Error of Cross Validation

จากตาราง 4.15 พบว่าวิธี MA + Mean Normalization ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายที่มากที่สุดมีค่า 0.992 และ RMSECV น้อยที่สุดมีค่า 0.004 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ที่สูงจากนั้นนำแบบจำลองที่ได้นี้มาพิจารณา Regression Coefficient เพื่อวิเคราะห์ความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.7 Regression coefficient จากโมเดลที่ทำนายค่าบrix ด้วยเทคนิค NIRs โดยการปรับแต่งด้วยวิธี MA + Mean Normalization

จากรูปที่ 4.7 พบว่าความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อการทำนายค่าบrix ด้วยเทคนิค NIRs สำหรับแบบจำลองนี้ ได้แก่ 763, 870, 898, 912, 943 และ 983 nm

4.3.4 การทำนายค่าบrixของน้ำอ้อยด้วยค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์

นำภาพถ่ายของน้ำอ้อยที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องโมโนโครม (ace acA1300-60gmNIR, Basler) ติดตั้ง Bandpass filter ที่มีความยาวคลื่น 760 nm และ 910 nm ทั้ง 34 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบภาพด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) ของน้ำอ้อยแต่ละตัวอย่าง ขนาดภาพที่พิจารณาคือ 100x100 pixels โดยอ่านค่าเป็นจุดของภาพในการพิจารณา จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์โดยวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (R^2) ดังตารางที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.16 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์จากค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x100 pixels ของน้ำอ้อย (N=34)

Sample	Light Source	Bandpass filter (nm)	Position	R ²
Sugarcane (Khonkean 3)	Tungsten Halogen, Optic Fiber	760	Same as NIR	0.071
			Middle	0.043
		910	Same as NIR	0.229
			Middle	0.271
		760, 910	Same as NIR	0.248
			Middle	0.373
	None	760	Same as NIR	0.063
			Middle	0.396
		910	Same as NIR	0.113
			Middle	0.237
		760, 910	Same as NIR	0.137
			Middle	0.440
None	910	Same as NIR	0.001	
		Middle	0.001	
	760, 910	Same as NIR	0.086	
		Middle	0.090	
		Same as NIR	0.094	
		Middle	0.090	

หมายเหตุ : R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย

จากตาราง 4.16 พบว่าความสัมพันธ์ของค่าบริกซ์กับค่าฟิกเซลมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายที่ดีที่สุดคือ 0.440 เมื่อการทดลองใช้แหล่งกำเนิดแสงจากไฟจากสเปกโตรมิเตอร์ และเมื่อพิจารณาการคำนวณความสัมพันธ์โดยใช้ตัวแปรต้น 2 ตัว (ฟิลเตอร์ 760 และ 910 nm) พบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย

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

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

ที่สูงที่สุด แต่ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายที่สูงสุดในการทดลองนี้ ยังคงแสดงถึงความสามารถในการทำนายตัวแปรตาม (Brix) ที่ต่ำ

ผลการวิเคราะห์นี้จึงแสดงว่าค่าองค์ประกอบภาพที่ได้จากน้ำอ้อยไม่มีความสัมพันธ์กับค่าบริกซ์ ทั้งนี้การใช้กล้องโมโนโครมวัดความหวานอ้อยโดยใช้น้ำอ้อย อาจต้องพิจารณาความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อยมากกว่า 2 ช่วงมาพิจารณา

4.4 ผลจากการทดลองครั้งที่สอง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้อ้อยทั้งหมด 63 ท่อนและนำอ้อยที่ได้มาคั้นเพื่อหาค่าบริกซ์ของแต่ละท่อน โดยค่าบริกซ์ ที่ใช้อ้างอิงในการทำนายได้จากการวัดด้วยเครื่อง Refractometer ซึ่งค่าบริกซ์ เชนสถิติของอ้อยที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าเชิงสถิติของค่าบริกซ์ ของท่อนอ้อย

Sample	N	Max (°Brix)	Min (°Brix)	Mean (°Brix)	SD
Sugarcane (Khonkean 3)	63	25.13	19.60	22.98	1.27

หมายเหตุ : N คือ Number of Samples, Max คือ Maximum, Min คือ Minimum, SD คือ Standard Deviation

4.4.1 การทำนายค่าบริกซ์ของท่อนอ้อยด้วยสเปกตรัมการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

นำสเปกตรัมที่ได้จากการวัดตัวอย่างท่อนอ้อยด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มาทำ Pretreatment ทั้ง 4 วิธี หลังจากนั้นนำไปสร้างโมเดลด้วยวิธี Partial Least Square regression (PLS) โดยโปรแกรม Unscramble version 10 (Unscrambler X 10.3, Camo, Norway) เพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าความหวานของอ้อย หรือค่าบริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

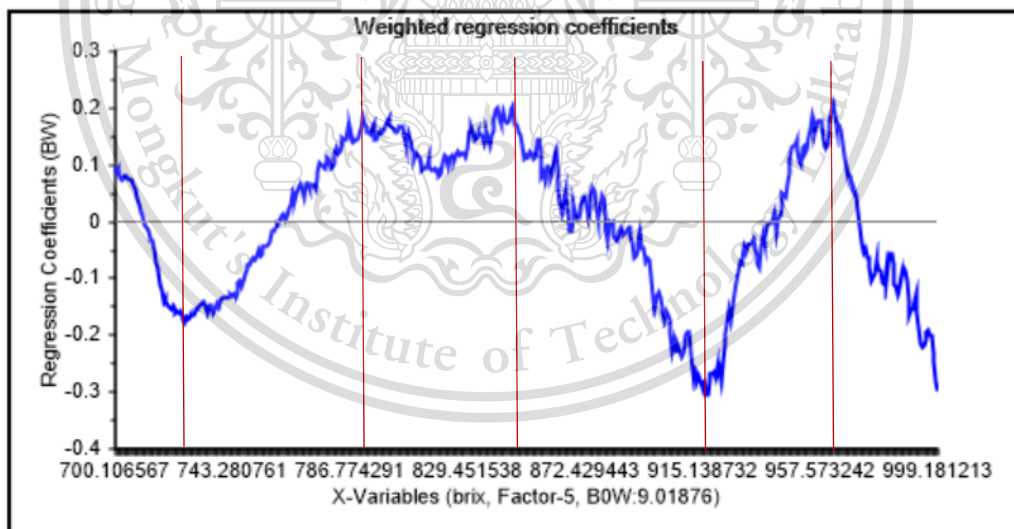
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.18 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์ ของท่อนอ้อยด้วยเทคนิค NIRs

Pre-Processing	R ²	RMSECV
MA + Mean normalization	0.655	0.845
MA + Baseline offset	0.560	0.954
MA + SNV	0.721	0.760
MA + MSC	0.623	0.883

หมายเหตุ : MA คือ Moving Average method, MSC คือ Multiplicative Scatter Correction, SNV คือ Standard Normal Variate, R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย และ RMSECV คือ Root Mean Square Error of Cross Validation

จากตารางที่ 4.18 พบว่าวิธี Moving Average + SNV ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายที่มากที่สุดมีค่า 0.721 และ RMSECV น้อยที่สุดมีค่า 0.760 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ที่สูงจากนั้นนำแบบจำลองที่ได้นี้มาพิจารณา Regression Coefficient เพื่อวิเคราะห์ความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อแบบจำลอง



รูปที่ 4.8 Regression coefficient จากโมเดลที่ทำนายค่าบริกซ์ ด้วยเทคนิค NIRs โดยการปรับแต่งด้วยวิธี Moving Average + SNV

จากรูปที่ 4.8 พบว่าความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อการทำนายค่าบริกซ์ ด้วยเทคนิค NIRs สำหรับแบบจำลองนี้ ได้แก่ 726, 791, 846, 917 และ 962 nm โดยที่ความยาวคลื่น 726 และ 791 nm สัมพันธ์กับการเกิดโอเวอร์โทนที่สามของ OH ของซูโครส ความยาวคลื่น 846 nm สัมพันธ์กับการ

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

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

เกิดคอมบิเนชันของ OH ความยาวคลื่น 917 nm สัมพันธ์กับการเกิดโอเวอร์โทนที่สามของ CH ของ น้ำตาล และความยาวคลื่น 962 nm สัมพันธ์กับการเกิดโอเวอร์โทนที่สองของ OH

4.4.2 การทำนายค่าปริกซ์ของท่อนอ้อยด้วยค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) จากกล้องโมนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์

นำภาพถ่ายของท่อนอ้อยที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องโมนโครม (ace acA1300-60gmNIR, Basler) ติดตั้ง Bandpass filter ที่มีความยาวคลื่น 760 nm และ 910 nm ทั้ง 63 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบภาพด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของค่าองค์ประกอบภาพ (Pixel) ของท่อนอ้อยแต่ละตัวอย่าง ซึ่งขนาดภาพที่พิจารณาคือ 100x100 pixels



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.19 ค่าเชิงสถิติของค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x100 pixels ของท่อนอ้อย

Sample	N	Light Source	Bandpass filter (nm)	Position	Max	Min	Mean	SD	
Sugarcane (Khonkean 3)	63	Optic Fiber	760	Same as NIR	3930.23	2247.35	3172.41	517.39	
				Middle	3898.51	2720.22	3336.85	333.31	
			910	Same as NIR	3174.43	1914.26	2610.87	430.86	
				Middle	3399.10	2195.38	2779.36	457.64	
			None	760	Same as NIR	108.69	83.14	87.62	3.76
					Middle	139.58	93.67	117.99	5.07
		910		Same as NIR	111.55	82.42	88.13	4.49	
				Middle	134.14	102.13	114.67	9.80	
		760		Same as NIR	141.13	115.48	125.05	4.25	
				Middle	139.58	93.67	117.99	5.07	
		910	Same as NIR	178.70	121.68	130.66	7.09		
			Middle	134.14	102.13	114.67	9.81		

หมายเหตุ : N คือ Number of Samples, Max คือ Maximum, Min คือ Minimum, SD คือ Standard Deviation

ในการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบภาพกับค่าปริกซ์นี้ จะใช้ค่าองค์ประกอบภาพของท่อนอ้อยที่มีขนาดภาพ 100x100 pixels เพื่อลดอิทธิพลความโค้งของผิวตัวอย่าง โดยอ่านค่าเป็นจุด 3 ตำแหน่ง จากนั้นนำมาเฉลี่ยและนำมาหาความสัมพันธ์โดยวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (R^2) ดังตารางที่ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.20 ผลลัพธ์สำหรับการทำนายค่าบริกซ์จากค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x100 pixels ของท่อนอ้อย (N=63)

Sample	N	Light Source	Bandpass filter (nm)	R ²
Sugarcane (Khonkean 3)	63	Tungsten Halogen, Optic Fiber	760	0.004
			910	0.005
		760, 910	0.067	
		760	0.220	
		None	910	0.221
			760, 910	0.222

หมายเหตุ : N คือ Number of Samples, R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย

จากตาราง 4.20 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.222 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำ แสดงว่าค่าบริกซ์ กับค่าองค์ประกอบภาพขนาด 100x100 pixels มีความสัมพันธ์กันต่ำ ผลการวิเคราะห์นี้จึงแสดงว่าค่าองค์ประกอบภาพไม่มีความสัมพันธ์กับค่าบริกซ์ ทั้งนี้การใช้กล้องโมโนโครมวัดความหวานอ้อยอาจต้องพิจารณาความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อยมากกว่า 2 ช่วงมาพิจารณา

4.5 ผลจากการทดสอบความแม่นยำที่ได้จากการทดลองครั้งที่สอง

เนื่องจากผลการทดลองของการทำนายค่าบริกซ์ด้วยค่าพิกเซลนั้นให้ความสัมพันธ์ที่ต่ำมาก แต่ในทางตรงกันข้ามการทำนายค่าบริกซ์ด้วยผลการตอบสนองต่อแสงของสเปกโตรมิเตอร์กลับได้ผลที่สูง เราจึงต้องทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างผลการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR กับค่าพิกเซลที่ได้จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ อีกทั้งวิเคราะห์ความแม่นยำของช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อแบบจำลองตามรูปที่ 4.8 อีกด้วย

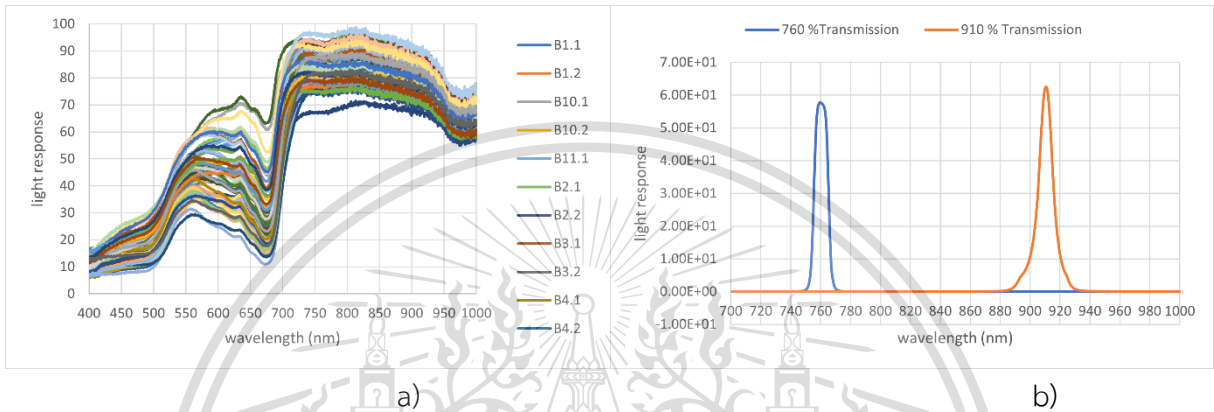
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

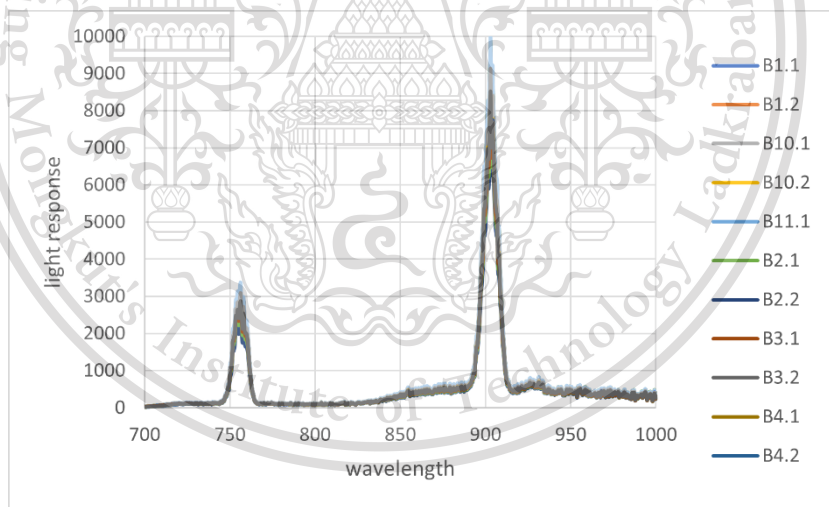
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR ของสเปกโตรมิเตอร์กับค่าพิกเซลจากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์

จากผลการทดลองที่กล่าวมาแล้วให้ผลการทำนายค่าพิกเซลด้วยค่าพิกเซลที่ยังไม่ดี เราจึงต้องพิจารณาว่าผลการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR นี้มีความสัมพันธ์กับค่าพิกเซลที่ได้จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์หรือไม่ โดยนำสเปกตรัมดิบของท่อนอ้อยทั้งหมดมาทำการครอบด้วยสเปกตรัมที่เป็นผลการตอบสนองต่อแสงของฟิลเตอร์ 760 และ 910 nm



รูปที่ 4.9 a) สเปกตรัมดิบของท่อนอ้อย b) ผลการตอบสนองต่อแสงของฟิลเตอร์ทั้งสองตัว



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของท่อนอ้อยหลังทำการครอบด้วยผลการตอบสนองต่อแสงของฟิลเตอร์ จากนั้นนำผลการตอบสนองต่อแสงที่ครอบแล้วนี้มาทำแบบจำลองทำนายค่าพิกเซลด้วยค่าพิกเซล โดยใช้โปรแกรม Unscramble version 10 (Unscrambler X 10.3, Camo, Norway)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.21 ผลการทำนายค่าฟลักเซลด้วยสเปกตรัมของท่อนอ้อยที่ถูกครอบแล้ว

Bandpass filter (nm)	R ²	RMSE
760 (750-770 nm)	0.603	162.68
910 (900-920 nm)	0.956	100.00

หมายเหตุ : R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย และ RMSE คือ Root Mean Square Error

จากตาราง 4.21 แสดงถึงการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR กับการตอบสนองต่อแสงที่ได้จากรูปภาพของท่อนอ้อยของกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์มีความสัมพันธ์กันสูง ดังนั้นเราพบว่าการตอบสนองต่อแสงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์กับการตอบสนองต่อแสงที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์มีความสัมพันธ์กัน และมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาต่อสำหรับการทำนายความหวานของอ้อย

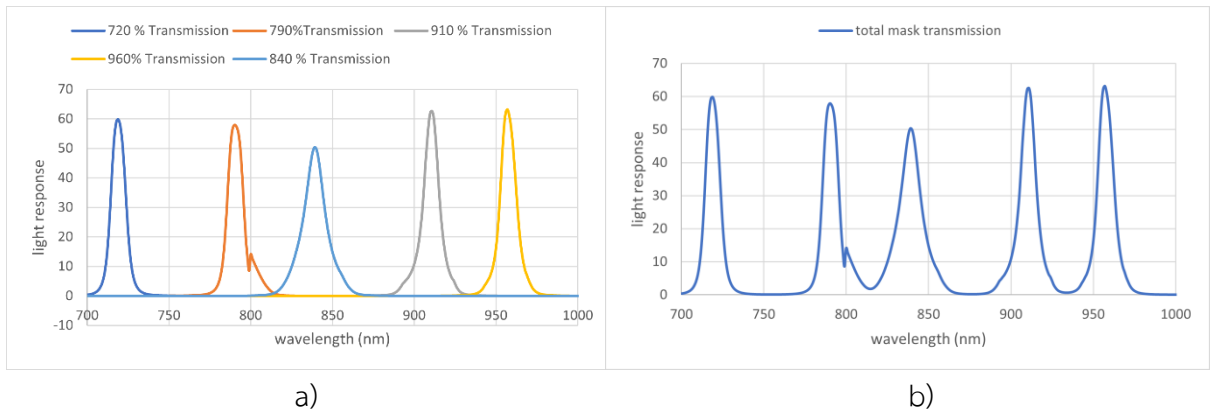
4.5.2 ความแม่นยำของช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับค่าบrixซ์ของท่อนอ้อย

จากผลการทดลองการทำนายค่าบrixซ์ด้วยผลการตอบสนองต่อแสงของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์นั้นให้ผลที่ดี อีกทั้งบ่งบอกความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.8 นั้น เราจึงวิเคราะห์ความแม่นยำของช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวว่ามีความสัมพันธ์กับค่าบrixซ์ของท่อนอ้อย โดยมีการวิเคราะห์ 2 แบบ คือ นำสเปกตรัมดิบของท่อนอ้อยทั้งหมดมาทำการครอบด้วยสเปกตรัมที่เป็นผลการตอบสนองต่อแสงของฟิลเตอร์ที่เราใช้ นั่นคือ 760 และ 910 nm อีกแบบหนึ่งคือช่วงฟิลเตอร์ที่ 726, 791, 846, 917 และ 962 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อแบบจำลอง เพื่อให้สเปกตรัมแสดงค่าการตอบสนองเฉพาะช่วงที่เราต้องการเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

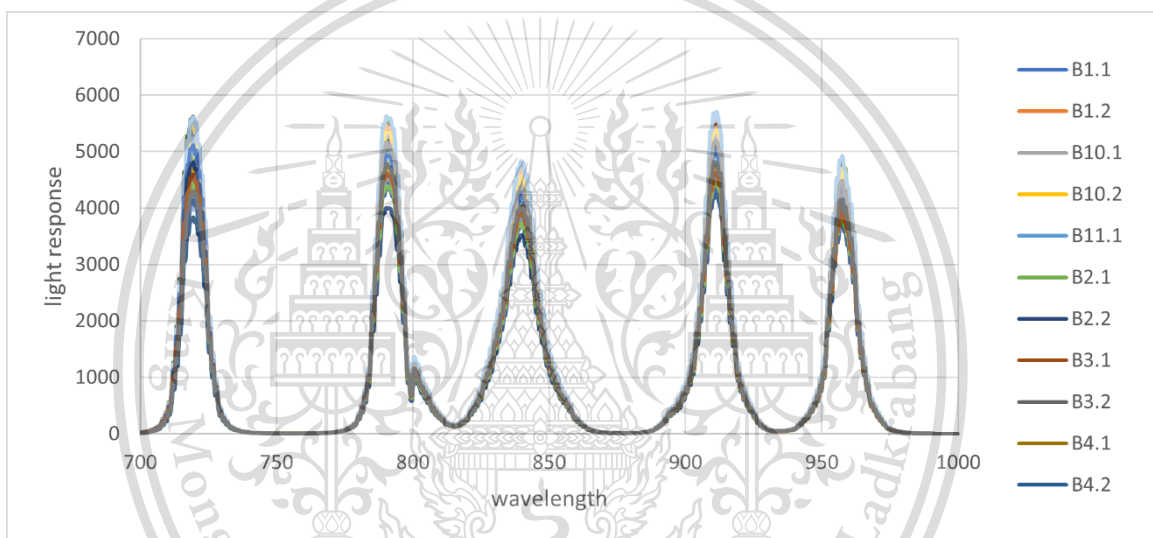
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 4.11 a) ผลการตอบสนองต่อแสงของช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับค่าปริกซ์ (แยกช่วง)

b) ผลการตอบสนองต่อแสงของช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับค่าปริกซ์ (ผลรวมทั้ง 5 ช่วง)



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของท่อนอ้อยหลังทำการครอบด้วยผลการตอบสนองต่อแสงของฟิลเตอร์ทั้ง 5 ช่วง

จากนั้นนำผลการตอบสนองต่อแสงที่ครอบแล้วนี้มาทำแบบจำลองทำนายค่าปริกซ์ด้วยค่าพิกเซล โดยใช้โปรแกรม Unscramble version 10 (Unscrambler X 10.3, Camo, Norway)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 4.22 ผลการทำนายค่าบริกซ์ด้วยสเปกตรัมของท่อนอ้อยที่ถูกครอบแล้ว

Bandpass filter (nm)	Pretreatment	R ²	RMSE
760 (750-770 nm), 910 (900-920 nm)	-	0.386	1.165
	MA + Mean normalization	0.460	1.092
	MA + Baseline offset	0.327	1.219
	MA + SNV	0.469	1.083
	MA + MSC	0.466	1.087
720 (710-730), 790 (780-800), 840 (830-850), 910 (900-920), 960 (950-970)	-	0.624	0.911
	MA + Mean normalization	0.761	0.727
	MA + Baseline offset	0.714	0.795
	MA + SNV	0.765	0.720
	MA + MSC	0.760	0.728

หมายเหตุ : R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย และ RMSE คือ Root Mean Square Error

จากตาราง 4.22 แสดงถึงการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR กับค่าบริกซ์ของสเปกตรัมที่ถูกครอบด้วยช่วงฟิลเตอร์เพียง 2 ช่วง (760, 910 nm) มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง แต่เมื่อพิจารณาแบบจำลองของการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR กับค่าบริกซ์ของสเปกตรัมที่ถูกครอบด้วยช่วงฟิลเตอร์ 5 ช่วง (720, 790, 840, 910, 960 nm) พบว่าความสัมพันธ์มีค่าสูงขึ้นและอยู่ในระดับที่สูง โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายสูงที่สุดเท่ากับ 0.765 และ RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 0.720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาแบบจำลองทำนายค่าบrixที่สร้างจากค่าการตอบสนองต่อแสงที่วัดได้จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ให้ค่า $R^2 = 0.721$ และ $RMSECV = 0.760$ °Brix ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ที่สูง นั้นหมายความว่าการทำนายค่าบrixด้วยการใช้สเปกโตรมิเตอร์ให้ผลที่ดี และเมื่อพิจารณา Regression coefficient plots ของแบบจำลองพบว่าความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อการทำนายค่าบrixด้วยการใช้สเปกโตรมิเตอร์ ได้แก่ 726, 791, 846, 917 และ 962 nm โดยที่ความยาวคลื่น 726 และ 791 nm สัมพันธ์กับการเกิดโอเวอร์โทนที่สามของ OH ของซูโครส ความยาวคลื่น 846 nm สัมพันธ์กับการเกิดคอมบินชันของ OH ความยาวคลื่น 917 nm สัมพันธ์กับการเกิดโอเวอร์โทนที่สามของ CH ของน้ำตาลและความยาวคลื่น 962 nm สัมพันธ์กับการเกิดโอเวอร์โทนที่สองของ OH และแบบจำลองทำนายค่าบrixที่สร้างจากค่าองค์ประกอบภาพที่ได้จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ ใช้วิธี Simple Linear Regression ให้ค่า $R^2 = 0.222$ ซึ่งให้ค่าที่ต่ำ แสดงถึงความสัมพันธ์ที่ต่ำเช่นกัน

เนื่องจากเราพบว่าการทำนายค่าบrixด้วยค่าพิกเซลนั้นให้ผลที่ไม่ดี เราจึงทดสอบผลการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR นี้กับค่าพิกเซลที่ได้จากกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ซึ่งจากการทดสอบพบว่าการทำนายค่าพิกเซลด้วยการตอบสนองของแสงที่วัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ให้ค่า $R^2 = 0.603$ และ $RMSECV = 162.68$ °Brix และ $R^2 = 0.956$ และ $RMSECV = 100.00$ °Brix เมื่อพิจารณาช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์ 760 และ 910 nm ตามลำดับ นั้นหมายความว่า การตอบสนองต่อแสงย่าน NIR กับการตอบสนองต่อแสงที่ได้จากรูปภาพของท่อนอ้อยของกล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์มีความสัมพันธ์กันปานกลางสำหรับช่วงฟิลเตอร์ 760 nm และมีความสัมพันธ์กันสูงสำหรับช่วงฟิลเตอร์ 910 nm

จากนั้นทำการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองโดยพิจารณาการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR กับค่าบrixของสเปกตรัมที่ถูกครอบด้วยช่วงฟิลเตอร์เพียง 2 ช่วง (760, 910 nm) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายสูงที่สุดเท่ากับ 0.469 และ RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 1.083 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในระดับค่อนข้างต่ำ นั้นหมายความว่า การใช้ช่วงความยาวคลื่น 2 ช่วงนี้ยังไม่สัมพันธ์กับการนำมาใช้ทำแบบจำลองทำนายค่าบrix แต่เมื่อพิจารณาแบบจำลองของการตอบสนองต่อแสงย่าน NIR กับค่าบrixของสเปกตรัมที่ถูกครอบด้วยช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์ 5 ช่วงที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อแบบจำลองที่ได้จากการทดลอง (720, 790, 840, 910, 960 nm) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายสูงที่สุดเท่ากับ 0.765 และ RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 0.720 ซึ่งมีความสัมพันธ์สูงขึ้น

ดังนั้นการทำนายค่าความหวานของอ้อยโดยใช้กล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์ยังคงมีความเป็นไปได้ โดยการเลือกใช้ฟิลเตอร์เพียง 2 ช่วงความยาวคลื่นนั้นไม่เพียงพอ ควรเลือกใช้จำนวนฟิลเตอร์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

มากขึ้นและเป็นฟิลเตอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อยโดยเฉพาะ เพื่อลดสัญญาณรบกวนและเพื่อให้การทำนายมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการทำนายค่าความหวานของอ้อยโดยใช้กล้องโมโนโครมที่ติดตั้งฟิลเตอร์มีความเป็นไปได้ แต่ยังคงพิจารณาหลากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความหวาน การเตรียมตัวอย่างทั้งตัวอย่างที่เป็นของแข็งคือท่อนอ้อยและตัวอย่างที่เป็นของเหลวคือน้ำอ้อย รวมถึงภาวะที่ใช้บรรจุของเหลวในการทดลอง ปริมาณแสงที่เพียงพอและเหมาะสม การกระจายตัวของแสงที่ใช้ในการทดลองซึ่งทำให้อ้อยได้รับแสงไม่สม่ำเสมอทุกส่วนของท่อนส่งผลให้การอ่านค่าภาพผิดพลาดได้ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดแสงในการทดลองที่ส่องมาโดนตัวกล้องทำให้กล้องร้อน จึงต้องมีการพักไฟเพื่อให้กล้องที่โดนความร้อนนั้นเย็นลง อีกทั้งในการทดลองถ่ายภาพด้วยกล้องโมโนโครมนั้น ต้องกำหนดขนาดภาพอ้างอิงในหน่วย cm หรือ mm ที่เหมาะสมในการใช้วิเคราะห์ค่าพิกเซล รวมถึงถ่ายรูปท่อนอ้อยโดยรอบทั้งท่อนและพิจารณาค่าพิกเซลว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ นอกจากนี้ในการทำแบบจำลองควรทดลองนำตัวอย่างท่อนอ้อยที่มีความผิดปกติมาทำการวิเคราะห์ด้วย

ดังนั้นในอนาคตควรพิจารณาการกำหนดขนาดและระยะต่างๆ ในการทดลอง การกระจายตัวของแสง การควบคุมอุณหภูมิความร้อนในการทดลอง เลือกใช้ฟิลเตอร์จำนวนมากขึ้นและเป็นฟิลเตอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความหวานของอ้อยโดยเฉพาะเพื่อลดสัญญาณรบกวน และยังคงต้องมีการพัฒนาการทดลองให้มีความแม่นยำและสะดวกมากขึ้น ใช้งานได้กับอ้อยหลายสายพันธุ์ รวมถึงพัฒนาให้สามารถนำไปใช้ในระบบออนไลน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณะพล ลีไพฑูรย์. (2561). การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทอง โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบออนไลน์และออฟไลน์. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กิตติศักดิ์ เพ็ชรพันธ์. (2562). เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ในการพัฒนาระบบติดตามความหวานของ อ้อยแบบออนไลน์บนสายพานลำเลียง. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เกษม สุขสถาน. (2523). ลักษณะต่างๆ ไปและลักษณะทางพฤกษศาสตร์. ค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2564, จาก <https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=5&chap=3&page=t5-3-infodetail05.html>
- เกษม สุขสถาน. (2523). การสร้าง การเคลื่อนย้าย การใช้และการเก็บน้ำตาลของอ้อย. ค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2564, จาก <https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=5&chap=3&page=t5-3-infodetail07.html>
- ขวัญตรี แสงประชานารักษ์. (2562). AI โดรนวัดความหวานของอ้อย. ค้นเมื่อ 13 เมษายน 2563, จาก <http://sugar-asia.com>
- คมสันต์ ศรีคงเพชร, มนัสชัย จิงตระกูล, โรจน์ลักษณ์ ปรีชา และวัชรพงศ์ รัชตเวชกุล. (2560). ก้าวสู่บริบทใหม่ของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลไทย. ค้นเมื่อ 19 มีนาคม 2564, จาก https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/Doelib_Seminar60/41_Paper_SugarcaneIndust.pdf
- เทวา เมลลานนท์, ทักษิณา ศันสยะวิชัย, ปรีชา กาเพชร, เพียงเพ็ญ ศรวัต, วีระพล พลรักดี และอุดม เลียบวัน. (2554). ขอนแก่น 3 พันธุ์อ้อยสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสารวิชาการเกษตร, 29(3), 284-285.
- รณฤทธิ์ ฤทธิธณ. (2552) การสร้างระบบ NIR สำหรับการวิเคราะห์ประจำวัน. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2563, จาก <http://www.ocsb.go.th/th/webboard/detail.php?ID=2209&>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รวิภัทร ลากเจริญสุข. (2561) เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายตัวอย่าง. เอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลักษณะงานนี้ให้ข้อมูลเบื้องต้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ประกอบการสอนวิชาการระบบสมัยใหม่เพื่อการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพผลิตผลเกษตร.

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

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

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิริยภิตต์ พุทธสัมฤทธิ์ และอภิชาติ ตะลูนเพทย์. (2559). **การวิเคราะห์การส่งผ่านราคาน้ำตาลทรายของไทย**. กรุงเทพฯ: วารสารเศรษฐศาสตร์รามคำแหง.

kwanhathaisain. **สารอินทรีย์**. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2563, จาก

<https://sites.google.com/site/kwanhathaisain/bth-thi2/2-2-sar-xinthriy>

silllovely. (2013) **เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image processing)**. ค้นเมื่อ 13 เมษายน

2563, จาก <https://silllovely.wordpress.com>

อุลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (Ultraviolet-Visible Spectroscopy). ค้นเมื่อ 17

สิงหาคม 2563, จาก

http://cheqa.rmuti.ac.th/rmuti_1600/1.curriculum/17.MCHS/%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%A7%E0%B8%94%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%203/%E0%B8%84%E0%B8%A1.3.1-5.1.pdf

Golic, M., Wals, K. and Lawson, P. (2003). **Short-wavelength near infrared spectra of sucrose, glucose, and fructose with respect to sugar concentration and temperature**. Applied Spectroscopy.

Hans, G. [RNIR]. (2018). **Basic NIR spectra processing**. ค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2563, จาก

<http://guifh.github.io/RNIR/>

Isaac Weiss. (2020) **Digital Images**. ค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2563, จาก

<https://www.encyclopedia.com/computing/news-wires-white-papers-and-books/digital-images>

Koike, T., Ogawa, Y., Kondo, N., Takahashi, N., Taniwaki, M., Tuan, N.Q., Fukuzono, K.,

Fukushima, M. and Nakano, M. (2010). **Image Measurement System for**

Estimating Serum Vitamin A Level of Beef Cattle Using a Monochrome

Camera. International Federation of Automatic Control.

Kongkrich R. (2013) **Near Infrared Spectrometer**. ค้นเมื่อ 13 เมษายน 2563, จาก

<http://near-infrared.blogspot.com/2013/12/nir.html>

Nawi, N.M., Chen, G., Jensen, T. and Mehdizadeh, S.A. (2013). **Prediction and**

classification of sugar content of sugarcane based on skin scanning using

visible and shortwave near infrared. Biosystems Engineering.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- Nawi, N.M., Jensen, T. and Chen, G. (2012). **The Application of Spectroscopic Methods to Predict Sugarcane Quality Based on Stalk Cross-sectional Scanning.** Journal American Society of Sugar Cane Technologists.
- Nawi, N.M., Kamal Md, R., Chen, G. and Jensen, T. (2014). **Prediction of Sugarcane Quality Parameters Using Visible-shortwave Near Infrared Spectroradiometer.** Agriculture and Agricultural Science Precedia.
- NEXTSOFTWAREHOUSE. (2014) **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล.** ค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2563, จาก <https://nextsoftwares.wordpress.com/2014/05/22/>
- Rafael c. Gonzalez. **Digital Image Processing.** ค้นเมื่อ 27 เมษายน 2563, จาก <https://www.geeksforgeeks.org/digital-image-processing-basics/>
- Salguero-Chaparro, L., Baeten, V., Abbas, O. and Peña-Rodriguez F. (2012). **On-line analysis of intact olive fruits by vis-NIR spectroscopy: Optimisation of the acquisition parameters.** Journal of Food Engineering.
- Solomon and Fryhle. (2007). **Organic Chemistry.** ค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2563, จาก <https://www.encyclopedia.com/computing/news-wires-white-papers-and-books/digital-images>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



ภาคผนวก ก

วิธีการใช้เครื่องคั่นน้ำอ้อยแบบไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

วิธีการใช้เครื่องคั้นน้ำอ้อย



เครื่องคั้นน้ำอ้อย

1. นำท่อนอ้อยมาวางไว้ที่แทนวางอ้อย และนำ moisture can มาวางรองน้ำอ้อย



2. ปิดวาล์วของเครื่องไฮดรอลิก
3. โยกคันโยกให้หัวกดเคลื่อนที่ลงมาที่ท่อนอ้อยให้ท่อนอ้อยถูกแรงกดจนแตกและมีน้ำอ้อยไหลออกมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเชิงพาณิชย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่ข้อมูลนี้ออกไปโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4. เปิดวาล์วของเครื่องไฮดรอลิก ทำให้หัวกดเคลื่อนที่ขึ้นไปจุดเดิม
5. ได้น้ำอ้อยจากท่อนอ้อย และนำซากอ้อยที่คั้นน้ำแล้วไปทิ้ง
6. เช็ดทำความสะอาดส่วนหัวกดและส่วนแท่นวางท่อนอ้อยด้วยผ้าเปียกและกระดาษทิชชูก่อนการคั้นน้ำครั้งต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



ภาคผนวก ข

วิธีการใช้เครื่อง Refractometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

วิธีการใช้เครื่อง Refractometer



เครื่อง refractometer (Pocket PAL-1, ATAGO, Japan)

1. กดปุ่ม START ค้างไว้เพื่อเปิดเครื่อง
2. ทดสอบความเที่ยงตรงโดยหยดน้ำกลั่นลงไปทีปริซึมแล้วกด START หน้าจอจะต้องแสดงผลค่าบริกซ์เท่ากับ 0 %Brix

3. เทน้ำกลั่นทิ้ง ซับน้ำกลั่นให้แห้ง
4. เริ่มการวัดน้ำอ้อยโดยหยดน้ำอ้อยผ่านกระดาษกรองลงไปทีปริซึม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

5. กดปุ่ม START รอ 5 วินาที หน้าจอจะแสดงค่าปริมาตรของน้ำอ้อย จากนั้นจดบันทึกผลที่ได้



6. เทน้ำอ้อยจากปริซึมที่วัดค่าปริมาตรแล้วทิ้ง ใช้น้ำกลั่นฉีดทำความสะอาดแล้วซับให้แห้งด้วยทิชชู



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



ภาคผนวก ค

โค้ดโปรแกรม MATLAB สำหรับดึงค่าองค์ประกอบภาพ Pixel จากภาพถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โค้ดโปรแกรม MATLAB สำหรับดึงค่าองค์ประกอบภาพจากภาพอ้อยขนาด 100x100 pixels

```

cd C:\Users\CYBER\Desktop\Project\LAB\sugarcane\.raw\760nm\

dir_file760 = dir('*.raw');

N = 297 ;

file_name760 = struct('NN','');

x = 475;

y = 188;

rangex = 49;

rangey = 24;

for ii=1:N

    i760 = fopen(['C:\Users\CYBER\Desktop\Project\LAB\sugarcane\.raw\760nm\'
dir_file760(ii).name]);

    data760 = fread(i760,[640,1024],'uint16');

    X760 = data760 / 16

    file_name760(ii).NN = dir_file760(ii).name;

    icp760 = imcrop(X760,[x y rangex rangey]);

    mall760(ii) = mean(mean(icp760));

    SS760(ii) = std2(icp760);

end

cd C:\Users\CYBER\Desktop\Project\LAB\sugarcane\.raw\910nm\

dir_file910 = dir('*.raw');

file_name910 = struct('NN','');

for ii=1:N

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 910 = fopen(['C:\Users\CYBER\Desktop\Project\LAB\sugarcane\.raw\910nm\'
 ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม ห้ามแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```
data910 = fread(i910,[640,1024],'uint16');  
X910 = data910 / 16  
  
file_name910(ii).NN = dir_file910(ii).name;  
icp910 = imcrop(X910,[x y rangex rangey]);  
mall910(ii) = mean(mean(icp910));  
SS910(ii) = std2(icp910);  
  
end
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โค้ดโปรแกรม MATLAB สำหรับดึงค่าองค์ประกอบภาพจากภาพอ้อยขนาด 50x50 pixels

```

cd C:\Users\CYBER\Desktop\Project\LAB\sugarcane\.raw\760nm\

dir_file760 = dir('*.raw');

N = 297 ;

file_name760 = struct('NN','');

x = 475;

y = 188;

rangex = 49;

rangey = 24;

for ii=1:N

    i760 = fopen(['C:\Users\CYBER\Desktop\Project\LAB\sugarcane\.raw\760nm\'
dir_file760(ii).name]);

    data760 = fread(i760,[640,1024],'uint16');
    X760 = data760 / 16
    file_name760(ii).NN = dir_file760(ii).name;
    icp760 = imcrop(X760,[x y rangex rangey]);
    mall760(ii) = mean(mean(icp760));
    SS760(ii) = std2(icp760);

end

```

```

cd C:\Users\CYBER\Desktop\Project\LAB\sugarcane\.raw\910nm\

```

```

dir_file910 = dir('*.raw');

```

```

file_name910 = struct('NN','');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

```

for ii=1:N

    i910 = fopen(['C:\Users\CYBER\Desktop\Project\LAB\sugarcane\.raw\910nm\'
dir_file910(ii).name]);

    data910 = fread(i910,[640,1024],'uint16');

    X910 = data910 / 16

    file_name910(ii).NN = dir_file910(ii).name;

    icp910 = imcrop(X910,[x y rangex rangey]);

    mall910(ii) = mean(mean(icp910));

    SS910(ii) = std2(icp910);

end

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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