การประเมินปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางพาราสดและข้น ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Evaluation of volatile fatty acid number of field and concentrated latex of Para rubber by near infrared spectroscopy

ขยาพร หมอยาดี

ปรมินทร์ สุรสรณ์

วัชพล แก้วพันธุ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประเมินปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางพาราสดและข้น ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Evaluation of volatile fatty acid number of field and concentrated latex of Para rubber by near infrared spectroscopy

T129476

ชยาพร หมอยาดี

ปรมินทร์ สุรสรณ์

วัชพล แก้วพันธุ์

วน.
ว195 ก
2555
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 129476
วัน,เดือน,ปี 6 ส.ค. 2556
.b.12591003
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Evaluation of volatile fatty acid number of field and concentrated latex of Para rubber by near infrared spectroscopy

Chayaporn Moryadee
Poramin Surason
Watchapol Kaeophanth

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERRING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2555
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การประเมินปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางพาราสดและข้น ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
Evaluation of volatile fatty acid number of field and concentrated latex of Para rubber by near infrared spectroscopy

นักศึกษาผู้จัดทำ
นางสาวชยาพร หมอยาดี **รหัสนักศึกษา** 52010216
นายปรมินทร์ สุรสรณ์ **รหัสนักศึกษา** 52010670
นายวัชพล แก้วพันธุ์ **รหัสนักศึกษา** 52011082

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2555

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์	
Mr. Lim Chin Hock	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประเมินปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางพาราสดและข้นด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวชยาพร หมอยาดี 52010216
	นายปรมินทร์ สุรสรณ์ 52010670
	นายวัชพล แก้วพันธุ์ 52011082
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	Mr. Lim Chin Hock
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีด้วยเครื่อง Shortwave Spectrometer ในช่วงคลื่นสั้น (700-1100 nm) และเครื่อง FT-NIR Spectrometer ในช่วง 12500-3600 cm^{-1} เพื่อตรวจสอบหาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพารา (Volatile fatty acid number) ด้วยวิธีการส่องผ่าน (Transmittance) ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ครั้ง และ ด้วยวิธีการสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse Reflectance) ตัวอย่างละ 1 ซ้ำ ตามลำดับ จำนวน 168 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำยางสด 117 ตัวอย่าง น้ำยางข้น 51 ตัวอย่าง จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมแบบการดูดกลืนแสง (Absorbance spectra) ไปวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองทำนายค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ด้วยวิธี Partial least square regression (PLSR) จากการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราสดและข้นที่ผ่านการจัดการทางคณิตศาสตร์โดยวิธี Vector Normalization (SNV), 1^{st} derivative + Vector Normalization (SNV), 1^{st} derivative โดยการคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากค่า coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP), Residual Prediction Deviation (RPD) และค่า Bias ต่ำที่สุด พบว่าแบบจำลองในการทำนายปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราที่สร้างจากสเปกตรัมที่ผ่านการ Vector Normalization (SNV) สำหรับเครื่อง FT-NIR Spectrometer ที่ช่วงจำนวนคลื่น 7506.0 – 4597.7 cm^{-1} และ Rank (PLS factor) = 10 ให้การทำนายได้ดีและแม่นยำกว่า เครื่อง Shortwave Spectrometer โดยมีค่า coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP), Residual Prediction Deviation (RPD) และ Bias สำหรับการทำนายปริมาณกรดไขมันระเหยได้ คือ 60.440%, 0.107, 1.650 และ 0.029 ตามลำดับ

คำสำคัญ: น้ำยางพารา; เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี; ปริมาณกรดไขมันระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Evaluation of volatile fatty acid number of field and concentrated latex of Para rubber by near infrared spectroscopy
Authors	Miss Chayaporn Moryadee 52010216 Mr. Poramin Surason 52010670 Mr. Watchapol Kaeophanth 52011082
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon Mr. Lim Chin Hock
Year	2012

Abstract

The objective of this research was study near infrared (NIR) spectroscopy with shortwave spectrometer in the short wave NIR (700-1100 nm) and FT-NIR Spectrometer in the wavenumber of 12500-3600 cm^{-1} for evaluation of volatile fatty acid number. The spectrum was obtained by transmission mode with two replicates per a sample and 5 scans per replicate and by diffuse reflectance mode with one replicate per sample and one scan per replicate, respectively. There were 168 samples including field latex of 117 samples and concentrated latex of 51 samples. The calibration models were developed by original and pretreated absorbance spectra using partial least square regression (PLSR). The pretreatment methods were vector Normalization (SNV), 1^{st} derivative + vector normalization (SNV), 1^{st} derivative. By statistical analysis, the model developed from vector normalization (SNV) pretreated spectra from FT-NIR Spectrometer in the wavenumber of 7506.0 – 4597.7 cm^{-1} and with the rank (PLS factor) of 10 provided the better accuracy in prediction than shortwave spectrometer. The coefficient of determination (R^2), root mean square error of prediction (RMSEP), residual prediction deviation (RPD) and bias were 60.440%, 0.107, 1.650 and 0.029, respectively.

Keyword: Para rubber latex; Near infrared spectroscopy; volatile fatty acid number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงงานฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเท็กซ์ คอปอร์เรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อ น้ำยางพารา ในการทำวิจัย และหลักสูตร วิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูลน้ำยางพารา

รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาด้านวิชาการและการจัดทำโครงงาน หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขา วิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระ บัง ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอนและให้กำลังใจในในการทำโครงงานมาโดยตลอด

Mr. Lim Chin Hock ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาและพนักงาน บริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเท็กซ์ คอปอร์เรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ช่วยฝึกสอนการ ทดลองวัดปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยาง และช่วยสืบค้นข้อมูลเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ความคิด คอยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการจัดทำโครงงาน

เพื่อนๆ รุ่น 27 K หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆคนที่คอยให้กำลังใจในการทำโครงงาน

คณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณทุกๆท่านที่ได้ให้การสนับสนุนการทำงานและกำลังใจแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด กระทั่งการศึกษาค้นคว้าโครงงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำมีความซาบซึ้งใ น ความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านที่ได้กล่าวนามมา และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นางสาวชยาพร หมอยาดี
นายปรมินทร์ สุรสรณ์
นายวัชพล แก้วพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....V

สารบัญตาราง.....X

สารบัญรูป.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....1

1.3 ขอบเขตการศึกษา.....2

1.4 แผนการดำเนินงาน.....2

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับยางพารา.....4

2.1.1 ยางพารา (Para Rubber).....4

2.1.2 น้ำยางสด.....5

2.1.2.1 การรักษาสภาพน้ำยางพาราสด.....6

2.1.3 น้ำยางข้น.....6

2.1.3.1 แนวทางทำน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางข้น.....6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.1.3.2 การรักษาสภาพน้ำยางข้นในปัจจุบัน....6

2.1.4 การแยกตัวของน้ำยางเมื่อถูกปั่น....7

2.1.5 การทดสอบหากรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid ,VFA)....8

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ NIR (Near-infrared) Spectroscopy....13

2.2.1 หลักการพื้นฐานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Spectroscopy)....14

2.2.2 ช่วงคลื่นอินฟราเรด....15

2.2.3 ส่วนประกอบและวิธีใช้งาน NIR SPECTROMETER....16

2.3 ทฤษฎี Chemometric....18

2.3.1 วิธีปรับแต่ง NIR Spectra ก่อนการวิเคราะห์....18

2.3.1.1 การลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน....18

2.3.1.2 การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์....21

2.3.1.2.1 Smoothing....21

2.3.1.2.2 Multiple Scatter Correction (MSC): แบบ Full MSC....21

2.3.1.2.3 Standard Normal Variate (SNV)....22

2.3.1.2.4 Derivative....22

2.3.1.2.5 Normalization....22

2.3.1.2.6 Baseline offset....23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.2 การสร้างสมการ Calibration 23

2.3.2.1 Principal Components Analysis (PCA).....23

2.3.2.2 Partial Least Square (PLS) 24

2.3.3 สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการประเมินความแม่นยำ
และความถูกต้องของแบบจำลองการทำนาย.....24

2.3.3.1 ค่าเฉลี่ย (Mean).....24

2.3.3.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD).....24

2.3.3.3 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias).....24

2.3.3.4 สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์
(Coefficient of correlation, r).....25

2.3.3.5 สัมประสิทธิ์การพิจารณา
(Coefficient of determination, R^2).....25

2.3.3.6 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง
(Standard error of calibration, SEC).....26

2.3.3.7 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย
(Standard error of prediction, SEP).....26

2.3.3.8 ค่าเฉลี่ยกำลังสองของการทำนาย
(Root mean square of the prediction, RMSEP).....26

2.3.3.9 อัตราส่วนระหว่าง SEP กับ SD
(Ratio of SEP to the SD, RPD).....26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.3.10 อัตราส่วนระหว่าง SEP กับช่วงข้อมูล

(Ratio of the SEP to the range, RER).....26

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....27

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....29

3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....29

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....30

3.2.1 Shortwave near infrared spectrophotometer.....30

3.2.2 คิวเวต (Quartz).....31

3.2.3 เครื่อง FT-NIR Spectrometer model MPA 32

3.2.3 อุปกรณ์อื่นๆ.....32

3.3 การวัดสเปกตรัมของน้ำยางพาราสดและข้น 33

3.4.1 การวัดสเปกตรัมเครื่อง Near-Infrared Spectroscopy.....33

3.4.2 การวัดสเปกตรัมเครื่อง FT-NIR Spectrometer model MPA 34

3.4 การวัดสเปกตรัมของกรดไขมันระเหยได้บริสุทธิ์ที่มีในน้ำยางพารา.....34

3.5 การวัดกรดไขมันระเหย (VFA) 35

3.3.1 วิธีการหากรดไขมันระเหย (VFA) ของน้ำยางพารา.....35

3.6 การวัด Laboratory Performance.....38

3.7 การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองในการทำนายค่า 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....40

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....47

เอกสารอ้างอิง.....48

ภาคผนวก.....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน....2

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบโดยประมาณของน้ำยางพาราสด....5

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของน้ำยางพาราสดและข้น....7

ตารางที่ 2.3 ช่วงคลื่นแม่เหล็กย่านอินฟราเรด....15

ตารางที่ 2.4 การแปลความหมายของค่า r....25

ตารางที่ 2.5 การอธิบายผลของค่า RPD และ RER....27

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างน้ำยางสดและข้นสำหรับ
เครื่อง Spectrometer [AVA-Spec2048-USB2, Avantes]....41

ตารางที่ 4.2 ตารางข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างน้ำยางสดและข้นสำหรับ
เครื่อง FT-NIR Spectrometer model MPA, Bruker]....42

ตารางที่ 4.3 Laboratory performance สำหรับค่ากรดไขมันระเหยได้
ในน้ำยางพาราสดและข้น....43

ตารางที่ 4.4 ตารางผลของการทำ PLS regression สำหรับปริมาณกรดไขมันระเหยได้
(VFA No.) ของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับเครื่อง Spectrometer
[AVA-Spec2048-USB2, Avantes]....44

ตารางที่ 4.5 ตารางผลของการทำ PLS regression สำหรับปริมาณ
กรดไขมันระเหยได้ (VFA No.) ของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับเครื่อง MPA....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ....4

รูปที่ 2.2 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ....14

รูปที่ 2.3 แผนภาพลำดับการเชื่อมต่อเครื่อง NIR....16

รูปที่ 2.4 ตัวอย่าง NIR Spectrum ที่ไม่เรียบมีสัญญาณรบกวนแทรก....18

รูปที่ 2.5 จำนวนจุดทั้งสองด้าน (m = 2,n =5) ของการเฉลี่ย....19

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการใช้ Savizky-Golay smooth....20

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างน้ำยางพาราข้นและสด....25

รูปที่ 3.2 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ NIR SPECTROMETER....29

รูปที่ 3.3 คิวเวต (Quartz)....31

รูปที่ 3.4 เครื่อง FT-NIR Spectrometer model MPA....31

รูปที่ 3.5 Teflon (รูปตัว T) หนา 10 mm....33

รูปที่ 3.6 การกลั่นกรดที่ได้จากน้ำยาง....37

รูปที่ 3.7 การไตเตรทหา VFA....38

รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของการดูดกลืนคลื่นเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั่นของกรด....40

รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของการดูดกลืนคลื่นเนียร์อินฟราเรด

ช่วงคลื่นสั้นของน้ำยางสดและน้ำยางข้น....41

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพารา....46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.4 ค่า Regression coefficient ที่ความยาวคลื่นต่างๆ
ของแบบจำลองเพื่อวัดปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพารา 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย [1,15]

เนื่องจากยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย และเป็นพืชที่สร้างมูลค่าสูงเป็นอันดับต้นๆ ให้แก่ประเทศ ในปัจจุบันราคาของยางพารามีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการซื้อขายยางพาราทั้งในรูปแบบยางแผ่นและน้ำยางสด โรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตจึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของยางพาราก่อนการกำหนดราคาซึ่งการตรวจสอบโดยทั่วไปนั้น ต้องทำการนำตัวอย่างยางพาราไปทำการวัดค่าต่างๆ เช่น ปริมาณแมงกานีส (Manganese Content) ความเป็นด่างของน้ำยาง (Deformation of alkalinity) กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) ปริมาณทองแดง (Copper Content) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความคงตัวเชิงกล (Mechanical Stability) ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา (Dry rubber content) เป็นต้น ซึ่งปริมาณสารเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการตัดสินใจในการกำหนดราคาซื้อขายน้ำยางพาราระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย ซึ่งจะต้องนำตัวอย่างน้ำยางเข้าไปทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งต้องใช้เวลาในการทดสอบและรอผลเป็นเวลาอย่างน้อย 1วัน ซึ่งหากทิ้งน้ำยางไว้นานเกินก็อาจทำให้ค่ากรดไขมันระเหยสูงขึ้นทำให้น้ำยางเริ่มบูดเน่าจับตัวเป็นก้อน เนื่องมาจากการกระทำของจุลินทรีย์ที่ใช้คาร์โบไฮเดรตในเซรั่มของน้ำยางเป็นอาหาร ดังนั้นเราจึงสนใจที่จะนำเทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Spectroscopy) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยาง (Volatile fatty acid number) ให้มีความถูกต้องแม่นยำและช่วยลดระยะเวลาในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางพาราให้น้อยลง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบว่าเทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Spectroscopy) ด้วยเครื่อง Short wave spectrometer [AVA-Spec-2048-USB2, Avantes] ในช่วงคลื่นสั้น (700-1100 nm) และเครื่อง FT-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NIR spectrometer [MPA, Bruker] ในช่วง 12500-3600 cm^{-1} สามารถตรวจสอบปริมาณกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid number) ในน้ำยางพาราสดและข้นได้อย่างถูกต้อง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาการทดสอบหาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยาง (Volatile fatty acid number) ในน้ำยางพาราสดและข้น โดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Spectroscopy) ด้วยเครื่อง Shortwave Spectrometer [AVA-Spec2048-USB2, Avantes] ใช้ความยาวคลื่นที่ 350 – 1100 nm ด้วยวิธีการส่องผ่านของแสง (Transmittance) และเครื่อง FT-NIR Spectrometer [MPA, Bruker] ในช่วง 12500-3600 cm^{-1} แบบวิธีการสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse Reflectance) ในช่วง 12500-3600 cm^{-1}

1.4 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี/เดือน									
	พ.ศ. 2555							พ.ศ. 2556		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.หาข้อมูล										
2.เตรียมเครื่องมือ/วัสดุอุปกรณ์										
3.วางแผนการทดลอง										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ทำการทดลองจริงที่โรงงาน										
5.วิเคราะห์ผลการทดลอง/สร้างแบบจำลอง										
6.สรุปผลการทดลอง/เขียนรายงาน										

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ประหยัดเวลาในการตัดสินใจในการกำหนดราคาซื้อขายน้ำยางพาราสดและข้นระหว่างผู้รับซื้อและโรงงานผลิตน้ำยางสดและข้นรวมทั้งลดต้นทุนในการนำน้ำยางมาวิจัยโดยผ่านวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Spectroscopy) เพียงวิธีเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

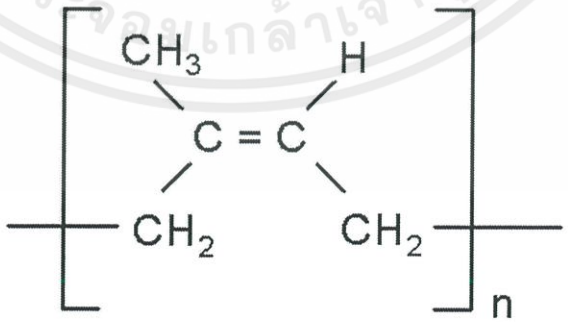
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับยางพารา

2.1.1 ยางพารา (Para Rubber) [1]

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ที่มีอายุยืนยาวนับร้อยปี มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Hevea brasiliensis จัดอยู่ใน Family Euphorbiaceae มีถิ่นกำเนิดมาจากทวีปอเมริกาใต้ องค์การสากลระหว่างประเทศได้ยอมรับคำ ว่า "ยางพารา" (Para Rubber) เป็นตัวแทนของยางธรรมชาติ เนื่องจากร้อยละ 99 ของยางธรรมชาติที่ปลูกเป็นพืชชนิดนี้ ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี isoprene (C_5H_8) เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรม ชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงแล ะกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ [1 อ้างจาก 10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น [2]

2.1.2 น้ำยางสด [3 อ้างจาก 10]

น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม โดยมีอนุภาคยางแขวนลอย อยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ อนุภาคยางมีรูปร่างกลมหรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05 - 5 ไมครอน ความหนาแน่น 0.975 - 0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีความเป็นกรด - ด่างประมาณ 6.5 - 7.0 มีส่วนประกอบดังนี้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบโดยประมาณของน้ำยางพาราสด [1 อ้างจาก 10]

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36
- เนื้อยางแห้ง	33
- สารกลุ่มโปรตีนและไขมัน	1 – 1.2
- สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรท	1
- เถ้า	≤ 1
น้ำ	64

ผิวของอนุภาคยางมีเยื่อหุ้ม (membrane) ที่ประกอบด้วยไขมันและโปรตีน โดย แต่ละอนุภาคมีอนุมูลลบของโปรตีนอยู่รอบนอก ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งมีผลให้ น้ำยางสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ ดังนั้นเมื่อมีการทำลาย เยื่อหุ้มอนุภาค หรือมีการสะเทินอนุมูลลบ จะทำให้อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางเกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 การรักษาสภาพน้ำยางพาราสด [1]

เมื่อได้น้ำยางสดจากต้นยางหากไม่มีการรักษาสภาพน้ำยาง จุลินทรีย์ในอากาศจะปะปนในน้ำยางและใช้สารกลุ่มน้ำตาลเป็นอาหารทำให้เกิดความเป็นกรด นั่นคือมีอนุมูลบวกเกิดขึ้นและเกิดปฏิกิริยาสะเทินกับอนุมูลลบรอบ ๆ ผิวอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางเสียสภาพก่อนจะนำ ไปแปรรูป ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางโดยการเติมสารเคมี เช่น

สารละลายแอมโมเนีย ร้อยละ 0.05 ต่อน้ำหนักน้ำยาง

สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ ร้อยละ 0.02 – 0.05 ต่อน้ำหนักน้ำยาง

2.1.3 น้ำยางข้น [4]

น้ำยางข้น หมายถึง น้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น โดยน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นแล้วจะมีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อยละ 55-65 ซึ่งสูงกว่าน้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อยละ 25-30 ทำให้สามารถทำการขนส่งได้ง่ายขึ้นเป็นอย่างมาก

2.1.3.1 แนวทางทำน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางข้นอย่างง่ายๆ ได้ 3 วิธี

1. การให้ความร้อนเพื่อให้ส่วนที่เป็นน้ำระเหยออกไปเรียกว่า (Evaporation Method) น้ำยางข้นที่ได้เรียก Evaporation Latex

2. การเติมสารบางอย่าง (Creaming Agents) ลงไปเพื่อทำให้อนุภาคยางโตขึ้นและหยุดการเคลื่อนที่เรียกว่า (Creaming Method) และน้ำยางที่ได้เรียก Creamed Latex

3. การแยกเอาส่วนที่ไม่ใช่ยางซึ่งมีทั้งส่วนที่เป็นน้ำและส่วนที่เป็น ของแข็ง (Non-Rubber solid) ออกจากส่วนที่เป็นยางโดยใช้แรงเหวี่ยง (Centrifuging Force) น้ำยางที่ได้เรียก Centrifuged Latex วิธีนี้นิยมกันมากเพราะทำได้เร็วและน้ำยางข้นที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นด้วย ประเทศไทยเราผลิตน้ำยางข้นโดยใช้วิธีนี้กันหมดทั้งประเทศ

2.1.3.2 การรักษาสภาพน้ำยางข้นในปัจจุบันมีใช้อยู่ 5 ระบบ คือ

1. น้ำยางข้นแอมโนเนียสูง ใช้สารละลายแอมโนเนียปริมาณร้อยละ 0.7
2. น้ำยางข้นแอมโนเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายโซเดียมเพนตะคลอโรฟีเนตปริมาณร้อยละ 0.2

3. น้ำยางข้นแอมโนเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับสารละลายกรดบอริคปริมาณร้อยละ 0.24

4. น้ำยางข้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโนเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับซิงค์ไดเธิลไดไธโอคาร์บาเมท (ในรูปดิสเพิสชัน) ปริมาณร้อยละ 0.2

5. น้ำยางข้นแอมโนเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับเตทตระเมทธิลไธยูแรมไดซัลไฟด์ (ในรูปดิสเพิสชัน) ปริมาณร้อยละ 0.013 และซิงค์ออกไซด์ (ในรูปดิสเพิสชัน) ปริมาณร้อยละ 0.013

2.1.4 การแยกตัวของน้ำยางเมื่อถูกปั่น [4]

หากเข้าใจลักษณะของการแยกตัวขององค์ประกอบของน้ำยางสดเวลาถูกปั่นด้วยเครื่อง Centrifuging Machine แล้ว จะสามารถประมาณการ การใช้น้ำยางสดและน้ำยางข้นที่ได้อย่างถูกต้องน้ำยางสดเมื่อนำมาปั่น องค์ประกอบต่างๆ จะแยกตัวออกเป็นน้ำยางข้น (Concentrate Latex) และหางน้ำยาง (Skim Latex) ดังนี้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบน้ำยางพารา [1 อ้างจาก 4]

องค์ประกอบ	น้ำยางสด (Field Latex) 100 g	น้ำยางข้น (concentrated Latex) 50 g	หางน้ำยาง (Skim Latex) 50 g
DRC	32.5 g	30 g 60%	2.5 g 5.0%
TSC	36.0 g	30.75 g 61.50%	5.25 g 10.50%
TSC-DRC	3.5 g	0.75 g 1.5%	2.75 g 5.50%
VFA No	0.10	0.060	0.040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบ	น้ำยางสด (Field Latex) 100 g	น้ำยางข้น (concentrated Latex) 50 g	หางน้ำยาง (Skim Latex) 50 g
Mg++	200 ppm on Latex	120 ppm	80 ppm
Serum	64 g	19.25 g 38.50%	44.75 g 89.50%
รวม	100 g	50 g 100%	50 g 100 %

จากตารางนี้จะเห็นว่า น้ำยางสด 100 กรัม ซึ่งมี DRC 32.5 กรัม เมื่อนำไปปั่นจะได้น้ำยางข้น 60%DRC ออกมา 50 กรัม และได้หางน้ำยางซึ่งมีเนื้อยางปนอยู่ 5.0% ออกมา 50 กรัม เช่นเดียวกัน.

2.1.5 การทดสอบหากรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid , VFA) [5]

วิธีการวัดกรดไขมันระเหย ที่ใช้เป็นวิธีมาตรฐานของโรงงานตามมาตรฐาน ISO 506:1992 (E) Natural rubber latex concentrate – Determination of volatile fatty acid number [17]

1. หลักการ

ทำให้ตัวอย่างทดสอบจับตัวด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต แยกเซรุ่มออกมาทำให้เป็นกรดด้วย กรดกำมะถัน กลั่นเซรุ่ม และไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานแบเรียมไฮดรอกไซด์

2. สารเคมี

ใช้เฉพาะสารเคมีชนิดคุณภาพวิเคราะห์ และน้ำกลั่นหรือสารบริสุทธิ์เทียบเท่าน้ำกลั่น

2.1 สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 30% (m/m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สารละลายกรดซัลฟิวริก 50% (m/m)

2.3 สารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ 0.005 โมลาร์ (M)

2.4 โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHP) 0.005 M

2.5 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนหรือโบรโมไธมอลบลู 0.5 % ในเอทานอล

2.6 สารป้องกันการเกิดฟอง (Silicone Antifoam)

3. เครื่องมือ/อุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์พื้นฐานในห้องปฏิบัติการ

3.2 เครื่องชั่งแบบวิเคราะห์อ่านได้ละเอียด 2 ตำแหน่ง (ชั่งได้ละเอียด 0.01g)

3.3 ถ้วยสแตนเลสก้นแบนที่มีความจุประมาณ 200 มิลลิลิตร (สำหรับใส่น้ำยางพารา)

3.4 อ่างน้ำอุ่น (water bath) อุณหภูมิ 60-80 °C $\pm$ 1°C

3.5 เครื่องกลั่น Markham Still

3.6 ขวดชมพู่ ขนาด 50, 250 มิลลิลิตร

3.7 แท่งแก้วคน

3.8 กระดาษกรองเบอร์ 1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

3.9 กระบอกตวง 100 มิลลิลิตร

3.10 ปิเปต ขนาด 5, 10, 25, 50 มิลลิลิตร

3.11 บิวเรต ขนาด 10 มิลลิลิตร

3.12 กระดาษฟรอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วิธีการ

4.1 การทดสอบหาความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแบเรียมไฮดรอกไซด์

4.1.1 เทสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ลงในบิวเรตขนาด 10 ml อ่านและบันทึกค่าที่ได้ลงในแบบฟอร์ม

4.1.2 ใส่สารละลายมาตรฐาน KHP ลงในถ้วยตวงรูปชมพู่ขนาด 50 ml ประมาณ 5 ml

4.1.3 หยดสารละลายฟีนอฟทาลีนความเข้มข้น 0.5% ประมาณ 2-3 หยด

4.1.4 ไตเตรตสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ลงในถ้วยตวงรูปชมพู่ จนสารที่ได้เป็นสีชมพู (จุดยุติ) อ่านและบันทึกค่าที่ได้ลงในแบบฟอร์ม

4.1.5 นำมาคำนวณหาความเข้มข้นสารแบเรียมไฮดรอกไซด์

4.2 การทดลอง VFA

4.2.1 เทน้ำยางลงในถ้วยสแตนเลสประมาณ 50g ± 0.5 g ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ)

4.2.2 ใส่สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 30% ลงไปในน้ำยางที่ชั่งได้ประมาณ 50 ml

4.2.3 นำถ้วยสแตนเลสไปอบที่ water bath และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 $^{\circ}C \pm 2\ ^{\circ}C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำยางจะแห้งจับตัวเป็นก้อน

4.2.4 นำถ้วยสแตนเลสออกจาก water bath แล้วนำมาคั้นเพื่อแยกเซรุ่มออกมาโดยกรองใส่บีกเกอร์ขนาด 50 ml ประมาณ 30-40 ml ผ่านกระดาษกรองเบอร์1

4.2.5 ใช้ปิเปตดูดเซรุ่มที่ได้จากการคั้นลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml ประมาณ 25 ml

4.2.6 เติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 50% ลงไปในบีกเกอร์ข้อที่ 5 ประมาณ 5 ml เขย่าให้เข้ากันโดยการแกว่งบีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 นำไปกลั่น โดยใช้ปิเปตดูดเซรุ่มที่ได้ทำเป็นกรดแล้วประมาณ 10 ml ปล่อยเข้าไปในเครื่องกลั่น MarkhamStill ที่จัดไว้เรียบร้อยพร้อมกับเติมสารป้องกันการเกิดฟอง 1 หยด แล้วบังคับให้ไอน้ำทั้งหมดเข้าไปในกรอบในโดยปิดปลายด้านล่างของกรอบนอก เริ่มต้นกลั่นให้ควบคุมให้แรงดันไอน้ำต่ำ รับของเหลวที่กลั่นได้ด้วยกระบอกตวง 100 ml จนกระทั่งกลั่นได้ของเหลวประมาณ 100 ml เพื่อนำไปไตเตรทหาค่ากรดไขมันระเหยได้ในน้ำยาง

4.2.8 ถ่ายของเหลวที่กลั่นได้ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml และทิ้งพักไว้ประมาณ 3-5 นาทีเพื่อกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์จากของเหลวที่กลั่นได้

4.2.9 อ่านและบันทึกค่าสารแบเรียมไฮดรอกไซด์บนบิวเรตก่อนไตเตรท ลงในแบบฟอร์ม

4.2.10 นำไปไตเตรทกับสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Br(OH)_2$) 0.005 M ลงในถ้วยตวงรูปชมพู่ที่ได้จากการกลั่น โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์จนสารเริ่มออกเป็นสีชมพู (จุดยุติ) อ่านและบันทึกค่าปริมาณแบเรียมไฮดรอกไซด์ที่ได้บนบิวเรตลงในแบบฟอร์ม

4.2.12 ทำการทดสอบซ้ำ 2 ซ้ำต่อหนึ่งตัวอย่าง

4.2.13 นำมาคำนวณหาค่า VFA จากตัวอย่างน้ำยางที่นำมาทดลอง

*หมายเหตุ ถ้าทำหลายตัวอย่างให้นำกระดาษฟรอยด์มาปิดน้ำยางก่อนกลั่น เพื่อป้องกันไม่ให้เซรุ่มระเหยออก

5. วิธีการคำนวณ

-การหาค่าความเข้มข้นของสารแบเรียมไฮดรอกไซด์ (n)

โดยต้องหาจากปริมาณ**สารแบเรียมไฮดรอกไซด์**เฉลี่ยก่อน

$$V_{(Ba(OH_2))avg} = \frac{V_1+V_2}{2}$$

V_1 คือ ปริมาณสารแบเรียมไดออกไซด์ก่อนการไตเตรท

V_2 คือ ปริมาณสารแบเรียมไดออกไซด์หลังการไตเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ $$n = \left(\frac{0.005 \times 5}{V_{(Ba(OH_2))avg}}\right) \times 2$$

โดย 0.005 คือ มวลโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท

5 คือ ค่าคงที่ของกรดซัลฟิวริก

$V_{(Ba(OH_2))avg}$ คือ ปริมาณสารแบเรียมไฮดรอกไซด์เฉลี่ย

- **จำนวนกรดไขมันระเหยได้** (VFA no.)

(กรณีเป็นน้ำยางข้น)

$$VFA_{no.} = 1.52 \times (x_1 \times 2) \times n$$

โดย 1.52 คือ ค่าคงที่ในการหาจำนวนกรดไขมันระเหยในน้ำยางข้น

x_1 คือ ปริมาณสารแบเรียมไฮดรอกไซด์ขณะก่อนและหลังไตเตรท (V_2-V_1)

n คือ ความเข้มข้นสารแบเรียมไฮดรอกไซด์

(กรณีเป็นน้ำยางสด)

$$VFA_{no.} = 3.494 \times (x_2 \times 2) \times n$$

3.494 คือ ค่าคงที่ในการหาจำนวนกรดไขมันระเหยในน้ำยางสด

x_2 คือ ปริมาณสารแบเรียมไฮดรอกไซด์ขณะก่อนและหลังไตเตรท (V_2-V_1)

n คือ ความเข้มข้นสารแบเรียมไฮดรอกไซด์

6. การควบคุมคุณภาพของการทดสอบ

6.1 ผลการทดสอบซ้ำ (Duplicate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1 กรณี VFA $\leq$ 0.10 หน่วย ผลการ duplicate แตกต่างกันไม่เกิน 0.01 หน่วย

6.1.2 กรณี VFA $>$ 0.10 หน่วย ผลการ duplicate แตกต่างกันไม่เกิน 10%

6.2 การคำนวณผลต่างของการทดสอบซ้ำ (Duplicate)

ผลต่างของการทดสอบซ้ำ (Duplicate) = ค่ามาก – ค่าน้อย

7. การประมาณค่าความไม่แน่นอนของผลการทดสอบ

7.1 ดำเนินตาม RDW-164 (เอกสารประจำห้องปฏิบัติการของบริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ คอปอร์เรชั่น จำกัด) แล้วบันทึกรายละเอียดลงในแบบฟอร์ม

7.2 บันทึกการคำนวณการประมาณค่าความไม่แน่นอนของผลการทดสอบลงในแบบฟอร์ม

8. การรายงานผลการทดสอบ

8.1 รายงานโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการทดสอบจากการทดสอบซ้ำ (Duplicate) เป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง

8.2 ดำเนินการตาม RDF-57/2 (เอกสารประจำห้องปฏิบัติการของบริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ คอปอร์เรชั่น จำกัด) (thai rubber latex, 2011)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ NIR (Near-infrared) Spectroscopy

เทคโนโลยีด้านอินฟราเรดเริ่มตั้งแต่ปี ค .ศ. 1800 เมื่อ William Herschel ค้นพบพลังงานรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ย่านอินฟราเรด (infrared radiation) ในต้นทศวรรษ 1970 ก็เริ่มมีกลุ่มงานห้องปฏิบัติการใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIRS และเครื่องมือที่ใช้เทคนิค NIRS ก็เริ่มเข้าสู่ตลาดในเชิงพาณิชย์ และในปี ค .ศ. 1985 เครื่องมือ NIRS เริ่มมีหน่วยประมวลผล (microprocessors)

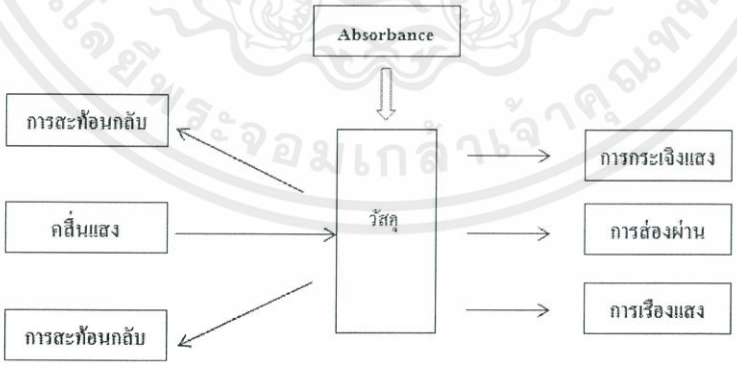
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำ (memory) ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง สามารถเก็บข้อมูลแคลิเบ รชั่น (calibration Set) ได้ ใส่ข้อมูลได้ มีประสิทธิภาพสูง และสามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างรวดเร็ว [10]

NIR (Near-infrared) Spectroscopy เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยการตรวจวัดปริมาณแ สงที่ถูกดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 700-2500 นาโนเมตร NIR Spectroscopy เป็นวิธีการที่ให้ผลที่ดี และรวดเร็ว ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบไปจนถึง การตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะด้านอาห ารและยา ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของตัวอย่างทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้เป็นอย่างดี [11]

2.2.1 หลักการพื้นฐานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Spectroscopy) [1,8]

อินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared) เป็นคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 780-2500 นาโนเมตร โดยอาศัยหลักการคือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ สารจะเกิดการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง near infrared โดยมีแสงบางส่วนถูกดูดกลืน (absorbed) แสงบางส่วนผ่านทะลุออกไป (transmitted) แสงบางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) แสงบางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (fluorescence or phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนคลื่นแสงช่วง near infrared จะเกิดการสั่นใน functional groups ต่างๆ เช่น การยืด การหด และการเปลี่ยนมุม ซึ่งการสั่นของพันธะต่างๆ จะเกิดขึ้นที่ช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละพันธะ รวมทั้งตำแหน่งของโมเลกุลและช่วงการดูดกลืนแสงก็เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชันด้วย ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุล ก็จะเกิ ดการสั่น และการดูดกลืนรังสีไว้ ทำให้โมเลกุลมีพลังงานมากกว่ าปกติ เกิดพลังงานเพิ่มขึ้นจากสภาวะปกติ (ground vibration level) ไปเป็นสภาวะกระตุ้น (excited vibration level) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะปกติก็จะปล่อยพลังงานที่รับเข้าไปออกมาในรูปของพลังงานความร้อน และปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (Absorbance) เป็นไปตามกฎของเบียร์แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's Law)

พลังงานของคลื่ นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้ม ของแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น [1]

สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะมี H-atom เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล N-H พบในโปรตีน และ C-H พบในน้ำมัน [18]

2.2.2 **ช่วงคลื่นอินฟราเรด** [8]

การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดของโมเลกุลสารอินทรีย์ช่วงคลื่นอินฟราเรดสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง (ดังตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.3 ช่วงคลื่นแม่เหล็กย่านอินฟราเรด [8]

ช่วงคลื่น	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	จำนวนคลื่น (cm^{-1})
อินฟราเรดย่านใกล้ (near IR, NIR)	780-2,500	12,800-4,000
อินฟราเรดย่านกลาง (mid IR or fundamental IR)	2,500-50,000	4,000-200
อินฟราเรดย่านไกล (far IR)	50,000-1,000,000	200-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared หรือ overtone region) มีความยาวคลื่นในช่วง 780-2,500 nm การดูดกลืนแสงช่วงนี้เกิดการ Overtone (รูปที่ 2.3) ซึ่งเกิดการแทรนซิชันในตำแหน่งที่มีเลขคลื่นเป็น 2 เท่า หรือ 3 เท่าของเลขคลื่นที่มีการสั่นแบบพื้นฐานและมีความเข้มต่ำ และมักพบว่าช่วงการดูดกลืนแสงที่ได้ค่อนข้างต่ำ มีประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณของกลุ่ม functional และศึกษาโครงสร้างโมเลกุล [12]

2. อินฟราเรดย่านกลาง (middle infrared หรือ fundamental region) มีความยาวคลื่นในช่วง 2,500-50,000 nm สเปกตรัมที่อ่านได้จะค่อนข้างยุ่งยาก การวิเคราะห์จึงต้องใช้วิธีเปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่ทราบโครงสร้างแล้ว ใช้ในการวิเคราะห์พวกกลุ่ม functional [12]

3.อินฟราเรดย่านไกล (far infrared) มีความยาวคลื่นในช่วง 50,000-1,000,000 nm ช่วงนี้จะไม่ค่อยได้ใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากสเปกตรัมไม่ได้เกิดจากการสั่นหรือหมุนของโมเลกุล แต่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการ transition ที่เกี่ยวกับการหมุนของโมเลกุล [12]

2.2.3 ส่วนประกอบและวิธีใช้งาน NIR SPECTROMETER [1]

ส่วนประกอบของเครื่อง Near-Infrared Spectroscopy มีลักษณะการจัดการที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ในการออกแบบและความต้องการการใช้งาน ซึ่งมีส่วนประกอบที่หลัก คือ

1. เครื่องกำเนิดแสง (Light Source)

2. เครื่องวัดแสง (Detector)

3. เครื่องบันทึกผล (computer)

ซึ่งในการติดตั้งและเชื่อมต่อของเครื่อง Near-Infrared Spectrometer สามารถทำได้ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 แผนภาพลำดับการเชื่อมต่อของเครื่อง Near-infrared Spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องกำเนิดแสง (Light Source) ที่ใช้กันทั่วไปนั้นเป็นของแข็งที่เฉื่อย ซึ่งสามารถเผาให้ร้อนด้วยไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้แสงมีความเข้มสูงที่สุดที่ความถี่ตามที่ต้องการ ปัจจุบันแหล่งกำเนิดแสง NIR ที่ใช้กันอยู่ คือ Quartz Tungsten-Halogen monofilament lamp [13] ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320-2,500 นาโนเมตร แหล่งกำเนิดรังสีในช่วง NIR นั้น โดยส่วนใหญ่จะใช้หลอดทังสเตนเพราะราคาถูกและใช้งานได้ทันที แล้วใช้ตัวฟิลเตอร์ช่วยกรองแสงในช่วงความถี่ที่ไม่ต้องการออกเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างร้อนจนเกินไป หรือใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดโดยค่าความยาวคลื่นที่ได้จะขึ้นกับสารที่ใช้ทำ ตัว LED อย่างไรก็ตาม LED ไม่สามารถให้ความยาวคลื่นในช่วง 1700-2500 นาโนเมตรได้ ซึ่งเป็นช่วงที่นิยมนำ ไปใช้งาน แต่เหมาะสำ หรับเครื่องมือแบบพกพาเพราะต้องการกำลังไฟฟ้าน้อยมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและพลังงานของผลลัพธ์ที่ได้ก็ไม่เพิ่มสูงขึ้น[11]

เครื่องวัดแสง (Detector) ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างโดยเครื่องวัดแสงที่ใช้อาศัยหลักการทาง Photoconductive effect ซึ่งเกิดขึ้นเช่นเดียวกับสารกึ่งตัวนำ เป็นแบบ Photon Detector ซึ่งมี CCD ขนาดอาร์เรย์ Linear, 2048 พิกเซล ซึ่งถ้าช่วงคลื่นต่างกัน Detector ก็จะใช้คนละตัวกัน[3] การเลือกเครื่องตรวจวัดนั้นขึ้นกับช่วงความยาวคลื่นและการออกแบบตัวแปรต่างๆ ของ Spectrometer ซึ่งซิลิกอน (Si) จะเหมาะสำหรับแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้และ NIR ช่วงความยาวคลื่นสั้น (400-1100 นาโนเมตร) ส่วนช่วงคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) มักใช้อินเดียมแกเลียมอาร์เซไนด์ (InGaAs) ที่ประดิษฐ์โดยบริษัทผู้ผลิตสเปกโตรมิเตอร์

เครื่องบันทึกผล (computer) การบันทึกผลโดยปกติใช้โปรแกรมในการเก็บข้อมูลสเปกตรัมและควบคุมการทำงานเครื่อง

เครื่อง FT-NIR Spectrometer วัดและบันทึกผล แบบ Integrating Sphere ด้วยวิธีการสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse Reflectance) ที่ช่วงจำนวน คลื่น 12500-3600 cm^{-1} ที่ความละเอียดในการสแกน 16 cm^{-1} โดยมีแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) เป็น Tungsten-Halogen และมีเครื่องวัดแสง (Detector) เป็น InGaAs (Indium Gallium Arsenide)

129476

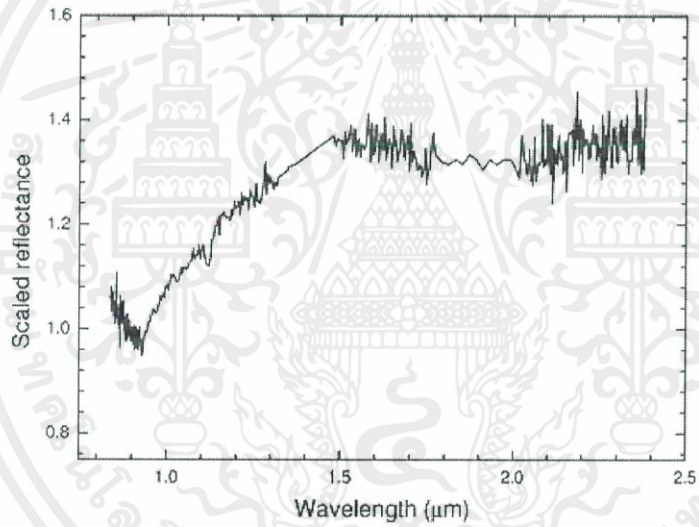
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎี Chemometric [8]

2.3.1 วิธีปรับแต่ง NIR Spectra ก่อนการวิเคราะห์ (อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล, 2545:78-96 อ้างอิงจาก [8])

2.3.1.1 การลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมนั้นจะถูกออกแบบให้มีความคลาดเคลื่อนในการวัดค่า log(1/R) และค่าความยาวคลื่นที่ต่ำ ในการวัดบางครั้งอาจมีสัญญาณรบกวนแทรกเข้ามา ซึ่งอาจเกิดจากสนามแม่เหล็กหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผลให้สเปกตรัมที่ได้ไม่เรียบ (ดังรูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 ตัวอย่าง NIR Spectrum ที่ไม่เรียบมีสัญญาณรบกวนแทรก [14]

สำหรับวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำมาใช้ลดสัญญาณรบกวนได้ที่นิยมใช้คือ

1. การเฉลี่ยค่าเคลื่อนที่ Running Mean Smooth or N-Point Smooth

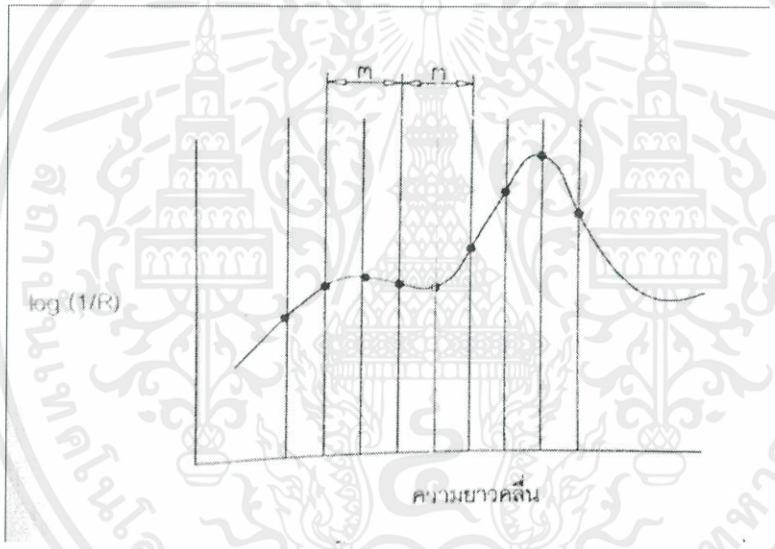
หลักการของวิธีนี้คือ การแทนค่า log (1/R) แต่ละความยาวคลื่น ด้วยค่าเฉลี่ยของ (log 1/R (ในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วงตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ จำนวนจุดที่นำมาแทนที่คือ

$$n = 2m + 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ m คือ จำนวนของจุดทั้งสองด้านของจุดศูนย์กลาง

รูปที่ 2.7 เลือก m=2 ซึ่งจะได้ n = 2 X 2 +1 = 5 จุด การเฉลี่ยเริ่มจากการนำค่า log (1/R) ของทั้ง 5 จุดมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยมาสร้างสเปคตรัมใหม่โดยในช่วงความยาวคลื่นแรก (ความยาวคลื่นแรกถึงความยาวคลื่นที่ 5) โดยนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวมาเป็นค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นที่จุดศูนย์กลางช่วง จากนั้นจะเลื่อนช่วงไปทางขวาหนึ่งจุด แล้วคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ข้อมูลสเปกตรัมที่สร้างใหม่จะมีจำนวนข้อมูลช่วงเริ่มต้นที่หายไป m ข้อมูลและท้ายหายไป m ข้อมูล



รูปที่ 2.5 จำนวนจุดทั้งสองด้าน (m = 2,n =5) ของการเฉลี่ย [14]

2. Savizky – Golay smoothing

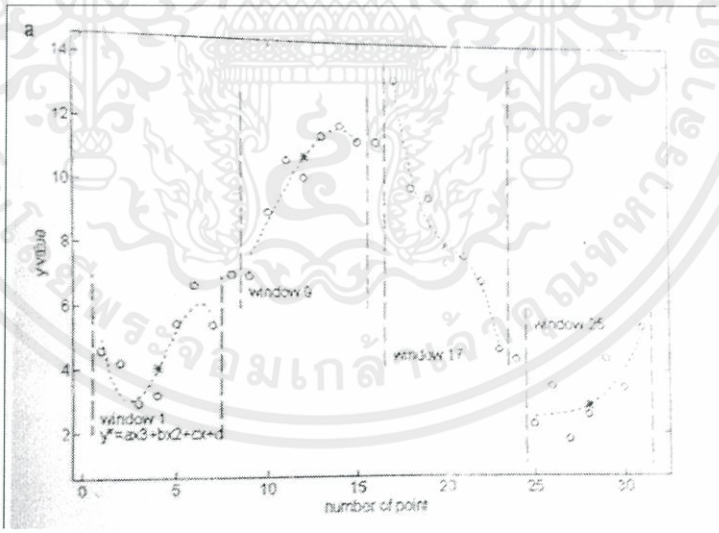
วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งจะเลือกใช้ในกรณีที่

1. ข้อมูลมีสัญญาณรบกวนมากไม่เรียบ
2. ต้องการทำให้สัญญาณเรียบและยังคงรูปของสเปกตรัมเหมือนสเปคตรัมเริ่มต้น
3. เมื่อรูปร่างของสเปคตรัมมียอดแหลมจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของวิธีคือ กำหนดข้อมูลใน ช่วงความยาวคลื่น n = 2m + 1 นำข้อมูลสเปคตรัมหรือ log (1/R)) ในช่วงที่กำหนด โดยเริ่มจากข้อมูลจำนวน 2m + 1 จุดแรก มาหาสมการโพลีโนเมียลที่สามารถนำมาคำนวณค่าสเปกตรัม ที่แต่ละจุดในช่วงได้ใกล้เคียงที่สุด โดยวิธีลีท์สแควร์ (least square) เมื่อได้สมการแล้วนำมาคำนวณค่าสเป กตรัม ที่จุดกลางช่วง แล้วนำค่าที่คำนวณไปแทนค่าสเปคตรัมที่จุดนั้น (ดังรูปที่ 2.5) ค่าที่คำนวณได้ถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าสเปคตรัมเริ่มต้นที่ถูกแทนที่ เนื่องจากสัญญาณรบกวนได้ถูกกำจัดออกไปแล้ว ต่อไปคือ เลื่อนช่วงที่เท่ากันนี้ไปทางขวาหนึ่งจุด (โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูล) แล้วทำซ้ำตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น จนช่วงความยาวคลื่นที่ถูกเลื่อนไปจนครอบคลุมความยาวคลื่นสุดท้าย สเปคตรัมที่ที่สร้างขึ้นใหม่จะมีจำนวนข้อมูลในส่วนต้นและส่วนท้าย หายไปเท่ากับ m จุดเหมือนดังกรณี การเฉลี่ยเคลื่อนที่

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเฉลี่ยคลื่นจะพบว่า การใช้วิธี Savizky – Golay จะยังคงรักษาขนาดของยอดแหลมในสเปกตรัมให้มีขนาดเท่ากับสเปกตรัมเริ่มต้น ไม่ว่าจะเป็นยอดแหลมที่มีฐานกว้างหรือฐานแคบก็ตาม



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการใช้ Savizky-Golay smooth โดยใช้ m=3 (o คือข้อมูลเดิมและ * คือข้อมูลที่ปรับให้เรียบแล้ว) (อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, 2545 : 81 อ้างจาก Maesschalck et al. 1999) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ [1,8]

ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลกระท บจากสัญญาณรบกวนต่อสเปกตรัมได้แก่ ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง (Particle size) และความชื้นในตัวอย่าง (Moisture Content) โดยปัจจัยทั้งสองนั้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการกระเจิงแสง (Scattering) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้ลำแสงเปลี่ยนทิศทางอันเป็นผลจากการสะท้อนแสง การ หักเห หรือการเบี่ยงเบนแสง และความแตกต่างที่เป็นผลมาจากความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ต้องการวัด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความแตกต่างในผลเชิงบวก (Additive scattering) ทำให้สเปกตรัมเพิ่มขึ้นตาม ตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือผลเชิงคูณ (Multiplicative scattering) สเปกตรัมเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นสูงขึ้น

นอกจากนี้สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสง ในย่านใกล้อินฟราเรดเป็นสเปกตรัมที่มีการเหลื่อมซ้อนทับกันอยู่ (Overlapping band) ดังนั้น ในการวิเคราะห์จึงควรนำไปปรับแต่งด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ก่อน เพื่อให้สเปกตรัมมีความเด่ นชัดมากขึ้น และลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง ซึ่งมีวิธีการที่ใช้ดังต่อไปนี้

Smoothing

การหาค่าเฉลี่ยโดยการสร้างสมการ Polynomial สำหรับจุดต่างๆ ในสเปกตรัม แล้ว หาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วง โดยใช้สมการที่สร้างขึ้น

Multiple Scatter Correction (MSC): แบบ Full MSC

เป็นการหาสเปกตรัมใหม่ที่ใช้แก้ปัญหาการเลื่อนขึ้น (Baseline shift) ของสเปกตรัมและปัญหามุมเอียงที่ไม่เท่ากันของสเปกตรัมที่เกิดขึ้น เนื่องจากการกระเจิงของแสง (Scatter effect) หรือความไม่เสถียรของเครื่องกำเนิดแสง (ปัญหาจากเครื่องมือ/อุปกรณ์ หรืออุณหภูมิห้อง)

$$X = \frac{x - a}{b}$$

เมื่อ X คือ ค่าจุดใหม่

x คือ ค่าจุดเดิม

a คือ ค่าคงที่ ที่ใช้แก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัม

b คือ ค่าคงที่ ที่ใช้แก้ปัญหามุมเอียงที่ไม่เท่ากันของสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard Normal Variate (SNV)

เป็นวิธีการกำจัดผลของการกระเจิงของแสง (Scatter effect) เหมือนวิธี MSC โดยใช้สมการ โดยแต่ละค่าในแถวของข้อมูลจะถูกแปลงดังสมการต่อไปนี้

$$X = \frac{x - \bar{x}}{SD}$$

เมื่อ X คือ ค่าจุดใหม่

x คือ ค่าจุดเดิม

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ย

SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Derivative

เป็นการแก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัมด้วยปัจจัยทางกายภาพ เป็นการหาสเปกตรัมใหม่จากการหา Slope ของสเปกตรัมเดิม

1^{st} Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 1

2^{nd} Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2

Normalization

คือการจัดการทางคณิตศาสตร์ด้วยค่าคงที่ ซึ่งมี 3 วิธี คือ

- Mean Normalization

$$X_{(i,k)} = \frac{(\mathbf{x_{(i,k)}})}{\left|\mathbf{Mean}(\mathbf{x_{(i,*)}})\right|}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Max Normalization

$$X_{(i,k)} = \frac{(\mathbf{x_{(i,k)}})}{\mathbf{Max}\left|(\mathbf{x_{(i,*)}})\right|}$$

- Range Normalization

$$X_{(i,k)} = \frac{(\mathbf{x_{(i,k)}})}{\mathbf{Max}(\mathbf{x_{(i,*)}}) - \mathbf{Min}(\mathbf{x_{(i,*)}})}$$

เมื่อ x คือ ค่าตัวแปรที่ตำแหน่งใดๆ
i คือ หมายเลขตัวอย่าง
k คือ ความยาวคลื่น ณ ตำแหน่งนั้น
* คือ ความยาวคลื่นทุกๆ ความยาวคลื่นในสเปกตรัม

Baseline offset

เป็นการแก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัม ซึ่งจะขยับสเปกตรัมให้เลื่อนมาอยู่ ณ จุดๆ หนึ่ง ซึ่งเป็นไปตามสมการดังนี้

$$f(x) = x\text{-}Min(X)$$

เมื่อ x คือ ค่าของตัวแปรใดๆ ในสเปกตรัม
X คือ ค่าของตัวแปรทั้งหมดในสเปกตรัม

2.3.2 การสร้างสมการ Calibration [1]

2.3.2.1 Principal Components Analysis (PCA) [1]

การทำ PCA เป็นวิธีการหนึ่งทางสถิติในการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว (Multivariate analysis) โดยใช้เทคนิคการลดจำนวนตัวแปรอิสระ การลดลงของจำนวนตัวแปรมีวิธีการคือ แบ่งกลุ่มตัวแปรที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์กัน เพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่า factor หรือ องค์ประกอบ factor หรืออีกนัยหนึ่งก็คือผลรวมของค่าสเปกตรัมที่ทุกความยาวคลื่น ซึ่ง factor จะมีได้หลาย factor โดยแต่ละ factor นั้น จะแตกต่างกันที่น้ำหนักของแต่ละสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆ factor แรกจะถูกสร้างขึ้นมาให้อธิบายความแปรปรวนของค่าสเปกตรัมได้มากที่สุด factor ที่สองอธิบายความแปรปรวนที่เหลือซึ่งทำ ให้ factor แต่ละตัว แทบจะไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ เมื่อทำการหา factor เรียบร้อยแล้ว นำ factor ที่ได้มาทำ Regression กับค่าทางเคมีโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ทำให้ได้ค่า Calibration coefficient

2.3.2.2 Partial Least Square (PLS) [1]

เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปร โดยจะมีการนำข้อมูลตัวแปรตามเข้ามาใช้ร่วมกันในการสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า ค่าคะแนนปัจจัย (Factor score) ด้วย การทำ PLS เป็นวิธีการเดียวที่ไม่จำ เป็นต้องมีการแยกไปทำขั้นตอน Regression อีก เนื่องจากค่า Factor score ที่สร้างขึ้นมาใหม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอยู่แล้ว วัตถุประสงค์ของ PLS เพื่อต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัมให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับการทำนายค่าทางเคมีที่สนใจเท่านั้น เพื่อให้สามารถประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น

2.3.3 สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของแบบจำลองการทำนาย [3]

2.3.3.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)

ค่าเฉลี่ยเป็นค่าทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลที่ใช้อ้างอิง หรือข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่องวัดสเปกตรัม

2.3.3.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงถึงการเปลี่ยนแปลง หรือความแปรปรวนในข้อมูล

2.3.3.3 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Bias หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าอ้างอิงและค่าที่ทำนายโดยวิธี เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และเป็นการวัดความแม่นยำโดยรวมของ Calibration

2.3.3.4 สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, r)

ค่า r เป็นค่าที่แสดงระดับของข้อมูลสองเซตที่สอดคล้องซึ่งกันและกัน ความสอดคล้องที่สมบูรณ์จะไม่มีความแตกต่างกันเลยระหว่างข้อมูลสองเซต ซึ่งจะมีค่า r เท่ากับ 1.00

2.3.3.5 สัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination, R^2)[16]

แสดงสัดส่วนของความแปรปรวนในข้อมูล X ที่สามารถอธิบายโดยความแปรปรวนในข้อมูล Y ค่าของ R^2 จะเป็นบวกเสมอ เช่น ถ้า R = 0.97 แล้ว R^2 = 0.941 หมายความว่า 94.1% ของความแปรปรวนในข้อมูล X และ 5.9% ของความแปรปรวนในข้อมูล X เกิดขึ้นจากตัวแปรอื่น เช่นการเตรียมตัวอย่าง วิธีการทดลองอ้างอิง และอื่นๆ ค่า R^2 เป็นบวกเสมอโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของ R ในทางปฏิบัติ R^2 ให้ข้อมูลมากกว่า R และใช้กันมากกว่า R การแปลความหมายของค่า R และ R^2 แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การแปลความหมายของค่า R และ R2 (Williams, 2007) [19]

R	R^2	ความหมาย
ถึง +/-0.5	ถึง 0.25	ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration
+/-0.51-0.70	0.26-0.49	เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดี ควรหาเหตุผล
+/-0.71-0.80	0.50-0.64	OK สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) อย่างหยาบๆ
+/-0.81-0.90	0.66-0.81	OK สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ
+/-0.91-0.95	0.83-0.90	ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย
+/-0.96-0.98	0.92-0.96	ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการประกันคุณภาพ
+/-0.99+	0.98+	ดีเยี่ยม ใช้ได้กับทุกการประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.6 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (Standard error of calibration, SEC)

SEC เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และค่าอ้างอิงในเซตตัวอย่างชุดแคลิเบรชั่น

2.3.3.7 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (Standard error of prediction, SEP)

SEP เป็นค่าที่แสดงสมรรถนะของการทำนาย ซึ่งเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และค่าอ้างอิง

2.3.3.8 ค่าเฉลี่ยกำลังสองของการทำนาย (Root mean square of the prediction, RMSEP)[16]

RMSEP เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพของแบบจำลอง การคำนวณค่า RMSEP ได้รวมค่า Bias ไว้ด้วย ถ้าไม่มีค่า bias ค่า SEP และ RMSEP จะมีค่าเท่ากัน มีการใช้ RMSEP มากกว่า SEP แต่การรายงานผลโดยใช้ SEP กับ Bias แสดงถึงความแม่นยำของการทำนายได้ดี เนื่องจาก RMSEP เกี่ยวข้องกับ Bias แต่ไม่ได้แสดงขนาดและเครื่องหมาย

2.3.3.9 อัตราส่วนระหว่าง SEP กับ SD (Ratio of SEP to the SD, RPD)[16]

RPD ย่อมาจาก Ratio of (Standard error of) Prediction (Validation) to (Standard) Deviation แต่เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) กับ อัตราส่วนของค่าความผิดพลาดมาตรฐานการทำนาย (SEP) ของข้อมูลของค่าอ้างอิงของชุดทำนาย ค่า SEP ควรต่ำกว่า SD มากๆ ซึ่งอัตราส่วนควรเท่ากับ 5 หรือมากกว่า บางกรณีตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมาก ค่า SD จึงไม่สูง ซึ่ง RPD อาจจะไม่สูง ดังนั้น RPD เท่ากับ 2.5-3.0 ก็อาจแสดงถึงการวิเคราะห์ที่แม่นยำถ้า SD มีค่าเพียง 0.4-0.5

2.3.3.10 อัตราส่วนระหว่าง SEP กับช่วงข้อมูล (Ratio of the SEP to the range, RER)[16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RER คือ อัตราส่วนของช่วงกว้างของข้อมูลอ้างอิงของชุดทำนาย ต่อ SEP ค่า RER ควรจะสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตารางที่ 2.5 แสดงการอธิบายผลของค่า RPD และ RER

ตารางที่ 2.5 การอธิบายผลของค่า RPD และ RER (Williams, 2007) [19]

RPD	RER	ความหมาย	การประยุกต์ใช้
0.0-2.3	ถึง 6	ไม่ดีเลย	ไม่แนะนำ
2.4-3.0	7-12	ไม่ดี	ใช้คัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) แบบหยาบๆ
3.1-4.9	13-20	พอใช้	ใช้คัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) ได้
5.0-6.4	21-30	ดี	ใช้ควบคุมคุณภาพได้
6.5-8.0	31-40	ดีมาก	ใช้ควบคุมกระบวนการได้
8.1+	41+	ดีเยี่ยม	ได้ทุกการประยุกต์ใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เมธี ดีพร้อมมิตร และคณะ (2554) [1]ได้ทำการศึกษาเรื่องการใ ช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีช่วงคลื่นสั้น (700-1100 nm) ในการตรวจสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content; DRC, %) และ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids content; TSC, %) ในน้ำยางพาราสดและข้น โดยตรวจวัดสเปกตรัมของตัวอย่างน้ำยางพาราด้วยวิธีการส่องผ่าน (Transmission) ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ครั้ง จำนวน 282 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำยางสด 171 ตัวอย่าง น้ำยางข้น 86 ตัวอย่าง และน้ำยางข้นที่ทำ การปรับระดับความเข้มข้น 5 ระดับ (55%, 50%, 45%, 40% และ 35%DRC) ระดับละ 5 ตัวอย่าง จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมแบบการดูดกลืนแสง (Absorbance spectra) ไปวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองทำนายค่าปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดด้วยวิธี Partial least square regression (PLSR) จากการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราสดและข้นที่พัฒนาจากสเปกตรัมที่ผ่านการจัดการทางคณิตศาสตร์โดยวิธี Smoothing, Normalization, Derivative, Baseline offset, Standard Normal Variate (SNV) หรือ Multiple Scatter Correction (MSC) พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองในการทำนายปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราที่สร้างจากสเปกตรัมที่ผ่านการ Smoothing ร่วมกับ Range Normalization ให้การทำนายได้ดีและแม่นยำมากที่สุด ที่ช่วงความยาวคลื่น 700-950 nm โดยมีค่า Slope, Offset, Correlation coefficient (r), Standard error of prediction (SEP), และ Bias สำหรับการทำนายปริมาณเนื้อยางแห้ง คือ 1.0154, -0.6286, 0.9960, 1.190% และ 0.0322% ตามลำดับ และสำหรับการทำนายค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด คือ 1.0084, -0.2332, 0.9940, 1.3611% และ 0.1456% ตามลำดับ

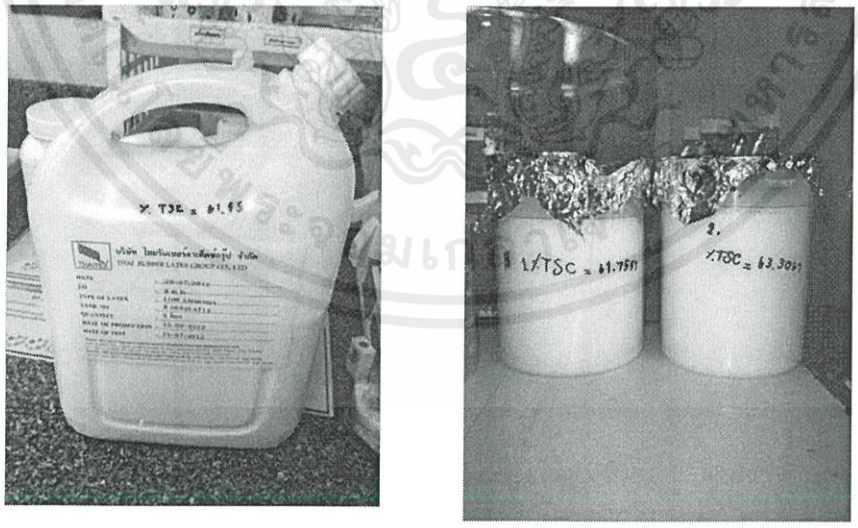
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองใช้ตัวอย่างน้ำยางพาราสด จำนวน 117 ตัวอย่าง , น้ำยางข้น 51 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทั้งหมด 168 ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างน้ำยางสดและน้ำยางข้นได้มาจากบริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเทกซ์ คอปอร์เรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี ซึ่งการเก็บข้อมูลของตัวอย่างน้ำยางพาราสดและข้นที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองทำนายค่ากรดไขมันระเหยในน้ำยางพารานี้จะไปทำการเก็บข้อมูลที่บริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเทกซ์ คอปอร์เรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี และที่ หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งเริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 3 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2556 และในการเก็บข้อมูลในแต่ละวันจะทำการเก็บข้อมูลของตัวอย่างน้ำยางที่อุณหภูมิของห้องเท่ากับ 25$\pm$ 2°C



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างน้ำยางพาราสดและข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 Shortwave near infrared spectrophotometer[1]

- Fiber Optic Spectrometer หลัก มีช่วงคลื่นระหว่าง 360-1100 nm ใช้งานกับระบบไฟฟ้าจากคอมพิวเตอร์ผ่านการเชื่อมต่อแบบ USB

- ซอฟแวร์วัดค่าพื้นฐานทางสเปกโตรมิเตอร์ คือ counts , absorbance , transmittance และ reflectance สามารถใช้วัดแบบ time series (Kinetics) ได้

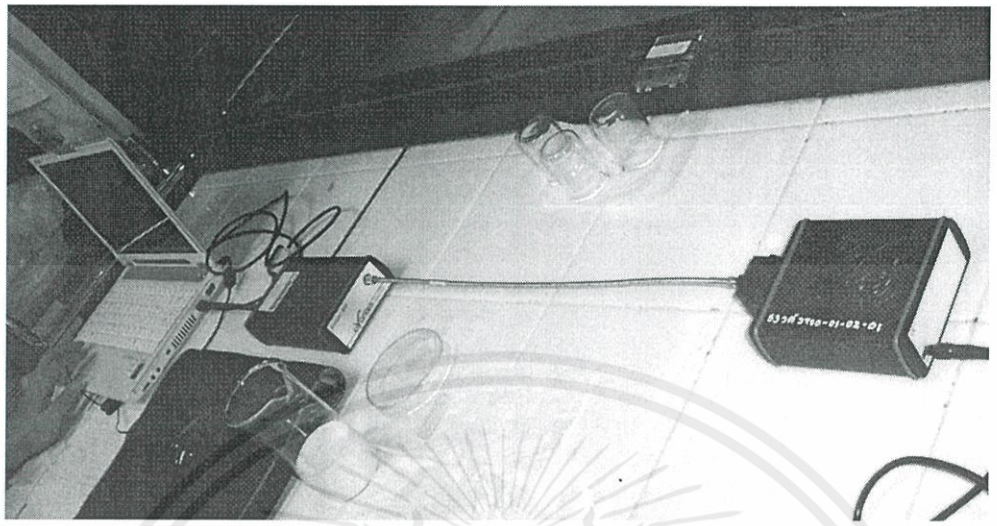
- มีแหล่งกำเนิดแสงช่วงความยาวคลื่น 360-2500 nm ชนิดใช้หลอด tungsten halogen มีอายุใช้งานของหลอดกำเนิดแสงประมาณ 1,000 ชั่วโมงหรือมากกว่า

- Integrating sphere แบบมีแหล่งกำเนิดแสงในตัว ในช่วงความยาวคลื่น 360 ถึง 2500 นาโนเมตร ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง มีอายุใช้งานของหลอดกำเนิดแสงประมาณ 4,000 ชั่วโมงหรือมากกว่า มีพัดลมระบายความร้อนอยู่ภายในตัวเพื่อช่วยรักษาความเสถียรในการทำงานของแหล่งกำเนิดแสง มีตัวแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

- มีสายไฟเบอร์ออปติก จำนวน 1 เส้น ความยาว 0.5 เมตร ใช้สำหรับนำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ในช่วงความยาวคลื่น 350 ถึง 2,000 นาโนเมตร ภายในตัวสายประกอบด้วยเส้นไฟเบอร์ออปติคขนาด 1,000 ไมโครเมตร จำนวน 1 เส้น และมีช่องเปิดรับแสงเท่ากับ 0.22 มีหัวเชื่อมต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และแหล่งกำเนิดแสง

โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวมีการติดตั้งดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ Shortwave NIR SPECTROMETER

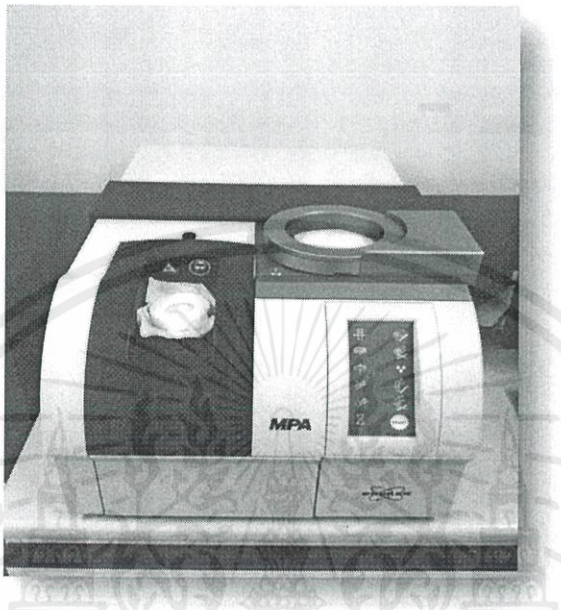
3.2.2 คิวเวต

คิวเวตที่ใช้ในการทำการทดลองมีขนาดความหนา 0.5 cm, ความกว้าง 1 cm ทำด้วยแก้ว

รูปที่ 3.3 คิวเวต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 เครื่อง FT-NIR Spectrometer

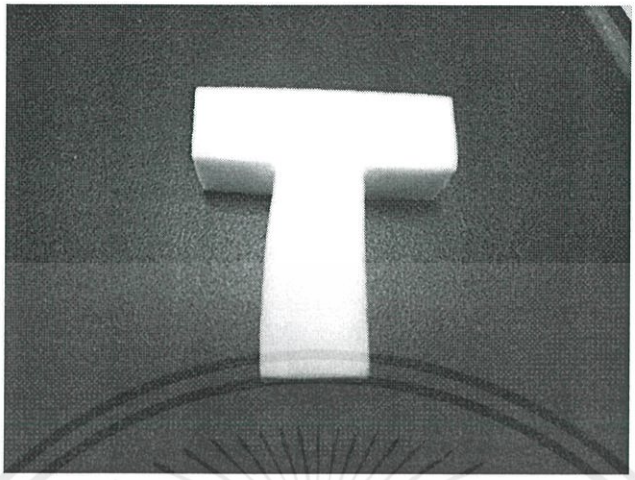


รูปที่ 3.4 เครื่อง FT-NIR Spectrometer

3.2.4 อุปกรณ์อื่นๆ

- เครื่องชั่งน้ำหนักความแม่นยำ 0.0001 g
- ขวดบีบน้ำกลั่น
- กระดาษทิชชู
- บีกเกอร์ขนาด 30, 100, 400 ml
- จานแก้ว
- Teflon (ตัว T) หนา 10 mm ใช้ในการวัดสเปกตรัมอ้างอิง สำหรับเครื่อง Shortwave NIR spectrometer (ดังรูปที่ 3.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 Teflon (รูปตัว T) หนา 10 mm

3.3 การวัดสเปกตรัมของน้ำยางพาราสดและข้น

3.3.1 การวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง Portable Near-Infrared Spectroscopy

การวัดสเปกตรัมของน้ำยางทำโดยการใช้คิวเวต (Quartz) ขนาด 1×0.5 cm ที่ช่วงความยาวคลื่น 350-1100 nm ด้วยเครื่อง Spectrometer [AVA-Spec-2048-USB2, Avantes] ที่มีความละเอียดในการสแกน 2.4 nm โดยใช้วิธีการส่องผ่านของแสง (Transmission) ทำการวัดสเปกตรัมตัวอย่างละ 2 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมของน้ำยางพาราไปทำการวิเคราะห์โดยแปลงเป็นสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นเพื่อสร้างแบบจำลองทำนายค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราสดและข้น

ขั้นตอนการบันทึกค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance)

ทำการติดตั้งเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และทำการบันทึกค่าเริ่มต้น โดยอุณหภูมิในการทดลองควรอยู่ที่ 25 ± 2 เริ่มต้นโดยเปิด Light Source เป็นเวลา 10-15 นาที เพื่อให้ Light Source เกิดความเสถียร ตั้งค่า Integration time = 85 ms Average = 5 จากนั้นนำเทฟล่อนรูปตัวที (T) หนา 10 mm ใส่ในช่อง Light Source ทำการบันทึกค่า Reference โดยกด File > Save > Reference แล้วทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกค่า Dark ต้องทำการปิด Light Source แล้วกด File > Save > Dark จากนั้นต้องกด Setup > Subtract Saved Dark เมื่อทำเสร็จแล้วให้ทำการเปิด Light Source แล้วจึงเริ่มทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำยางพาราตามขั้นตอน

3.3.2 การวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer

การวัดสเปกตรัมของน้ำยางทำโดยการใช้ น้ำยางเทใส่ จานแก้ว ขนาด 25×150 mm ประมาณ3/4 ของความลึกของจาน นำไปวางบนช่อง Light source แล้วทำการวัดแบบ Integrating Sphereด้วยวิธีการสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse Reflectance) ที่ช่วงความยาวคลื่น 12500-3600 cm^{-1} ที่ความละเอียดในการสแกน 16 cm^{-1} แล้วทำการวัดสเปกตรัม โดยสแกน 32 ครั้งต่อ 1 สเปกตรัม จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมของน้ำยางพาราไปทำการวิเคราะห์โดยแปลงเป็นสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นเพื่อสร้างแบบจำลองทำนายค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราสดและข้น

ขั้นตอนการบันทึกค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance)

เข้าสู่หน้าโปรแกรม OPUS 7.0 จากเมนู Measure เลือก Advance Measurement คลิก Load แล้วเลือก XPM file ที่ต้องการ หน้า Basic: ใส่ชื่อ file ของตัวอย่างในช่อง Sample Description พร้อมตรวจสอบ Directory สำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่างที่ Path ว่าถูกต้องหรือไม่ จากนั้นคลิก Background Single Channel เพื่อใส่ตัวอย่างใน Measurement mode ที่ต้องการ สอดคล้องกับ XPM ที่เลือกมา แล้วคลิก Sample Single Channel เพื่อให้ตัวอย่างถูกสแกน

3.4 การวัดสเปกตรัมของกรดไขมันระเหยได้บริสุทธิ์ที่มีในน้ำยางพารา

การวัดสเปกตรัมของ กรดไขมันระเหยได้บริสุทธิ์ที่มีในน้ำยางพารา ได้แก่ กรดแอซิติก (acetic acid) กรดฟอร์มิก (formic acid) และกรดพรอพิโอนิก (propionic acid)

ขั้นตอนการบันทึกค่า

ทำโดยนำตัวอย่างกรดใส่ขวด vial แก้ว ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 mm แล้วปิดด้วยแผ่นส่องผ่านและสะท้อน (transflection plate) ที่ทำด้วยสเตนเลส ซึ่งจะให้เส้นทางแสงผ่าน 2 mm โดยสแกนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง FT-NIR Spectrometer [model MPA, Bruker] ที่ช่วงจำนวนคลื่น 12500-3600 cm^{-1} โดยมีความละเอียด 16 cm^{-1}, โดยสแกน 32 ครั้ง ต่อ 1 สเปกตรัม ใช้พื้นหลังเป็นทอง ทั้งนี้โดยทำที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 25 ±1 °C

3.5 การวัดกรดไขมันระเหย (VFA) [5]

วิธีการวัดกรดไขมันระเหย ที่ใช้เป็นวิธีมาตรฐานของโรงงานตามมาตรฐาน ISO 506:1992 (E) Natural rubber latex concentrate – Determination of volatile fatty acid number **[17]**

3.5.1 วิธีการหากรดไขมันระเหย (VFA) ของน้ำยางพารา

เทน้ำยางลงในถ้วยสแตนเลสประมาณ 50g ± 0.5 g ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ใส่สารแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 30% ลงไปในน้ำยางที่ชั่งได้ ประมาณ 50 ml นำถ้วยสแตนเลสไปอบที่ water bath และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C ± 2 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำยางจะแห้งจับตัวเป็นก้อน นำถ้วยสแตนเลสออกจาก water bath แล้วนำมาคั้นเพื่อแยกเซรุ่มออกมาโดยกรองใส่บีกเกอร์ขนาด 50 ml ประมาณ 30-40 ml ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นใช้ปิเปตดูดเซรุ่มที่ได้จากการคั้นลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml ประมาณ 25 ml เติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 50% ลงไปในบีกเกอร์ข้อที่ 5 ประมาณ 5 ml เขย่าให้เข้ากันโดยการแกว่งบีกเกอร์แล้วนำไปกลั่น โดยใช้ปิเปตดูดเซรุ่มที่ได้ทำเป็นกรดแล้วประม ณ 10 ml ปล่อยเข้าไปในเครื่องกลั่น Markham Still ที่จัดไว้เรียบร้อยพร้อมกับเติมสารป้องกันการเกิดฟอง 1 หยด แล้วบังคับให้ไอน้ำทั้งหมดเข้าไปในกรอบในโดยปิดปลายด้านล่างของกรอบนอก เริ่มต้นกลั่นให้ควบคุมให้แรงดันไอน้ำต่ำ รับของเหลวที่กลั่นได้ด้วยกระบอกตวง 100 ml จนกระทั่งกลั่นได้ของเหลวประมาณ 100 ml ทำการถ่ายของ เหลวที่กลั่นได้ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml และกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์จากของเหลวที่กลั่นได้โดยทิ้งพักไว้ประมาณ 3-5 นาที อ่านและบันทึกค่าสารแบเรียม ไฮดรอกไซด์บนบิวเรตก่อนไตรเตรท ลงในแบบฟอร์ม หลังจากนั้นนำไปไตเตรทกับสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Br(OH)_2$) 0.005 M ลงในถ้วยตวงรูปชมพู่ ที่ได้จากการกลั่น โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์จนสารเริ่มออกเป็นสีชมพู (จุดยุติ) อ่านและบันทึกค่าปริมาณแบเ รียมไฮดรอกไซด์ที่ได้บนบิวเรตลงในแบบฟอร์ม เสร็จแล้วนำมาคำนวณหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นสารแบเรียมไฮดรอกไซด์ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2 ทำการทดสอบซ้ำ 3 ต่อหนึ่งตัวอย่าง นำมาคำนวณหาค่า VFA จากตัวอย่างน้ำยางที่นำมาทดลองมาคำนวณตามสมการที่ 3.3 และสมการที่ 3.4

การคำนวณหากรดไขมันระเหย (VFA)

-การหาค่าความเข้มข้นของสารแบเรียมไฮดรอกไซด์,(n)

โดยต้องหาจากปริมาณสารแบเรียมไฮดรอกไซด์เฉลี่ยเป็นลำดับแรกก่อน

$$V_{(Ba(OH_2))avg} = \frac{V_1+V_2}{2} \quad \text{..... (3.1)}$$

V_1 คือ ปริมาณสารแบเรียมไดออกไซด์ก่อนการไตเตรท

V_2 คือ ปริมาณสารแบเรียมไดออกไซด์หลังการไตเตรท

ดังนั้นจะได้ $$n = \left(\frac{0.005\times5}{V_{(Ba(OH_2))avg}}\right) \times 2 \quad \text{..... .(3.2)}$$

โดย 0.005 คือ มวลโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท

5 คือ ค่าคงที่ของกรดซัลฟิวริก

$V_{(Ba(OH_2))avg}$ คือ ปริมาณสารแบเรียมไฮดรอกไซด์เฉลี่ย

- **จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (VFA no.)**

(กรณีเป็นน้ำยางข้น)

$$VFA_{no.} = 1.52 \times (x_1 \times 2) \times n \quad \text{. ..... .(3.3)}$$

โดย 1.52 คือ ค่าคงที่ในการหาจำนวนกรดไขมันระเหยในน้ำยางข้น

x_1 คือ ปริมาณสารแบเรียมไฮดรอกไซด์ขณะก่อนและหลังไตเตรท (V_2-V_1)

n คือ ความเข้มข้นสารแบเรียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

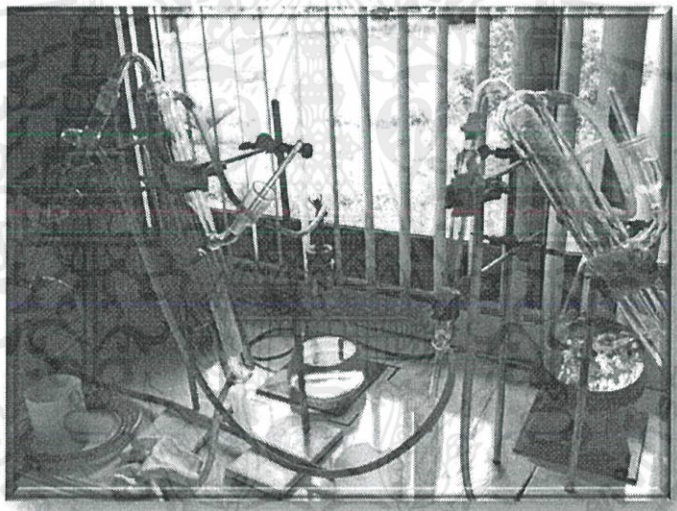
(กรณีเป็นน้ำยางสด)

$$VFA_{no.} = 3.494 \times (x_2 \times 2) \times n \quad \text{.....(3.4)}$$

3.494 คือ ค่าคงที่ในการหาจำนวนกรดไขมันระเหยในน้ำยางสด

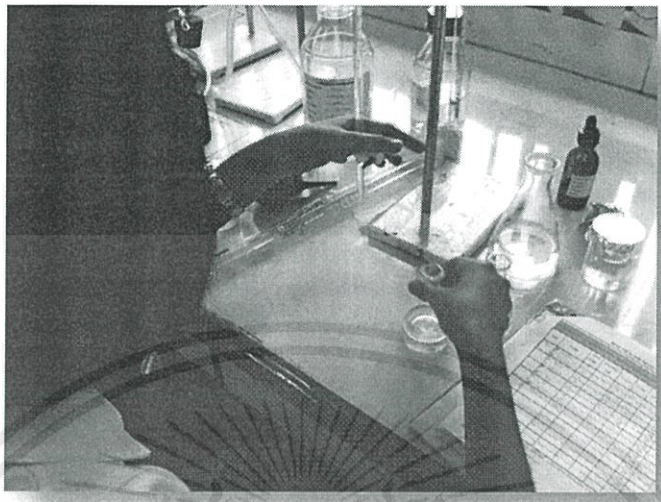
x_2 คือ ปริมาณสารแบเรียมไฮดรอกไซด์ขณะก่อนและหลังไตเตรท (V_2-V_1)

n คือ ความเข้มข้นสารแบเรียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 3.6 การกลั่นกรดที่ได้จากน้ำยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การไตเตรทหา VFA

3.6 การวัด Laboratory Performance

การวัด Laboratory Performance หรือเรียกว่า Repeatability และ Reproducibility วัดเพื่อตรวจสอบค่าที่ได้จากการวัดจริงหลังจากทำการทดลองหาค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยาง

ขั้นตอนการบันทึกค่า Repeatability และ Reproducibility

การบันทึกค่า Repeatability เริ่มที่นำค่ากรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางสดและข้นที่หาได้ทั้ง 2 ซ้ำมาลบกัน โดยซ้ำ 1 – ซ้ำ 2 จะได้ค่าความแตกต่างของซ้ำของตัวอย่างนั้นแล้วนำมาหาค่า Mean และ SD ตามลำดับ ส่วนการบันทึกค่า Reproducibility ให้นำค่ากรดไขมันระเหยที่ได้จากการวัดจริงมาของตัวอย่างปกติลบกับค่าของตัวอย่างที่เป็น Blind sample ที่สอดคล้องกันที่ทำการทดลองซ้ำครั้งที่สองแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ตามลำดับ หลังจากนั้นนำมาหาค่า Reproducibility จากค่า SD แล้วหาค่า RMSEP/SD เพื่อหาสมรรถนะของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองในการทำนายค่า

การวิเคราะห์ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดนั้น ก่อนทำการวิเคราะห์ จะต้องทำการตรวจสอบ ค่านอกกลุ่ม (Outlier) ดังสมการ (3.5)

$$\frac{X-\overline{x}}{SD} \geq 3 \quad \text{.....} \quad (3.5)$$

โดยที่ X คือ ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางที่อ้างอิงจากการวัดแบบวิธีมาตรฐาน $\overline{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยาง และ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากนั้นทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ Calibration set และ Prediction set ในอัตราส่วน 8 : 2 ซึ่ง Calibration set ใช้ในการสร้างแบบจำลองโดยวิธี Partial Least Square Regression (PLSR) โดยที่เครื่อง Portable Spectrometer [AVA-Spec2048-USB2, Avantes] และเครื่อง FT-NIR Spectrometer [model MPA, Bruker] มีข้อมูลสเปกตรัมที่สร้างแบบจำลองเป็นสเปกตรัมดั้งเดิมหรือผ่านการจัดการทางคณิตศาสตร์โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. Vector Normalization (SNV),
2. 1^{st} derivative + Vector Normalization (SNV),
3. 1^{st} derivative

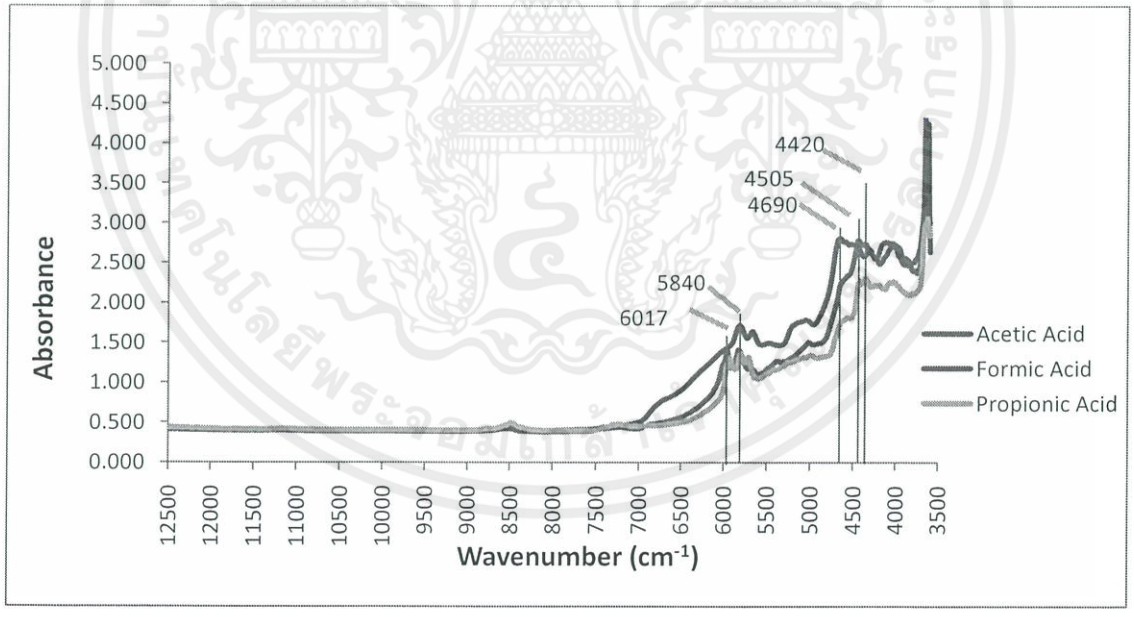
ทั้งนี้การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองใช้โปรแกรม Avasoft 7.5 และโปรแกรม OPUS 7.0 โดยการคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากค่า The coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP), Residual Prediction Deviation (RPD) และ Bias ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

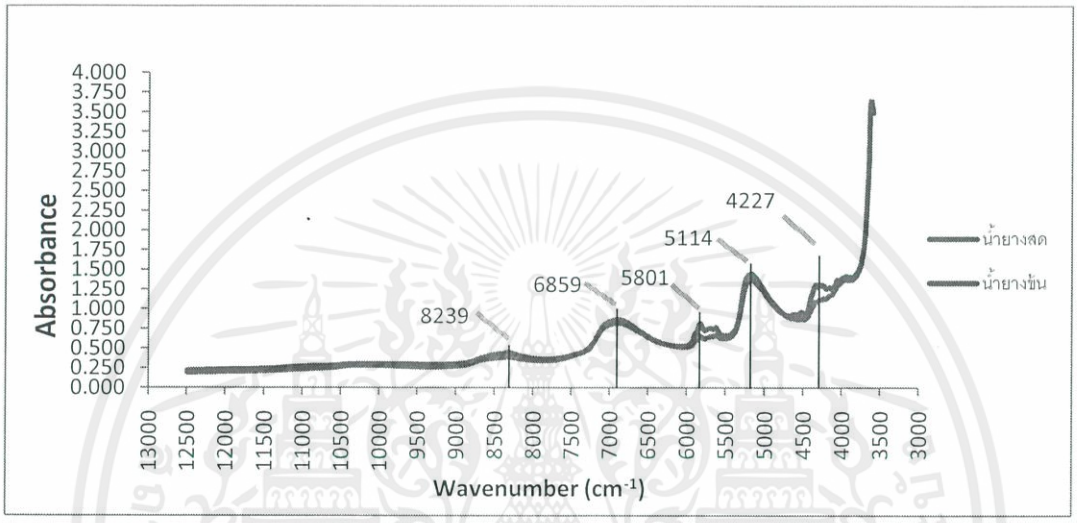
ผลจากการตรวจวัดสเปกตรัมของ กรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราพบว่ามีช่วง Peak เกิดขึ้นที่ช่วงจำนวนคลื่นของกรดอยู่ 2 ช่วง จากกรดไขมันระเหยได้ส่วนใหญ่ 3 ชนิดในน้ำยางพารา ได้แก่ กรดแอซิติก (acetic acid) พบว่ามีช่วง Peak คือ 4505 และ 6017 cm^{-1} กรดฟอร์มิก (formic acid) พบว่ามีช่วง Peak คือ 4690 และ 5840 cm^{-1} และกรดพรอพิโอนิก (propionic acid) พบว่ามีช่วง Peak คือ 4420 และ 5840 cm^{-1} ตามลำดับ (รูปที่ 4.1) จากการตรวจวัดสเปกตรัมของน้ำยางสดและข้น พบว่าช่วง Peak ที่เกิดขึ้นของน้ำที่อยู่ในน้ำยางพาราคือ 5114 และ 5859 cm^{-1} และช่วง Peak ของเนื้อยางพาราคือ 4227 และ 5801 cm^{-1} (รูปที่ 4.2) ชี้ให้เห็นว่า Peak เหล่านี้เป็น Peak ของการดูดซับคลื่นของน้ำยาง แต่ไม่ปรากฏกรดทั้ง 3 ชนิดที่อยู่ในกรดไขมันระเหยได้ในเส้นสเปกตรัมของน้ำ ยางพาราสดและข้น



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของการดูดกลืนคลื่นเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั่นของกรดแอซิติก กรดฟอร์มิก และกรดพรอพิโอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงการตรวจวัดสเปกตรัมของน้ำยางสดและข้น พบว่าช่วง Peak ที่เกิดขึ้นของน้ำที่อยู่ในน้ำยางพาราคือ 5114 และ 5859 cm^{-1} และช่วง Peak ของเนื้อยางพาราคือ 4227 และ 5801 cm^{-1} ชี้ให้เห็นว่า Peak เหล่านี้เป็น Peak ของการดูดซับคลื่นของน้ำยาง แต่ไม่ปรากฏ Peak ของกรดทั้ง 3 ชนิดที่อยู่ในกรดไขมันระเหยได้ในเส้นสเปกตรัมของน้ำยางพาราสดและข้น



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของการดูดกลืนคลื่นเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นของน้ำยางสดและน้ำยางข้น

ตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลทางสถิติของกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับเครื่อง Shortwave spectrometer และ FT-NIR spectrometer ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างน้ำยางสดและข้นสำหรับเครื่อง Shortwave Spectrometer [AVA-Spec2048-USB2, Avantes]

Parameter	**Calibration Set**					**Prediction Set**				
VFA	N	Mean	Max	Min	SD	N	Mean	Max	Min	SD
number	266	0.1328	0.6646	0.0108	0.1355	66	0.2631	0.6646	0.0108	0.1829

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างน้ำยางสดและข้นสำหรับเครื่อง FT-NIR Spectrometer[MPA, Bruker]

Parameter	**Calibration Set**					**Prediction Set**				
VFA	N	Mean	Max	Min	SD	N	Mean	Max	Min	SD
number	115	0.1423	0.6646	0.0108	0.1506	28	0.2646	0.6584	0.0308	0.1736

ผล Laboratory performance ของค่ากรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราสดและข้นหรือ ค่า Repeatability และ Reproducibility ของการวัดค่ากรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราสดและข้น แสดงดังตารางที่ 4.3

Repeatability มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าเฉลี่ย (mean) 0.003% และ 0.007% ตามลำดับ Reproducibility มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าแสดงสมรรถนะของเทคนิค NIR (SEP/SD) เท่ากับ -0.011%, 0.054% และ 0.501 ตามลำดับ โดยที่ค่าแสดงสมรรถนะของเทคนิค NIR จะพิจารณาว่า "ดี" ถ้าค่าแสดงสมรรถนะของเทคนิค NIR นั้นมีค่าแม่นยำในการทำนายถ้าค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) เป็น 1-2 เท่าของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าความแตกต่างของค่าที่มาจากวิธีการทดสอบ Reproducibility ที่ใช้อ้างอิง (ที่มา : Tony, Pietroutonio, Caltest, USA ; ติดต่อส่วนตัว) เมื่อค่าแสดงสมรรถนะ <1.0 แสดงว่า ดีเยี่ยม, 1-2.1 แสดงว่า ดี, 2.1-2.4 แสดงว่า พอใช้, 2.5-3.0 แสดงว่า ไม่ดี, >3.0 แสดงว่า ไม่ดีเลย ซึ่งค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1.0 (0.501) ถือว่าการทำการทดลองดีเยี่ยม เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 Laboratory performance สำหรับค่ากรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราสดและข้น

Repeatability				Reproducibility			
Posotion	Dup.a	Dup.b	Diff. a-b	Posotion	Dup.a	Dup.b	Diff. a-b
FL038.1,FL038.2	0.071	0.063	0.008	FL083.1,FL083.R1	0.285	0.376	-0.091
FL049.1,FL049.2	0.071	0.063	0.008	FL090.1,FL090.R2	0.475	0.405	0.070
CL028.1,CL028.2	0.044	0.036	0.009	CL029.1,CL029.R3	0.051	0.054	-0.003
FL070.1,FL070.2	0.098	0.097	0.001	CL030.1,CL030.R4	0.031	0.040	-0.009
FL114.1,FL114.2	0.149	0.158	-0.009	CL031.1,CL031.R5	0.067	0.055	0.011
CL043.1,CL043.2	0.038	0.039	-0.002	FL115.1,FL115.R6	0.011	0.052	-0.041
		Mean	0.003			Mean	-0.011
		SD	0.007			SD	0.054
						RMSEP/SD	0.501

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการทำ PLS regression สำหรับกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับเครื่อง Shortwave spectrometer พบว่าแบบจำลองในการทำนายกรดไขมันระเหยได้ที่ดีที่สุดได้มาจากการพัฒนาสเปกตรัมด้วยวิธีแบบ Vector Normalization (SNV) โดยมีช่วง wavenumber ที่ดีที่สุดในช่วง 9402.5 – 9245.2 cm^{-1}, Rank (PLS factor) = 1 โดยมีค่า coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP), Residual Prediction Deviation (RPD) และ Bias คือ 37.480%, 0.213, 1.040 และ 0.122 ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองนี้เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ ดี ควรหาเหตุผล และไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปีกับการหาค่ากรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางสดและข้น ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการทำ PLS regression สำหรับกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับเครื่อง FT-NIR spectrometer พบว่า แบบจำลองในการทำ นายปริมาณกรดไขมันระเหยได้ที่ดีที่สุดได้มาจากการพัฒนาสเปกตรัมด้วยวิธีแบบ Vector Normalization (SNV) โดยมีช่วงจำนวนคลื่นที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง wavenumber 7506.0 – 4597.7 cm^{-1} และ Rank (PLS factor) = 10 โดยมีค่า R^2, RMSEP, RPD และ Bias คือ 60.440%, 0.107, 1.650 และ 0.029 ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ในการคัดเลือกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งกลุ่มอย่างหยาบได้แต่ไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกับการหาค่ากรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางสดและข้น

จากรูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงด้วยวิธีมาตรฐานของโรงงานกับค่าที่ได้จากการทำนายจากแบบจำลองด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี รูปที่ 4 แสดงกราฟ regression coefficient ที่ได้จากการทำ PLSR ของปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางสดและน้ำยางข้น พบว่ากราฟปรากฏ Peak ที่ช่วง 4698, 4836, 5223 และ 5354 cm^{-1} แสดงถึงการดูดซับคลื่นที่ Peak ดังกล่าวมีผลอย่างมากต่อการทำนายค่า

ตารางที่ 4.4 ผลของการทำ PLS regression สำหรับปริมาณกรดไขมันระเหยได้ (VFA No.) ของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับเครื่อง Shortwave Spectrometer [AVA-Spec2048-USB2, Avantes]

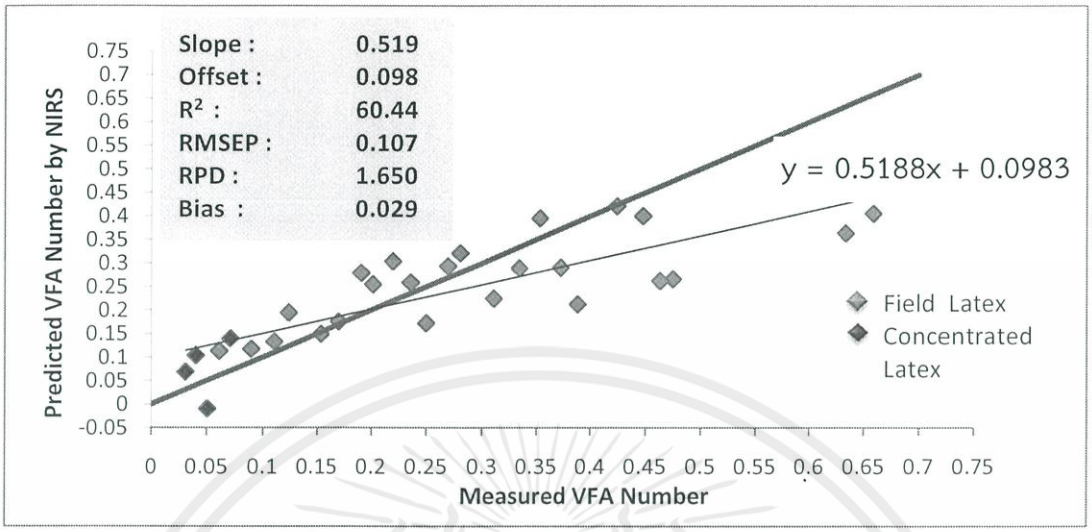
Pretreatment Method	Wavenumber (cm^{-1})	Rank	Calibration			Validation			
			R^2	RMSEE	RPD	R^2	RMSEP	RPD	Bias
Vector Normalization (SNV)	9402.5-9245.2	1	6.302	0.131	1.030	37.480	0.213	1.040	0.122
Vector Normalization (SNV)	9402.5-9088	1	8.022	0.130	1.040	39.630	0.214	1.030	0.123
1^{st} derivative + Vector Normalization (SNV)	9402.5-9088	1	3.517	0.133	1.020	41.810	0.216	1.040	0.127
Vector Normalization (SNV)	9402.5-9088	1	6.081	0.132	1.030	42.840	0.217	1.030	0.126
1^{st} derivative	9402.5-9088	1	3.259	0.134	1.020	47.370	0.220	1.010	0.128

ตารางที่ 4.5 ผลของการทำ PLS regression สำหรับปริมาณกรดไขมันระเหยได้ (VFA No.) ของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับเครื่อง FT-NIR Spectrometer[MPA, Bruker]

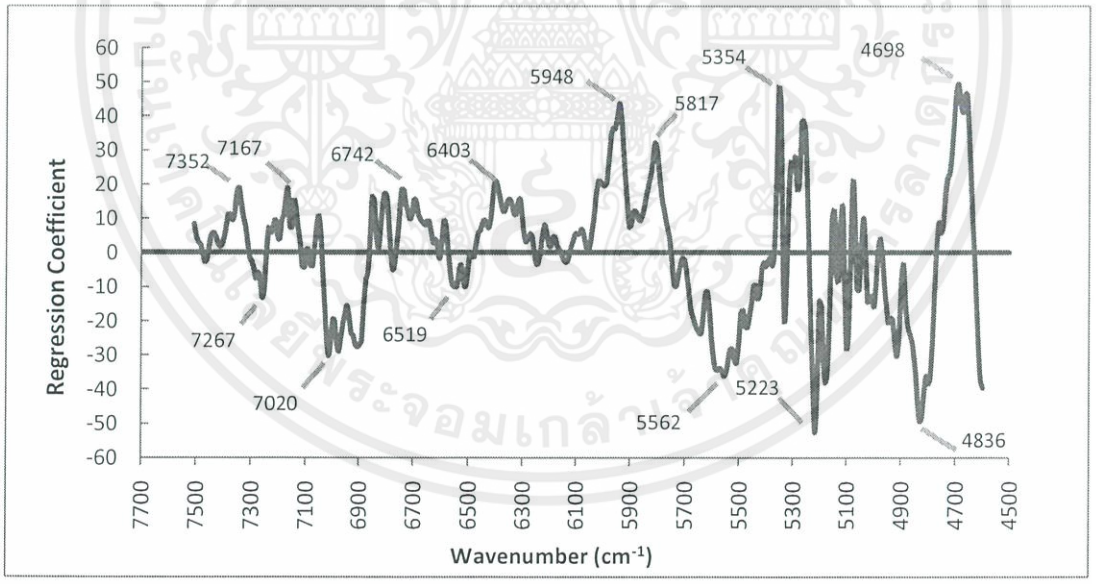
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pretreatment Method	Wavenumber (cm^{-1})	Rank	Calibration			Validation			
			R^2	RMSEE	RPD	R^2	RMSEP	RPD	Bias
Vector Normalization (SNV)	7506-4597.7	10	67.740	0.090	1.760	60.440	0.107	1.650	0.029
1st derivative	6102-4597.7	8	62.770	0.095	1.640	58.770	0.109	1.600	0.024
Vector Normalization (SNV)	6102-4597.7	9	65.820	0.092	1.710	58.260	0.110	1.600	0.029
Vector Normalization (SNV)	6055.7-4597.7	9	64.550	0.093	1.680	57.040	0.112	1.590	0.031
1st derivative + Vector Normalization (SNV)	7506-5446.3 4605.4-4242.9	8	63.720	0.094	1.660	56.780	0.112	1.530	0.010
1st derivative	9403.8-4597.7	9	65.150	0.093	1.690	55.75	0.113	1.570	0.033
Vector Normalization (SNV)	9403.8-6094.3 5454-4242.9	9	64.120	0.094	1.670	55.590	0.114	1.530	0.024
1st derivative	9403.8-7498.3 6102-4597.7	9	64.670	0.093	1.680	55.590	0.114	1.560	0.032
Vector Normalization (SNV)	7506-6094.3 5454-4597.7	10	67.950	0.089	1.770	55.230	0.114	1.620	0.043
1st derivative + Vector Normalization (SNV)	7506-6094.3 5454-4597.7	8	60.600	0.098	1.590	54.860	0.115	1.570	0.037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงด้วยวิธีมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี



รูปที่ 4.4 ค่า Regression coefficient ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของแบบจำลองเพื่อวัดปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพารา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลและสร้างแบบจำลองในการทำนายความสัมพันธ์ระหว่าง การดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราสดและข้น พบว่าแบบจำลองในการทำนายปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพาราที่สร้างจากสเปกตรัมที่ผ่านการ Vector Normalization (SNV) สำหรับเครื่อง [FT-NIR Spectrometer model MPA, Bruker] ให้การทำนายได้ดีและแม่นยำกว่าเครื่อง Spectrometer [AVA-Spec2048-USB2, Avantes] ที่ช่วงความยาวคลื่น wavenumber = 7506.0 – 4597.7 cm^{-1} และ Rank (PLS factor) = 10 โดยมีค่า The coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP), Residual Prediction Deviation (RPD) และ Bias สำหรับการทำนายปริมาณกรดไขมันระเหยได้ คือ 60.440%, 0.107, 1.650 และ 0.029 ตามลำดับ โดยชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ในการคัดเลือกแบบแบ่งกลุ่มอย่างหยาบได้ แต่ไม่แนะนำให้ประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปีกับการหาค่ากรดไขมันระเหยได้ ในน้ำยางสดและข้น (Williams, 2007) [19] แต่จากค่าแสดงสมรรถนะของเทคนิค NIR (SEP/SD) ซึ่งค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1.0 (0.501) พบว่าการทำการทดลอง มีค่าดีเยี่ยม เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Tony, Pietroutonio, Caltest, USA, Personal contact)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] เมธี ดีพร้อมมิตร และคณะ, 2554, "การใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีช่วงคลื่นสั้นในการตรวจสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพารา", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[2] ยางธรรมชาติ, 2547, [online], เข้าถึงได้จาก : http://www.electron.rmutphysics.com/science-news/index.php?option=com_content&task=view&id=141&Itemid=0 [23 กันยายน 2555]

[3] พืชไร่เศรษฐกิจ. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรมวิชาการเกษตร, [online], เข้าถึงได้จาก : http://ait.nisit.kps.ku.ac.th/dbfieldcrop/use/usepararubber.htm#3

[4] วิธีการผลิตยางน้ำข้นของไทย, [online], เข้าถึงได้จาก : http://www.yangpara.com/Plant/rubbermethod.htm

[5] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, พิมพ์ครั้งที่ 4, พ.ศ. 2544, วิธีทดสอบน้ำยางข้น

[6] เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ระหว่างวันที่ 14-18 พฤษภาคม 2555 จัดโดย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[7] พรรณทิพย์ ห่อศรีสัมพันธ์ , 2548, "NIR Spectrometer เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สารอินทรีย์" , [Online], เข้าถึงได้จาก : http://nirapplication.blogspot.com/2008/03/nir-spectrometer.html

[8] วิศรุต บุญช่วย, 2553, "การตรวจสอบความหวานของแตงโมพร้อมบริโภคโดยไม่ทำลายที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝนด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเก้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[9] วีรชัย พุทธวงศ์, "การใช้สเปกโทรเมตรีในการพิสูจน์สารประกอบอินทรีย์", [online], เข้าถึงได้จาก : http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/section2/ch351/download/ir.pdf

[10] รวิพันธ์ ชาวบ้านกร่าง, 2553, "การวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับห้องปฏิบัติการในโรงงานด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี",

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเก้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[11] วลัยพร เตียประสิทธิ์, "การทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณกรดทั้งหมด ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ เพชรสามพราน และทูลเกล้า ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy", [online], เข้าถึงได้จาก : http://research.rdi.ku.ac.th/world/cache/a3/WalaipornTIAAll.pdf

[12] วิชัย ริ้วตระกูล, 2547, โกศัลย์ คูสำราญ, พิเชษฐ์ วิริยะจิตรา, "การประยุกต์สเปกโตรสโคปีในเคมีอินทรีย์", [online], เข้าถึงได้จาก : http://southnfe.go.th/LearnSquare/index.php?mod=Courses&op=course_detail&cid=43&sid

[13] พัลลภ ทองเนียมและคณะ, 2544, "การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดโดยวิธีการไม่ทำลายด้วยวิธี NIR Spectroscopy", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเก้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[14] อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล, วารุณี ธนะแพสย์, สุพรรณิกา เวียนทอง, 2546, "การศึกษาเบื้องต้นในการใช้เทคนิค Near infrared Spectroscopy ประเมิน Brix ในน้ำส้ม", ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[15] คลังศัพท์ไทย, Volatile fatty acid number, 2554 ,ค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2556, [online], เข้าถึงได้จาก : http://www.thaiglossary.org/node/39079

[16] เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร (ตอนที่ 3), 2556, ค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2556 [online], เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0300/เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร-ตอนที่-3

[17] บริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเท็กซ์ คอปอร์เรชั่น จำกัด (2554) เอกสารประจำห้องปฏิบัติการของโรงงาน, มาตรฐาน ISO 506:1992 (E) Natural rubber latex concentrate – Determination of volatile fatty acid number

[18] นิพนธ์ ตั้งคนานุรักษ์, 2545 "หลักพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปีการอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวที การค้าโลก", สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[19] Williams, P. (2007) Near-infrared Technology – Getting the best out of light. Edition 5.4. A short course in the practical implementation of near-infrared spectroscopy for the user. PDK Grain, Nanaimo, Canada.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำยางพาราข้น

(วัดโดยวิธีของโรงงาน)

ตัวอย่างที่	น้ำยางข้น	ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA)
1	CL1	0.0321
2	CL2	0.0534
3	CL3	0.0571
4	CL4	0.0352
5	CL5	0.0322
6	CL6	0.0572
7	CL7	0.0722
8	CL8	0.0376
9	CL9	0.0512
10	CL10	0.1021
11	CL11	0.0362
12	CL12	0.0774
13	CL13	0.0584
14	CL14	0.0403
15	CL15	0.0404
16	CL16	0.0384
17	CL17	0.0542
18	Cl18	0.0635
19	CL19	0.0365
20	CL20	0.0478
21	CL21	0.0813
22	CL22	0.0496
23	CL23	0.0709
24	CL24	0.0505
25	CL25	0.0377
26	CL26	0.0679
27	CL27	0.0581
28	CL28	0.0398
29	CL29	0.0506
30	CL30	0.0308
31	CL31	0.0666

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่	น้ำยางข้น	ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA)
32	CL32	0.0669
33	CL33	0.0687
34	CL34	0.0694
35	CL35	0.0468
36	CL36	0.0675
37	CL37	0.0401
38	CL38	0.0582
39	CL39	0.0468
40	CL40	0.0502
41	CL41	0.0578
42	CL42	0.0645
43	CL43	0.0386
44	CL44	0.0524
45	CL45	0.0620
46	CL46	0.0447
47	CL47	0.0377
48	CL48	0.0594
49	CL49	0.0625
50	CL50	0.0565
51	CL51	0.0462

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำยางพาราสด

(วัดโดยวิธีของโรงงาน)

ตัวอย่างที่	น้ำยางข้น	ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA)
1	FL1	0.0930
2	FL2	0.0870
3	FL3	0.0765
4	FL4	0.0843
5	FL5	0.0457
6	FL6	0.0587
7	FL7	0.1517
8	FL8	0.1300
9	FL9	0.1113
10	FL10	0.1083
11	FL11	0.3507
12	FL12	0.2294
13	FL13	0.2726
14	FL14	0.0403
15	FL15	0.0797
16	FL16	0.0844
17	FL17	0.0508
18	Fl18	0.0515
19	FL19	0.0550
20	FL20	0.0858
21	FL21	0.0596
22	FL22	0.0624
23	FL23	0.0685
24	FL24	0.0534
25	FL25	0.0797
26	FL26	0.1259
27	FL27	0.0668
28	FL28	0.0493
29	FL29	0.0611
30	FL30	0.0576
31	FL31	0.0624

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่	น้ำยางข้น	ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA)
32	FL32	0.0585
33	FL33	0.0935
34	FL34	0.0974
35	FL35	0.0824
36	FL36	0.1118
37	FL37	0.0664
38	FL38	0.0666
39	FL39	0.1104
40	FL40	0.1152
41	FL41	0.0521
42	FL42	0.0934
43	FL43	0.0901
44	FL44	0.0786
45	FL45	0.0895
46	FL46	0.1223
47	FL47	0.0451
48	FL48	0.0982
49	Fl49	0.0667
50	FL50	0.0428
51	FL51	0.0521
52	FL52	0.0782
53	FL53	0.3059
54	FL54	0.1907
55	FL55	0.0985
56	FL56	0.2014
57	FL57	0.0625
58	FL58	0.1238
59	FL59	0.0820
60	FL60	0.1773
61	FL61	0.4339
62	FL62	0.3726
63	FL63	0.0730
64	FL64	0.1215
65	FL65	0.3084
66	FL66	0.3885

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่	น้ำยางข้น	ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA)
67	FL67	0.2516
68	FL68	0.0588
69	FL69	0.1700
70	FL70	0.0975
71	FL71	0.2357
72	FL72	Error
73	FL73	0.0692
74	FL74	0.2198
75	FL75	0.3104
76	FL76	0.2778
77	FL77	0.0479
78	FL78	0.2495
79	FL79	0.0413
80	FL80	0.2009
81	FL81	0.2802
82	FL82	0.1908
83	FL83	0.2846
84	Fl84	0.2693
85	FL85	0.3046
86	FL86	0.2444
87	FL87	0.2085
88	FL88	0.1782
89	FL89	Error
90	FL90	0.4749
91	FL91	0.3544
92	FL92	0.3366
93	FL93	0.4632
94	FL94	0.3627
95	FL95	0.3090
96	FL96	0.3680
97	FL97	0.3914
98	FL98	0.3752
99	FL99	0.6514
100	FL100	0.4007
101	FL101	0.6334

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่	น้ำยางข้น	ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA)
102	FL102	0.4457
103	FL103	0.4520
104	FL104	0.4480
105	FL105	0.6192
106	FL106	0.6646
107	FL107	0..6472
108	FL108	0.4926
109	FL109	0.6584
110	FL110	0.3341
111	FL111	0.3532
112	FL112	0.4243
113	FL113	0.4191
114	FL114	0.1534
115	FL116	0.1723
116	FL117	0.1168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้