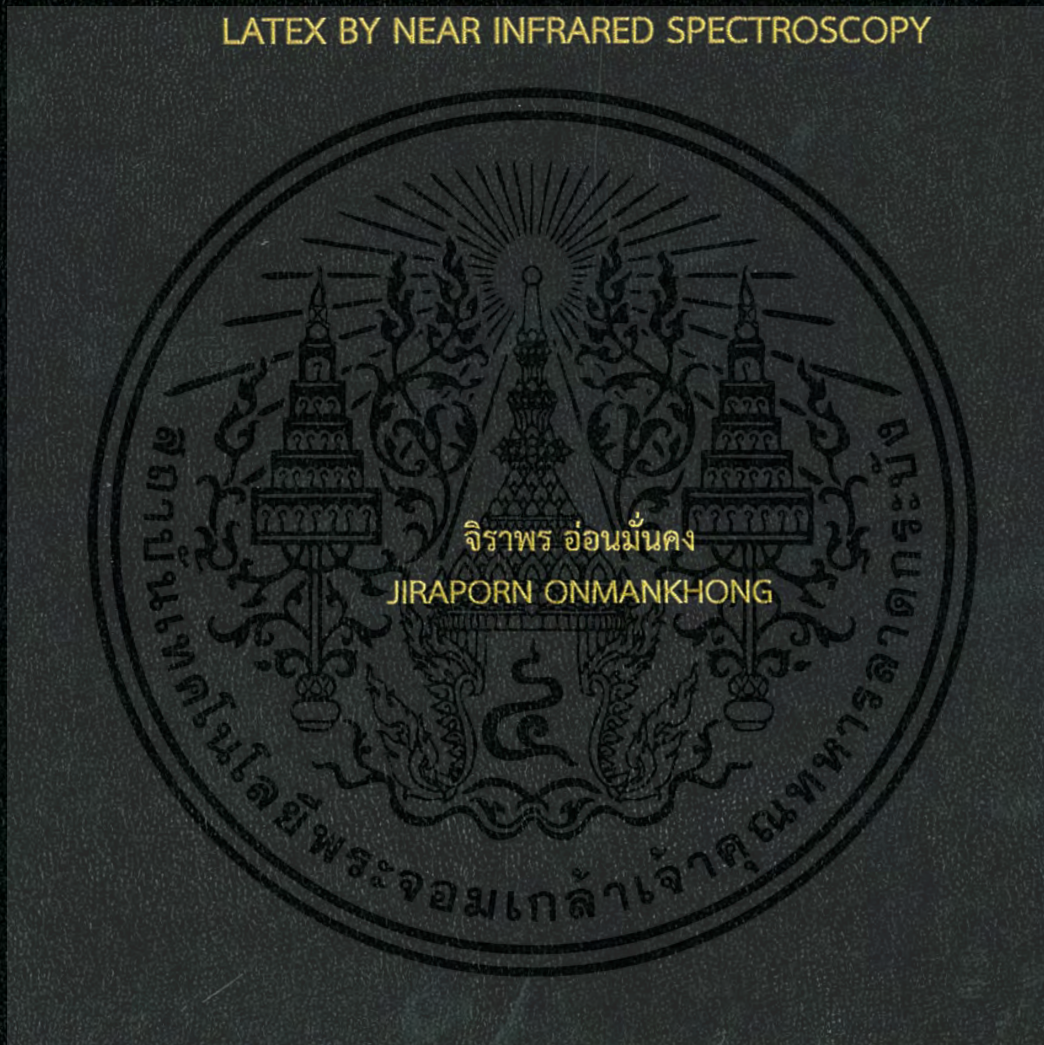


การวิเคราะห์ปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรต และปริมาณเตตระเมทิลไทยูแรม
ไดซัลไฟด์ในน้ำยางธรรมชาติ ด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

EVALUATION OF AMMONIUM LAURATE SOAP CONTENT AND
TETRAMETHYLTHIURAM DISULPHIDE CONTENT IN NATURAL RUBBER
LATEX BY NEAR INFRARED SPECTROSCOPY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-100-37

การวิเคราะห์ปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรต และปริมาณเตตระเมทิลไทยแรม
ไดซัลไฟด์ในน้ำยางธรรมชาติ ด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

EVALUATION OF AMMONIUM LAURATE SOAP CONTENT AND
TETRAMETHYLTHIURAM DISULPHIDE CONTENT IN NATURAL RUBBER
LATEX BY NEAR INFRARED SPECTROSCOPY



T148836

จिरาพร อ่อนมั่นคง

JIRAPORN ONMANKHONG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 148836
เล่มเดือนปี..... 23 11.9. 2560

b. 00266924

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-100-37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATION OF AMMONIUM LAURATE SOAP CONTENT AND
TETRAMETHYLTHIURAM DISULPHIDE CONTENT IN NATURAL RUBBER
LATEX BY NEAR INFRARED SPECTROSCOPY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-EN-M-100-37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตและปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ใน
น้ำยางธรรมชาติด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Thesis Title Evaluation of Ammonium Laurate Soap Content and Tetramethylthiuram
Disulphide Content in Natural Rubber Latex by Near Infrared Spectroscopy

นักศึกษา นางสาวจิราพร อ่อนมันคง

รหัสประจำตัว 58601088

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-100-37

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อนุพันธ์	เทอดวงศ์วรกุล	
ผศ.ดร.ประสันต์	ชุ่มใจหาญ	
ดร.รวิภัทร	ลาภเจริญสุข	
ดร.จิราพร	ศรีภิญโญวนิชย์ จงยิ่งเจริญ	
รศ.ดร.ปานมนัส	ศิริสมบูรณ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2560 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการตี (รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี) ใช้นั้นขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตและปริมาณเตตระเมทิลไทย
แรมไดซัลไฟด์ในน้ำยาธรรมชาติด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
นักศึกษา นางสาวจิราพร อ่อนมั่นคง
รหัสประจำตัว 58601088
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ. 2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญรัมย์

บทคัดย่อ

ในโรงงานผลิตน้ำยาล้างจานและโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากโรงงานน้ำยาล้างจาน ปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตและเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ และวิธีการมาตรฐานในการตรวจวัดเป็นวิธีการที่ยุ่งยาก ใช้เวลานาน และต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ทดสอบ การศึกษานี้เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย รวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่างทดสอบเพื่อจะใช้แทนวิธีการมาตรฐาน การศึกษานี้ได้รวบรวมน้ำยาล้างจานจากโรงงานของบริษัทไทยรับเบอร์ ลาเท็กซ์ คอร์ปอเรชั่น และ บริษัท ไทยอ้อย่างพารา จำกัด การศึกษาความเป็นไปได้การวิเคราะห์ปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตและเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ในน้ำยาล้างจานมีการปรับความเข้มข้นของสบู่แอมโมเนียมลอเรต 11 ระดับ ในช่วง 0.00-0.10% w/w ทั้งหมด 132 ตัวอย่าง และเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ 7 ระดับ 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06%w/w ทั้งหมด 140 ตัวอย่าง หลังจากนั้นนำไปสแกนด้วยคลื่นเนียร์อินฟราเรดทันที สแกนที่อุณหภูมิห้อง 25 ± 2 องศาเซลเซียส แบบจำลองสร้างด้วย Partial Least Square Regression แบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับการทำนายปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตและเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ได้จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยวิธีการในรูปแบบสะท้อนแบบแพร่ โดยบรรจุน้ำยาในถ้วยควอทซ์และสแกนผ่านควอทซ์ทางกันถ้วย โดยการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นโดยวิธี Straight line subtraction และ Min-Max normalization ตามลำดับ กรณีปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตมีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (R^2), ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์ (RMSEC), ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Bias) และอัตราส่วนระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทำนายกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (RPD) มีค่าเท่ากับ 0.66%, 0.0164%, -0.0041% และ 1.78 สำหรับกรณีปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร มีค่าเท่ากับ 0.76%, 0.00882%, -0.0017% และ 2.1 ตามลำดับ สำหรับกรณีปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A มีค่าเท่ากับ 0.73%, 0.05%, 0.0032% และ 1.95 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Evaluation of ammonium laurate soap content and tetramethylthiuram disulphide content in natural rubber latex by near infrared spectroscopy
Student	Miss Jiraporn Onmankhong
Student ID.	58601088
Degree	Master of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon

ABSTRACT

In concentrated rubber latex factories, ammonium laurate soap content and tetramethylthiuram disulphide (TMTD) content of the latex is the important quality parameters. The primary methods for the parameters need a long time per test, and high skilled laboratory. This study was to evaluate the possibility of near infrared (NIR) spectroscopy technique, rapid and nondestructive method, to be substituted for the primary methods. The concentrated latex samples were collected from the Thai Rubber Latex Corp. (Thailand) PCL and Thai Hua Rubber Public company limited. In case of ammonium laurate soap content evaluation, the concentration of ammonium laurate soap in 132 concentrated latex sample was adjusted for eleven levels in the range of 0.01-0.10%w/w. For TMTD content evaluation, the concentration of TMTD in 140 concentrated latex sample was adjusted for seven levels in the range of 0.00, 0.025, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06 and 0.07%w/w. The NIR scanning in diffuse reflectance mode was done immediately after adjusted through the bottom of quartz cup. The experiment was done at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ room temperature. The models was developed using partial least squares regression (PLSR). The best models for ammonium laurate soap content, TMTD measurement method that currently under requesting for patent and TMTD reference value was measured by MY-148291-A method of concentrated latex was developed using Straight line subtraction, Min-Max normalization and Multiplicative Scatter Correction spectra respectively. The ammonium laurate soap content model provided the coefficient of determination (R^2), the standard error of estimation (RMSEC), bias, residual prediction deviation (RPD) were 0.66%, 0.0164%, -0.0041% and 1.78 and TMTD measurement method that currently under requesting for patent content model was 0.76, 0.00882, -0.00171 and 2.1, respectively. For the case of TMTD reference value was measured by MY-148291-A method was 0.73%, 0.05%, 0.0032% and 1.95, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญ
ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเท็กซ์ คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน จังหวัด
ชลบุรี และ บริษัท ไทยอ้อย่างพารา จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปี สำหรับผลทางการเกษตรและอาหาร คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการทุกคน ที่ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่ง
เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และ
ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า



จิราพร อ่อนมั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.1.1 กรณีการวัดสบู่อามโมเนียมลอเรต.....	1
1.1.2 กรณีการวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนการทดลอง.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 น้่างยงซ้่น.....	5
2.1.1 การผลิตน้่างยงซ้่น.....	5
2.1.2 ชนิดของน้่างยงซ้่น.....	6
2.2 สบู่แอมโมเนียมลอเรต.....	6
2.2.1 ลักษณะสารเคมีของสบู่แอมโมเนียมลอเรต.....	6
2.3 เตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์.....	6
2.3.1 ลักษณะสารเคมีของเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์.....	8
2.4 เทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโทสโกปี.....	9
2.4.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโทสโกปี.....	9
2.4.1.1 หลักการพื้นฐานของ NIR.....	9
2.4.2 หลักการของส้่นของสเปกโทรสโกปี.....	11
2.4.3 หลักการพื้นฐานของเครื่อง Near Infrared Spectrometer.....	11
2.4.4 ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานของ NIR spectrometer.....	12
2.4.5 วิธีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น.....	16
2.4.5.1 Constant Offset Elimination.....	16
2.4.5.2 Straight Line Subtraction.....	16
2.4.5.3 Vector Normalization (SNV).....	16
2.4.5.4 Max - Min Normalization.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.5.5	Multiplicative Scattering Correction (MSC).....	16
2.4.5.6	First Derivative (อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง).....	16
2.4.5.7	Second Derivative (อนุพันธ์อันดับที่สอง).....	17
2.4.6	การสร้างแบบจำลองและการพิสูจน์แบบจำลอง.....	18
2.4.6.1	ขั้นตอนการทำ Calibration.....	18
2.4.6.2	ขั้นตอนการทำ Validation.....	20
2.4.6.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบอกสมรรถนะของแบบจำลอง.....	21
2.5	ความสามารถในการทำซ้ำและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ.....	24
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3	วิธีการทดลอง.....	26
3.1	ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....	26
3.1.1	กรณีการวัดปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรต.....	26
3.1.2	กรณีการวัดปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์.....	26
3.2	การสแกนด้วยคลื่น NIR.....	26
3.2.1	สแกนด้วยดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสibel เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	26
3.2.2	สแกนด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	29
3.2.3	สแกนด้วยลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์.....	27
3.3	การวัดค่าอ้างอิง.....	28
3.3.1	กรณีสบู่แอมโมเนียมลอเรต.....	28
3.3.2	กรณีเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์.....	29
3.4	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	30
3.4.1	การวิเคราะห์ค่านอกกลุ่ม (Outlier).....	30
3.4.2	การสร้างและพิสูจน์แบบจำลอง.....	30
3.4.2.1	การสร้างและพิสูจน์แบบจำลองของสเปกตรัม จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสibel เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี....	30
3.4.2.2	การสร้างและพิสูจน์แบบจำลองของสเปกตรัม จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	30
3.4.2.3	การสร้างและพิสูจน์แบบจำลองของสเปกตรัมจาก ลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์.....	31
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	31
4.1	การวิเคราะห์สเปกตรัม.....	31
4.1.1	การวิเคราะห์สเปกตรัมจากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยผู้ดูแลระบบขอสงวนสิทธิ์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.2 การวิเคราะห์สเปกตรัมจากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของสบูแอมโมเนียมลอเรตที่ระดับต่างๆ.....	34
4.1.3 การวิเคราะห์สเปกตรัมจากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของ TMTD ที่ระดับต่างๆ.....	34
4.2 แบบจำลอง.....	35
4.2.1 กรณีการวัดปริมาณสบูแอมโมเนียมลอเรต.....	35
4.2.1.1 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัม ที่ได้จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ด้วยซอฟต์แวร์ OPUS version 7.0.129.....	35
4.2.1.2 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัม ที่ได้จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X 10.3.....	39
4.2.1.3 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัม ที่ได้จากลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X 10.3.....	40
4.2.2 กรณีวัดปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัด เตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร.....	43
4.2.2.1 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร ด้วยซอฟต์แวร์ OPUS version 7.0.129.....	43
4.2.2.2 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัด เตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X10.3.....	47
4.2.2.3 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัม ที่ได้จากลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X 10.3.....	49
4.2.3 กรณีวัดปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัด เตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ตามสิทธิบัตรของประเทคมเลเซีย MY-148291-A.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3.1 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A ด้วยซอฟต์แวร์ OPUS version 7.0.129.....	52
4.2.3.2 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก ดิสเพอร์ซีฟอลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X10.3.....	56
4.2.3.3 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก ดิสเพอร์ซีฟอลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัด เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X10.3.....	58
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	60
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	60
5.1.1 การวิเคราะห์สเปกตรัมจากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	60
5.2 สรุปผลการสร้างแบบจำลอง.....	60
5.2.1 สรุปผลการสร้างแบบจำลองทำนายปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรต.....	60
5.2.2 สรุปผลการสร้างแบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์..	60
5.2.2.1 การสร้างแบบจำลองทำนายเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร.....	60
5.2.2.2 การสร้างแบบจำลองทำนายเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	61
5.3 สรุปผลจาก Regression coefficient และ X-loading weight.....	58
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	61
5.4.1 อธิบายเหตุผลที่ไม่ได้สามารถวัดปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรตได้อย่างแม่นยำ แต่สามารถประเมินค่าแบบหยาบๆ ได้.....	61
5.4.2 อธิบายความคลาดเคลื่อนของกรณีเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ที่เป็นไปได้.....	62
5.4.3 การใช้งาน.....	62
เอกสารอ้างอิง.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก ผลการทดลองจากวิธีการทดลองมาตรฐาน.....	68
ภาคผนวก ข ความยาวคลื่นที่มีค่า Regression coefficient หรือ X-loading ของแบบจำลองสูง และแถบการสั่นสะเทือนของโครงสร้างทางเคมีสอดคล้องกันของแบบจำลองทำนาย.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	79



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งช่วงของรังสีอินฟราเรด.....	10
2.2 การแปลความหมายค่า R และ R ²	22
2.3 การอธิบายความหมายของค่า RPD.....	24
4.1 ค่าทางสถิติของปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรตที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	35
4.2 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรตของน้ำยาล้างจาน โดยวิธี PLSR จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	36
4.3 ค่าทางสถิติของปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรต ที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	39
4.4 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรตของน้ำยาล้างจาน โดยวิธีดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	39
4.5 ค่าทางสถิติของปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรตที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย จาก ลิเนียร์วาริเอเบิลฟิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์.....	41
4.6 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรตของน้ำยาล้างจาน โดยวิธี PLSR จาก ลิเนียร์วาริเอเบิลฟิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์.....	41
4.7 ค่าทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนายจาก ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	44
4.8 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรตของน้ำยาล้างจาน โดยวิธี PLSR จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	47
4.9 ค่าทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร ที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	48
4.10 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ของน้ำยาล้างจาน ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร โดยวิธี PLSR จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	45
4.11 ค่าทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร ที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย จาก ลิเนียร์วาริเอเบิลฟิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์.....	50
4.12 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ของน้ำยาล้างจาน ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร โดยวิธี PLSR จากลิเนียร์วาริเอเบิลฟิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์.....	50
4.13 ค่าทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ที่ใช้สร้างแบบจำลอง ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะในโครงการวิจัยของศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ 52 ไร่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ของน้ำยาง ชั้นโดยวิธี PLSR จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY- 148291-A.....	53
4.15 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ของน้ำยาง ชั้นโดยวิธี PLSR จากติสเพอร์ซีฟอัลตราไวเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	56
4.16 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ของน้ำยาง ชั้นโดยวิธี PLSR จากลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัด เตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	58

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการทำการทดลอง.....	4
2.1 กระบวนการผลิตน้ำยางชั้น.....	7
2.2 โครงสร้างของสบู่อามโมเนียมลอเรต.....	8
2.3 โครงสร้างของเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์.....	8
2.4 ตำแหน่งรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ในแถบสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า.....	10
2.5 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ.....	12
2.6 การสแกนด้วยวิธีสะท้อน (Reflectance).....	13
2.7 การสแกนด้วยวิธีส่องผ่าน(Transmittance).....	13
2.8 การสแกนด้วยวิธีส่องผ่านสะท้อน (Transflectance).....	14
2.9 การสแกนด้วยวิธี Interactance.....	14
2.10 NIR สเปกตรัมของมือคน : วัดแบบการสะท้อนแบบแพร่.....	18
3.1 การสแกนตัวอย่างน้ำยางชั้น ด้วยดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	27
3.2 การสแกนตัวอย่างน้ำยางชั้น ด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	27
3.3 การสแกนตัวอย่างน้ำยางชั้น ด้วยลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์.....	28
3.4 การวัดค่าอ้างอิงของสบู่อามโมเนียมลอเรต.....	29
3.5 การวัดค่าอ้างอิงของเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์.....	29
4.1 สเปกตรัมของน้ำยางชั้น ที่ได้จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	33
4.2 สเปกตรัมอนุพันธ์ลำดับที่สองเฉลี่ยของน้ำยางชั้น ที่ได้จากการสแกนฟูเรียร์ทรานส์ ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	33
4.3 สเปกตรัมของน้ำยางชั้นที่ได้จากการสแกนด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปก โทรสโกปีทีสบู่อามโมเนียมระดับต่างๆ.....	34
4.4 สเปกตรัมของน้ำยางชั้นที่ได้จากการสแกนด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปก โทรสโกปีที TMTD ระดับต่างๆ.....	34
4.5 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทร สโกปี จากการใช้ FT-NIR spectrometer กับค่าปริมาณแอมโมเนียมลอเรตที่มีอยู่ในน้ำ ยางชั้นของชุดคาลิเบรชัน.....	36
4.6 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโก ปี จากการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าปริมาณ แอมโมเนียมลอเรตที่มีอยู่ในน้ำยางชั้นของชุดทดสอบ.....	37
4.7 Regression coefficient plot ของแบบจำลองปริมาณแอมโมเนียมลอเรต วัดโดยการสแกนน้ำยางชั้นของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	38
4.8 X-loading plot ของแบบจำลองปริมาณแอมโมเนียมลอเรต วัดโดยการสแกนน้ำยางชั้น ของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	38

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังกระเปาะอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอรเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าปริมาณแอมโมเนียมลอรเรตที่มีอยู่ในน้ำอย่างชันของชุดคาลิเบรชัน.....	40
4.10 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอรเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าปริมาณแอมโมเนียมลอรเรตที่มีอยู่ในน้ำอย่างชันของชุดทดสอบ.....	40
4.11 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอรเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าปริมาณแอมโมเนียมลอรเรต ที่มีอยู่ในน้ำอย่างชันของชุดคาลิเบรชัน.....	42
4.12 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอรเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ ลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าปริมาณแอมโมเนียมลอรเรต ที่มีอยู่ในน้ำอย่างชันของชุดทดสอบ.....	42
4.13 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดเคริเบรชัน ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร.....	45
4.14 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร.....	45
4.15 Regression coefficient plot ของแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ วัดโดยการสแกนน้ำอย่างชันของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร.....	46
4.16 X-loading plot ของแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ วัดโดยการสแกนน้ำอย่างชันของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร.....	46
4.17 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดเคริเบรชัน ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.18	การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ดีสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร.....	49
4.19	การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดเคริเบรชั่น ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร.....	51
4.20	การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร.....	51
4.21	การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชั่น ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	54
4.22	การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	54
4.23	Regression coefficient plot ของแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ วัดโดยการสแกนน้ำยางชั้นของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	55
4.24	X-loading plot ของแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ วัดโดยการสแกนน้ำยางชั้นของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	55
4.25	การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีจากดีสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชั่น ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.26 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีดีสเพอร์ซีฟอัลตราไวเลต วิธีเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปีกับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	57
4.27 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชัน ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	59
4.28 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญต่อประเทศไทย ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากเป็นอันดับ 1 ของโลก อุตสาหกรรมยางจึงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อรายได้ของประเทศไทย [1] เป็นสินค้าที่ทํารายได้จากการส่งออกปีละเป็นจำนวนมาก จึงทำให้เกิดอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับยางพารามากมาย รวมไปถึงการนำไปใช้ในรูปของน้ำยางข้น (Concentrated latex) โดยผ่านกระบวนการผลิตน้ำยางข้น หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์ยางเหล่านี้จะถูกแปรรูปในอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์ต่อไป อุตสาหกรรมน้ำยางข้นเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญ ซึ่งมีวิธีการผลิตที่ทำกันในเชิงการค้าหลายวิธี โดยมีการเติมสารเคมีในกระบวนการผลิต [2] ในการศึกษาชั้นได้ศึกษาวิธีการวัดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น 2 กรณี ได้แก่ กรณีการวัดสบู่แอมโมเนียมลอเรต และการวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์

1.1.1 กรณีการวัดสบู่แอมโมเนียมลอเรต (Ammonium Laurate, AL)

การผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้น เช่น ถุงมือทั่วไป ถุงยางอนามัย อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ป้องกันเชื้อเส้นด้ายยางยืด เข็มพิมพ์ ผลิตภัณฑ์สำหรับรถยนต์ และอื่น ๆ [3] มีกระบวนการปั่นเหวี่ยง การกวน และการบีมน้ำยางในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งทำให้เกิดการค่าความเสถียรเชิงกล (Mechanical stability time, MST) เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ผู้ผลิตน้ำยางข้นจึงเติมสบู่แอมโมเนียมลอเรตลงไปเพื่อเร่งสมบัติความเสถียรเชิงกล [4] ค่า MST สูงจะบ่งชี้ว่า น้ำยางมีความเสถียรต่ออิทธิพลทางกลได้สูง แต่ถ้าค่า MST ต่ำแสดงว่าน้ำยางนั้นจะสูญเสียความเสถียร สามารถจะจับเป็นเม็ดได้ง่ายเมื่อน้ำยางถูกกระทบกับอิทธิพลทางกล [5] ซึ่งค่า MST นี้ เป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถบ่งชี้คุณภาพมาตรฐานน้ำยางข้น อย่างไรก็ตามในส่วนของผู้ใช้น้ำยางข้น ค่า MST ของน้ำยางมีความสำคัญต่อกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีการขึ้นรูปโดยเทคนิคการจุ่มพิมพ์ เช่น การผลิตถุงยางอนามัย ถุงมือแพทย์ ลูกโป่ง การขึ้นรูปเส้นด้ายยางยืด เป็นต้น ทั้งนี้เพราะหากปริมาณแอมโมเนียมลอเรตมากเกินไปอาจจะส่งผลให้น้ำยางเสถียรมากเกินไป จนเกิดปัญหาเกิดฟองอากาศได้ง่าย และน้ำยางไม่ติดพิมพ์ ซึ่งจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาการรั่ว และยางไม่สุก (Under cure) กับผลิตภัณฑ์จุ่มพิมพ์ [6]

1.1.2 กรณีการวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ (Tetramethyl thiuram disulphide, TMTD)

น้ำยางสดที่ได้มาจากต้นยางพาราจะคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้ เพียงระยะเวลาหนึ่ง (4-6 ชม.) หลังจากนั้นจะเกิดการจับตัวเป็นก้อน เนื่องจากการเสถียรภาพของอนุภาคยาง และเกิดการบูดเน่า มีกลิ่นเหม็น สาเหตุหลักเกิดจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโดยใช้สารอาหารในน้ำยาง ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาสภาพของน้ำยางสดรวมทั้งน้ำยางข้นที่ผลิตจากน้ำยางสด เพื่อนำไปใช้ในการผลิต ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ยางเช่น ถูมือยาง เส้นด้ายยางยืด ลูกโป่ง และถุงยางอนามัย [7] สารรักษาสภาพน้ำยาง TMTD/สังกะสีออกไซด์ (ZnO) เป็นสารรักษาสภาพน้ำยางที่มีประสิทธิภาพดี จึงได้มีการนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวาง โดยมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำยางชั้นและลดต้นทุนการใช้สารรักษาสภาพด้วยการลดการใช้แอมโมเนียลง ซึ่งทำให้ปริมาณแอมโมเนียที่ต้องกำจัดก่อนการนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ลดต่ำลงอีกด้วย [8] โดยปกติ TMTD ใช้ร่วมกันกับ ZnO ในอัตราส่วน 1:1 [9] โดยเป็นสารกันบูดสำหรับน้ำยางสด และน้ำยางชั้นที่มีแอมโมเนียต่ำ โดยเติมไปเป็นปริมาณ 0.025% ในกรณีของน้ำยางสด คนกรีดยางจะทำงานในตอนเช้ามืดเมื่อกรีดยางจากต้นแล้ว ชาวสวนจะทำการรักษาสภาพน้ำยางสดไม่ให้จับตัวกันเป็นก้อนด้วยแอมโมเนียและ TMTD/ZnO แล้วบรรจุลงถังหรือรถแท้งค์เพื่อขนส่งไปขายให้โรงงานผลิตน้ำยางชั้น [10] ผู้ผลิตน้ำยางชั้นเป็นผู้รับซื้อจะให้ TMTD/ZnO แก่เกษตรกรในปริมาณที่เหมาะสมกับน้ำยางสดที่จะนำมาขาย แต่บางครั้งเกษตรกรอาจเพิ่มปริมาณ TMTD/ZnO มากขึ้น ทำให้เกิดความเสียหายต่อสมบัติของน้ำยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ที่ผลิต เนื่องจาก TMTD ที่มากเกินไปทำให้น้ำยางมีสมบัติไม่แน่นอน สารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยางสดและน้ำยางชั้นในปัจจุบัน คือ แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียร่วมกับ TMTD/ZnO แอมโมเนีย เป็นสารที่ระเหยง่ายและมีกลิ่นรุนแรงมาก ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ TMTD ยังทำให้เกิดไนโตรซามีน (nitrosamine) สารไนโตรซามีนเป็นสาเหตุของมะเร็งในสัตว์ทดลอง ดังนั้น สารนี้จึงถูกพิจารณาว่ามีความเป็นไปได้ในการเป็นสารก่อมะเร็งกับมนุษย์ [11] จึงจำเป็นต้องมีวิธีการตรวจวัดปริมาณ TMTD ในน้ำยางชั้น ขณะนี้วิธีวัดทางเคมีซึ่งเป็นวิธีที่ซับซ้อนกำลังอยู่ในระหว่างจดสิทธิบัตร เช่นเดียวกันโรงงานยังมีความต้องการวิธีการวัดที่รวดเร็ว และวัดค่าเป็นเชิงปริมาณที่เหมาะสม

ในปัจจุบันโรงงานผลิตน้ำยางชั้นใช้วิธีทางเคมีที่ต้องการแรงงานที่ต้องการความชำนาญและเวลาในการวิเคราะห์ทำให้ทราบผลช้า งานวิจัยเล่มนี้จึงเสนอการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ คือ เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตและปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟต์ ของน้ำยางชั้นโดยตรงเป็นวิธีที่มีการเตรียมตัวอย่างน้อย จะช่วยทำให้แผนกตรวจสอบคุณภาพและแผนกควบคุมกระบวนการของโรงงานสามารถวัดสมบัติดังกล่าว โดยสามารถทำได้อย่างรวดเร็วในคราวเดียว (ประมาณ 2 นาที) แม่นยำไม่ต้องใช้กรรมวิธีทางเคมี หรือกายภาพที่ยุ่งยาก ขณะวัดใช้แรงงานและเวลาน้อยซึ่งหมายถึงการลดต้นทุนในการผลิต ทำให้สามารถรายงานให้ฝ่ายผลิตและฝ่ายขายสามารถประกันคุณภาพก่อนส่งขาย ทำให้ได้น้ำยางชั้น และผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง ทำให้สามารถโรงงานผู้ส่งออกเพิ่มความมั่นใจให้ลูกค้าและสามารถแข่งขันในตลาดโลกได้เพิ่มขึ้น แต่การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้จำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการทำนาย (calibration model) ก่อนการนำไปใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนาแบบจำลอง และเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ ซึ่งไม่เคยมีนักวิจัยใดทำมาก่อนในการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่สามารถปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตและปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟต์ในน้ำยางชั้น ซึ่งเป็นปัจจัยในการประเมินค่า MST และเป็นสารรักษาสภาพน้ำยาง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

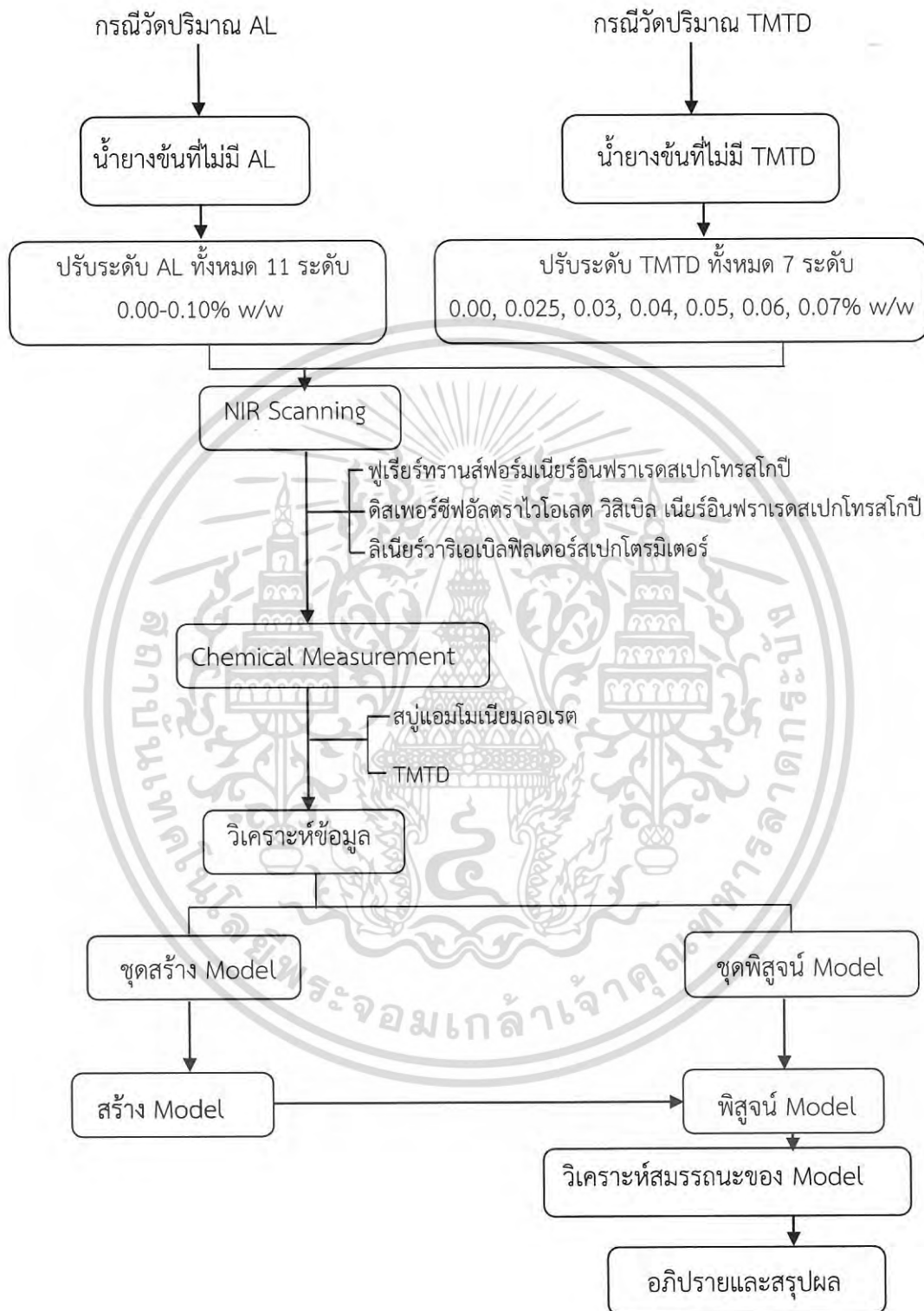
งานวิจัยนี้จะตรวจวัดปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรตและปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้น โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในช่วงความยาวคลื่น 700-2500 nm เป็นชุดสร้างแบบจำลอง และชุดพิสูจน์แบบจำลอง โดยใช้วิธี Test set ด้วยอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ OPUS version 7.0.129, ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในช่วงความยาวคลื่น 350-1100 nm และลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 1150-2150 nm เป็นชุดสร้างแบบจำลอง และชุดพิสูจน์แบบจำลอง โดยใช้วิธี Test set ด้วยอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X 10.3 จะคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจาก ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์ (Root Mean Squared Error of Prediction, RMSEP) ที่ต่ำที่สุด, ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง (Coefficient of Determination, R^2) และ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ต่ำ (Bias)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้แบบจำลองในการวิเคราะห์ปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรตและเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้น โดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยสามารถนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้จริงในห้องปฏิบัติการแผนกตรวจสอบคุณภาพของโรงงานน้ำยางชั้น และโรงงานที่ผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางชั้นและแผนกควบคุมการผลิตของโรงงานที่ผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการทดลอง



หมายเหตุ : AL=Ammonium Laurate, TMTD=Tetramethyl thiuram disulphide, NIR=Near infrared

ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้้ายางข้น

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศ นับว่าเป็นประเทศผู้ผลิตและมีการส่งออกยางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก โดยผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีการส่งออก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่งมาตรฐาน และน้้ายางข้น เป็นต้น อุตสาหกรรมจากยางพาราเป็นอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูงในตลาดทั้งในประเทศ และต่างประเทศ ซึ่งที่สำคัญ ได้แก่ อุตสาหกรรมน้้ายางข้นเป็นการแปรรูปน้ำยางสดใหม่เป็นน้้ายางข้น เพื่อเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ เช่น ถุงมือยาง ยางรถยนต์ เป็นต้น [12]

น้้ายางข้น (Concentrated latex) คือ น้้ายางที่มีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content : DRC) ไม่ต่ำกว่า 60% ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้้ายางข้นในการผลิต เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง ที่นอน ฟองน้ำ หมอนฟองน้ำ เส้นด้ายยางยืด เครื่องมือการแพทย์ ตุ๊กตา หน้ากาก หุ่นต่าง ๆ เป็นต้น [13] เมื่อมีการนำน้ำยางสดไปใช้งานในการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในโรงงานซึ่งค่อนข้างอยู่ไกลจากสวนยางพารา ทำให้เกิดความไม่สะดวก และไม่เป็นการประหยัดในการขนส่งน้ำยางสดไปยังโรงงาน นอกจากนี้สารบางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยางอาจมีผลให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ยางไม่ดี ดังนั้นจึงมีการผลิตน้ำยางสดเป็นน้้ายางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60% ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ [14]

2.1.1 การผลิตน้้ายางข้น [15]

การผลิตน้้ายางข้นสามารถทำได้ 4 วิธี คือ 1) วิธีระเหยด้วยน้ำ (Evaporation) 2) วิธีทำให้เกิดครีม (Creaming) 3) วิธีปั่นแยก (Centrifuging) และ 4) วิธีแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodecantation)

1. วิธีการระเหยน้ำ (Evaporation) การผลิตน้้ายางข้นวิธีนี้ต้องเติมสารที่ทำให้น้ำยางคงตัวเสียก่อนแล้วใช้ความร้อนทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกไปเรียกว่า Evaporation Method น้้ายางข้นที่ได้เรียก Evaporation Latex น้้ายางที่ผลิตโดยวิธีนี้จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 75% ปริมาณเนื้อยาง 60% ที่เหลือเป็นสารอื่นๆ จัดว่าเป็นน้้ายางที่มีสมบัติดีเหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็นกาวยาง

2. วิธีทำให้เกิดครีม (Creaming) ใช้วิธีเติมสารคอลลอยด์ ซึ่งจะเป็นตัวทำให้เกิดการ แยกตัวของอนุภาคยางลอยตัวอยู่บริเวณผิวหน้าน้้ายาง วิธีนี้ค่อนข้างยุ่งยากเสียเวลาแต่น้้ายางที่ได้ จะมีโปรตีนที่ไม่เป็นที่ต้องการลดน้อยลง ซึ่งอนุภาคยางจะโตขึ้น และหยุดการเคลื่อนที่ น้้ายางที่ได้เรียก Creamed Latex

3. วิธีแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodecantation) โดยการใช้ขั้วไฟฟ้าจุ่มในน้้ายาง โดยอาศัยหลักการที่ประจุไฟฟ้าของอนุภาคยางที่แสดงค่าลบ เมื่อจุ่มประจุบวกไปอนุภาคยางจะมารวมที่ขั้วบวก แต่วิธีการนี้ก็ไม่ประหยัดและไม่เป็นที่นิยม

4. วิธีการปั่น (centrifuging) การปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงเป็นหลักการที่นำมาใช้ปั่นน้้ายาง โดยอาศัยสถานภาพของอนุภาคยางที่เบากว่าเซรัม และจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนอยู่เสมอ เมื่อเพิ่ม

ความเร็วของแรงหมุนจะเพิ่มแรงดึงดูดทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น จึงนำวิธีการนี้มาผลิตเป็นเครื่องจักร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปั่นน้ำยาง และน้ำยางที่ได้เรียก Centrifuged Latex วิธีนี้นิยมกันมากเพราะทำได้เร็วและน้ำยางชั้นที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงชันด้วย

วิธีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางชันในประเทศไทย ใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง [16] มีรายละเอียดการผลิตน้ำยางชันดังภาพที่ 2.1

2.1.2 ชนิดของน้ำยางชัน [17]

น้ำยางชันชนิดที่ผลิตในประเทศไทย เป็นน้ำยางชันจากกรรมวิธีการใช้เครื่องปั่น (Centrifuge – concentrated latex) ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิดคือ

-น้ำยางชันชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia, HA) เป็นน้ำยางชันที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชันแอมโมเนีย 0.7% ร่วมกับกรดคลอริก 0.035%

-น้ำยางชันชนิดแอมโมเนียกลาง (Medium Ammonia, MA) เป็นน้ำยางชันที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชันแอมโมเนีย 0.48-0.60%

-น้ำยางชันชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia, LA) เป็นน้ำยางชันที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชันแอมโมเนีย 0.2% ร่วมกับ TMTD 0.013% ร่วมกับ ZnO 0.013% ร่วมกับกรดคลอริก

2.2 สบู่แอมโมเนียมลอเรต (Ammonium laurate soap)

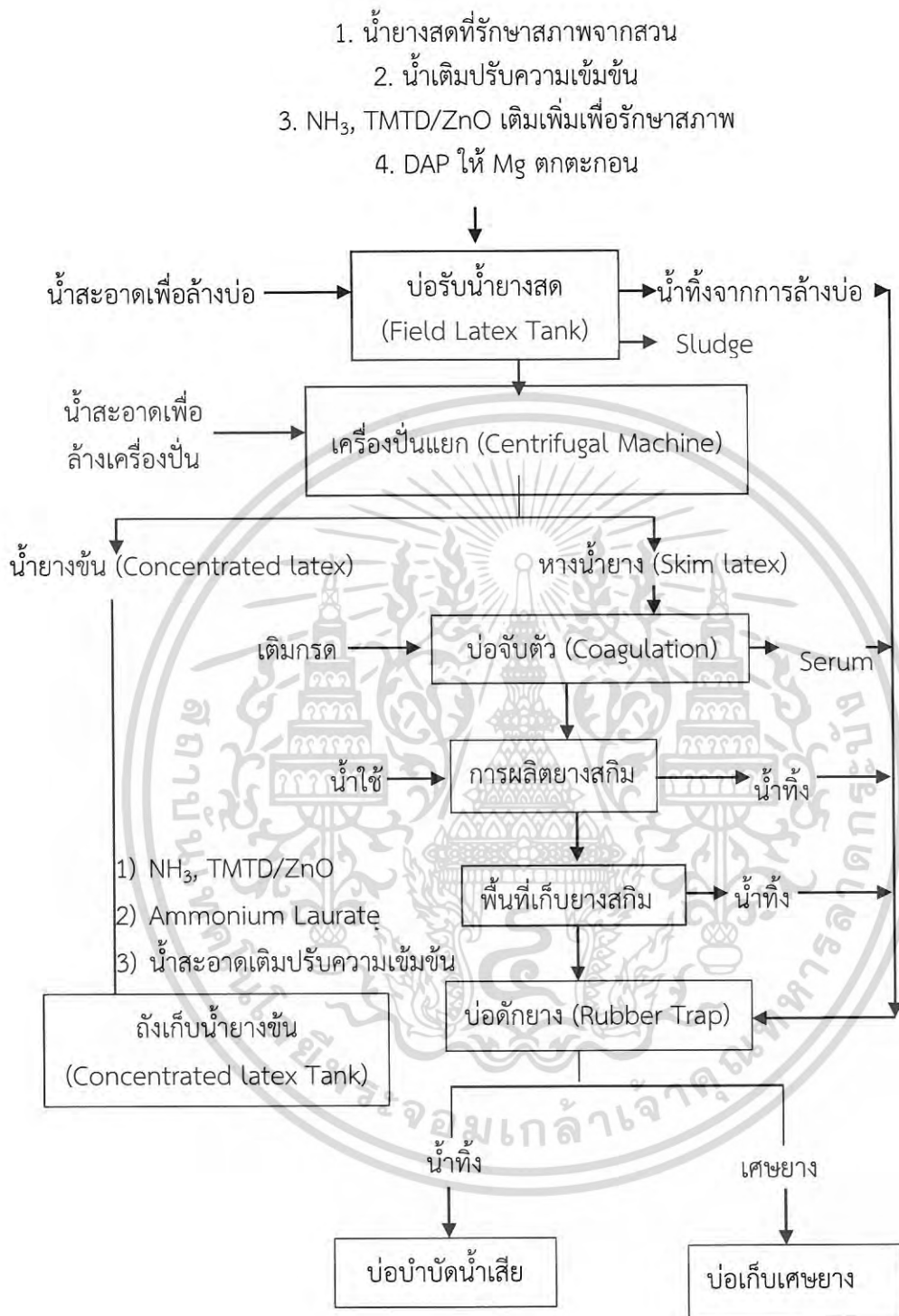
2.2.1 ลักษณะสารเคมีของสบู่แอมโมเนียมลอเรต (Ammonium laurate soap)

สบู่แอมโมเนียมลอเรต มีสูตรทางเคมี คือ $C_{12}H_{27}NO_2$ มีโครงสร้างดังภาพที่ 2.2

ในการปฏิบัติโดยทั่วไปผู้ผลิตน้ำยางชันจะเติมสบู่ในรูปของแอมโมเนียมลอเรต (Ammonium Laurate, AL) เพื่อเร่งความเสถียรเชิงกล (Mechanical Stability Time, MST) ให้ได้ตามข้อกำหนดของผู้ซื้อน้ำยางชัน [18] เมื่อเติมปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า MST เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ค่า MST หมายถึง ความเสถียรของน้ำยางต่ออิทธิพลทางกล เช่น กระบวนการปั่น เหยียง การกวน การบีบหรือการกระทำทางกลโดยวิธีอื่นๆ เมื่อเริ่มปั่นกวนน้ำยางสังเกตเห็นน้ำยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ ค่า MST สูงจะบ่งชี้ว่า น้ำยางมีความเสถียรต่ออิทธิพลทางกลได้สูง แต่ถ้าค่า MST ต่ำแสดงว่าน้ำยางนั้นจะสูญเสียความเสถียร สามารถจะจับเป็นเม็ดได้ง่าย เมื่อน้ำยางถูกกระทบกับอิทธิพลทางกล [4]

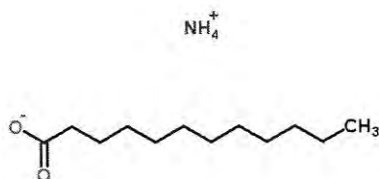
2.3 เตตระเมทิลไทูรัมไดซัลไฟด์ (Tetramethyl thiuram disulphide, TMTD)

การรักษาสภาพน้ำยางสดและชันในสมัยก่อนจนถึงปัจจุบันนี้ ใช้แอมโมเนียเป็นสารกันบูดในโรงงานน้ำยางธรรมชาติ เนื่องจากความสามารถของแอมโมเนียในการระงับปฏิกิริยาของแบคทีเรีย อย่างไรก็ตามข้อเสียของการใช้แอมโมเนียคือ หากใช้ปริมาณมากจะมีกลิ่นเหม็น ทำให้บางกระบวนการมีความจำเป็นต้องมีกระบวนการลดแอมโมเนีย และทำให้ต้องใช้กรดปริมาณมากขึ้นในการจับตัวข้อเสียเหล่านี้ทำให้มีวิธีการเก็บรักษาน้ำยางวิธีใหม่เกิดขึ้น [19]



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



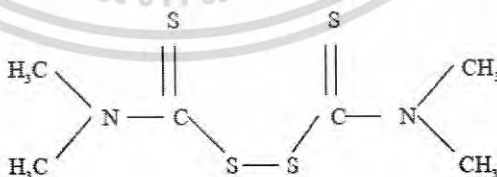
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของสบู่แอมโมเนียมลอเรต [20]

ในปี คศ.1975 เริ่มมีการใช้ TMTD ร่วมกับ ZnO เริ่มมีการใช้ในการเก็บรักษาน้ำยาง โดยใช้แอมโมเนีย 0.2 % ร่วมกับ ZnO 0.025% และ TMTD 0.025% สามารถเก็บรักษาน้ำยางได้นานเป็นที่น่าพอใจ อาจมีการใส่สบู่แอมโมเนียมลอเรต เพื่อเสริมสร้างความเสถียรเชิงกล น้ำยางชั้นชนิดนี้เรียกว่า LA-TZ ซึ่งต้องระมัดระวังการใช้ เนื่องจาก TMTD และ ZnO ทำให้เกิดโมเลกุลของยางเกิดพันธะทางเคมีได้ และหากใส่ในปริมาณที่สูงเกินไป จะทำให้น้ำยางเกิดการจับตัวเป็นก้อนเม็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำยางที่มีอุณหภูมิสูง [21] ซึ่งทำให้ลดกลิ่นเหม็นของแอมโมเนียลง และให้ฟิล์มยางที่มีสีสวยงาม ให้ความเสถียรทางเคมีและมีความเป็นพิษในผลิตภัณฑ์ต่ำ การใช้ TMTD/ZnO ช่วยควบคุมแบคทีเรียและลดการเสื่อมเสียของน้ำยาง เนื่องจากเอนไซม์ช่วยยับยั้งการเพิ่มกรดไขมันระเหย (volatile fatty acids, VFA) ในน้ำยางสดได้เป็นเวลาหลายสัปดาห์ ซึ่งระบบนี้ช่วยลดปริมาณแอมโมเนียจาก 0.7% เหลือ 0.2%

2.3.1 ลักษณะสารเคมีของเตตระเมทิลไทูรัมไดซัลไฟด์ Tetramethylthiuram disulfide (TMTD)

ลักษณะทางกายภาพและเคมี และความเป็นอันตรายของ TMTD จากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS) ของกรมมลพิษ [2] มีดังนี้

- ชื่อเคมี IUPAC : Tetramethylthioperoxydicarbonothioic diamine
- ชื่อเคมีทั่วไป : Bis (dimethylthiocarbamoyl) disulfide
- สูตรโมเลกุล : $C_6H_{12}N_2S_4$
- สูตรโครงสร้าง :



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของเตตระเมทิลไทูรัมไดซัลไฟด์

-รหัส CAS NO. : 137-26-8

-สถานะ : ผลหรือผลึกของแข็ง

-สี : ขาว-เหลือง-เทาอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กลิ่น : เฉพาะตัว
- น้ำหนักโมเลกุล : 240.44
- จุดเดือด (°C) : 129
- จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (°C) : 155-156
- ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ = 1) : 1.29
- ความดันไอ (มม.ปรอท) : 0 ที่ 20 °C
- ความหนาแน่นไอ (อากาศ=1) : 8.29
- ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.) : 103
- IDLH (ppm) : 10
- PEL-TWA (ppm) : 5
- TLV-TWA (ppm) : 0.1
- พรบ.วัตถุอันตราย พ.ศ.2535 : ชนิดที่ 3

-สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังทำให้เกิดภาวะภูมิไวต่อการสัมผัสทางผิวหนัง

-กินหรือกลืนเข้าไป : การกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองเป็นอันตรายต่อร่างกาย ทำให้เวียนศีรษะ

-สัมผัสผิวหนัง : การสัมผัสผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา

-การก่อมะเร็งและความผิดปกติอื่นๆ : อวัยวะเป้าหมาย ตับ ไต ระบบประสาท ส่วนกลาง

2.4 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

2.4.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ NIR (Near-infrared) Spectroscopy

2.4.1.1 หลักการพื้นฐานของ NIR [22]

รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1800 โดย Sir William Herschel ซึ่งเป็นนักดาราศาสตร์ ท่านได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของความร้อน (heating effect) ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ของแถบสเปกตรัม ที่เกิดจากการแยกแสงด้วยแท่งปริซึม และพบว่าผลกระทบของความร้อนที่เกิดขึ้นสูงสุดในแถบแสงอยู่ถัดจากแถบสีแดง (red end) แต่ไม่สามารถมองเห็นสเปกตรัมได้ จึงเรียกรังสีที่เขาค้นพบว่ารังสีอินฟราเรดประกอบไปด้วยช่วงความยาวคลื่นสำคัญสามช่วง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกัน หนึ่งในนั้นคือ ช่วงรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared spectroscopy, NIR) นั่นเอง

สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ หรือ NIR spectroscopy เป็นการศึกษาอันตรกิริยา ระหว่างอินฟราเรดย่านใกล้ กับ สสารที่มีโมเลกุลประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจน (X-H) อะตอม X ได้แก่ C, O, N, S ฯลฯ อันตรกิริยาดังกล่าว คือการที่โมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เข้าไป ซึ่งจะมีผลต่อการสั่นของพันธะต่าง ๆ ในโมเลกุล ระดับการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ของสสารที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ จะปรากฏในสเปกตรัม NIR ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ

โดยเฉพะอย่างยิ่งองค์ประกอบทางเคมี โดยไม่ทำลายตัวอย่าง (Non destructive testing) เช่นด้านการค้า ไม่ว่าจะเป็นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม อธิบายว่าโมเลกุลของสารประกอบขึ้นด้วยอะตอมที่เชื่อมต่อกันด้วยการสร้างพันธะเคมี (Chemical bonding) พันธะในโมเลกุลจะเกิดการสั่น (Vibration) อยู่ตลอดเวลา เรียกการสั่นชนิดนี้ว่า การสั่นในสถานะพื้น (Vibrational ground state) ด้วยความถี่ซึ่งมีค่าเฉพาะ (Quantized frequency) ถ้าโมเลกุลเกิดอันตรกิริยากับรังสี NIR จะดูดกลืนรังสีที่มีความถี่ตรงกับความถี่ค่าเฉพาะ จนทำให้เกิดการสั่นในสถานะกระตุ้น (Vibrational state) ระดับโอเวอร์โทน โมเลกุลไม่สามารถอยู่ในสถานะกระตุ้นได้ จึงต้องคายพลังงานออกมาในรูปความร้อนเพื่อให้อัตอมกลับคืนสู่การสั่นในสถานะพื้นตามเดิม เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า แทรนซิชัน (Transition)

2.4.3 หลักการพื้นฐานของเครื่อง Near Infrared Spectrometer [25]

หลักการของสเปกโทรสโคป คือเมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ จะมีแสงบางส่วนที่ถูกดูดกลืน (Absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (Transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (Reflected) บางส่วนเกิดการร่วแสงหรือการเรืองแสง (Fluorescence or Phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง (Scattered) ดังแสดงในภาพที่ 2.5 [26]

สเปกโทรสโคปมีกฎของการดูดกลืนแสงที่สำคัญที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กฎ คือ กฎของแลมเบิร์ต และกฎของเบียร์ (Beer's law)

1. กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) กล่าวว่า “เมื่อแสงสีเดียว (Monochromatic Light) คือแสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว (Homogeneous) เป็นสัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้ โดยไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงเริ่มต้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน” [27]

2. กฎของเบียร์ (Beer's Law) กล่าวว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้ จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

ในทางปฏิบัติ ปริมาณความเข้มชั้นของแสงที่ถูกดูดกลืน จะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงส่องผ่าน จึงต้องรวมกฎทั้งสองเข้าด้วยกัน เรียกว่ากฎของเบียร์-แลมเบิร์ต เขียนในรูปสมการได้ ดังนี้

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc \quad (2.1)$$

เนื่องจาก T (Transmittance) เท่ากับ

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.2)$$

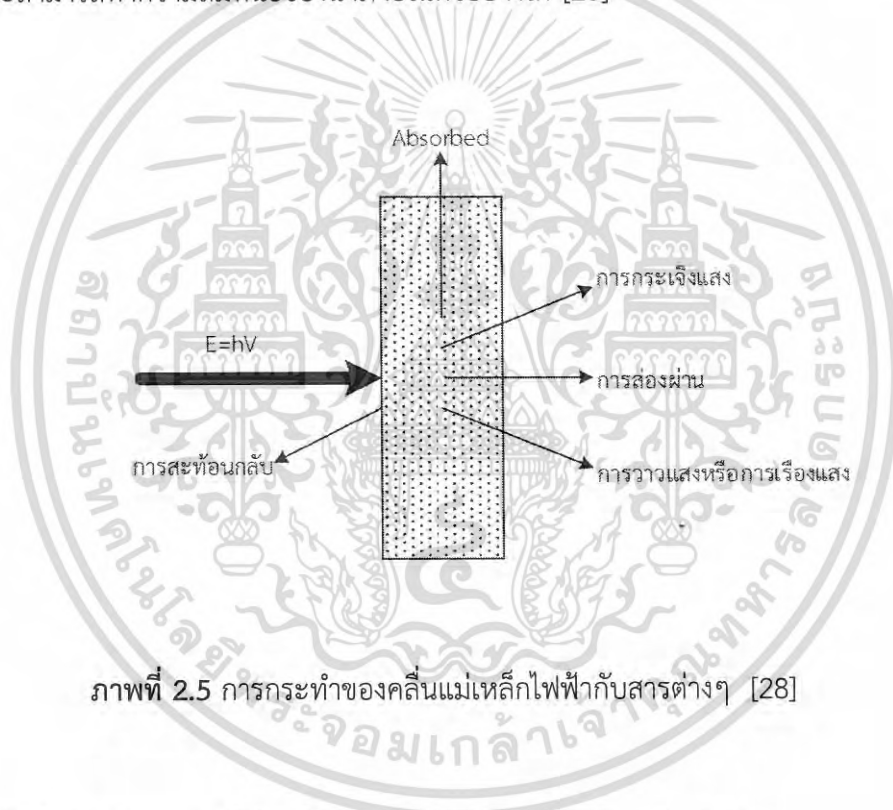
เพราะฉะนั้น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \log \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- I = ความเข้มของแสงความยาวคลื่นเดียวที่ส่งผ่านออกมา
 ϵ = สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง ปกติเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น และอุณหภูมิ
 I_0 = ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลางเมื่อ $b=0$
 b = ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร
 c = ความเข้มข้นของสารในหน่วย โมล/ลิตร
 A = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

โมเลกุลของสารแต่ละชนิด มีความสัมพันธ์กับช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน เนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุลต่างกัน นอกจากนี้ในแต่ละโมเลกุลจะสัมพันธ์ กับความยาวคลื่นมากกว่า 1 ช่วง เช่น โมเลกุลของน้ำ (H_2O) ที่มีมากในผลิตภัณฑ์อาหาร มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น 4 ช่วง คือ 760 970 1,450 และ 1,940 nm ดังนั้นถ้าทำการทดสอบที่ช่วงความยาวคลื่นดังกล่าว จะสามารถหาความสัมพันธ์ของน้ำภายในตัวอย่างได้ [28]



ภาพที่ 2.5 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ [28]

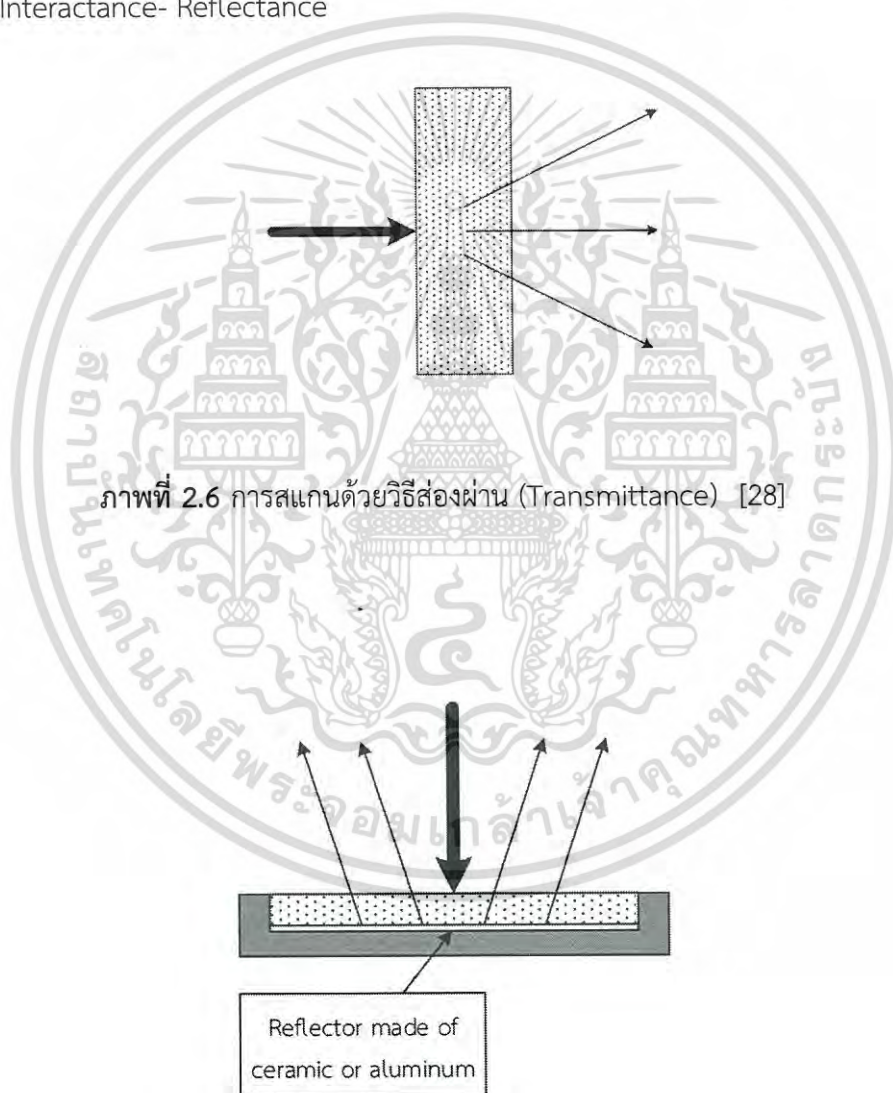
2.4.4 ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานของ NIR Spectrometer [17]

เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ซึ่งมีแหล่งแสงที่ให้ช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด ปกติเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten halogen) ตัวตรวจวัด (Detector) ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำจากสารต่างๆ ไม่เหมือนกันขึ้นกับช่วงคลื่นที่ต้องการตรวจวัด เช่น ช่วงคลื่น 350-1,100 nm ใช้ Si (Silicon) ช่วง 1,100-2,500 nm ใช้ PbS (Lead sulphide) หรือ InGaAs (Indium Gallium Arsenide) ช่วงแสงที่มองเห็นได้และช่วงเนียร์อินฟราเรด (400-2,600 nm) ใช้ PbS ควบคู่ (Sandwiched) กับ Silicon Photodiodes วิธีการจัดวางตัวอย่างเพื่อการสแกนด้วยสเปกโตรมิเตอร์ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

- วิธีส่องผ่าน (Transmittance) ส่องผ่านคลื่นไปในตัวอย่างก่อนที่จะรับแสงที่ผ่านออกมาไปวิเคราะห์ วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กับของเหลว ดังภาพที่ 2.6

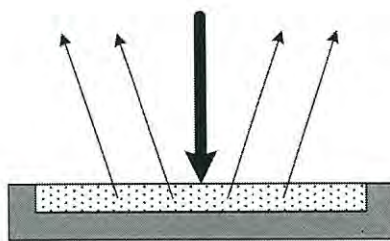
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธีส่องผ่านสะท้อน (Transflectance) เป็นการส่งคลื่นผ่านตัวอย่าง ซึ่งโดยปกติเป็นของเหลวที่อยู่ในภาชนะที่ทำด้วยอะลูมิเนียมที่มีความลึกลึกน้อยๆ เมื่อคลื่นกระทบพื้นอะลูมิเนียมจะสะท้อนผ่านตัวอย่างขึ้นมาเข้าสู่ตัวตรวจ ดังภาพที่ 2.7
- วิธีสะท้อน (Reflectance) ดังภาพที่ 2.8 เป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดวางตัวอย่าง เมื่อแสงส่องไปยังวัตถุแล้ว แพร่ลงไปในเนื้อวัตถุบางส่วนแล้วสะท้อนกลับขึ้นมาสู่ตัวตรวจวัด บางทีเรียกว่า การสะท้อนแบบแพร่ (Diffused reflectance)
- Interactance ดังภาพที่ 2.9 เนื่องจากในปัจจุบันมีความสะดวกในการใช้สาย Fiber Optic (ไฟเบอร์ ออปติก) การวัดสะท้อนจากวัตถุจึงเป็นแบบ Interactance ซึ่งมีสาย Fiber Optic เป็น ตัวนำคลื่นที่สะท้อนจากวัตถุกลับไปยังตัวตรวจวัดซึ่งอยู่ใกล้กัน เรียกว่า Interactance- Reflectance



ภาพที่ 2.7 การสแกนด้วยวิธีส่องผ่านสะท้อน (Transflectance) [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 การสแกนด้วยวิธีสะท้อน (Reflectance) [28]



ภาพที่ 2.9 การสแกนด้วยวิธี Interactance [28]

สเปกตรัมของวัสดุเกษตรและอาหารส่วนใหญ่ มีพีคของน้ำเป็นพีคใหญ่และกว้างที่บริเวณ 760 970 1,450 และ 1,940 nm ลักษณะของสเปกตรัมเช่นนี้ จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้หลักทางเคโมเมตริก (Chemometric) มาใช้โดยต้องทำสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบทางเคมีหรือสมบัติทางกายภาพ หรือสมบัติอื่นที่ต้องการวิเคราะห์ (เช่น ไขมันในปลา ความหวานของผลไม้ สมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร ปริมาณเนื้อเยื่อของน้ำยาง เป็นต้น) กับข้อมูลของสเปกตรัม ซึ่งเรียกว่าข้อมูลเชิงแสง (Optical Data) เพื่อประมาณค่าองค์ประกอบหรือสมบัติที่ต้องการ

ส่วนประกอบของเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี มีลักษณะการจัดการที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ในการออกแบบ และความต้องการใช้งาน

โดยทั่วไปวิธีการจัดวางตัวอย่าง เพื่อสแกนด้วยสเปกโตรมิเตอร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการสะท้อน (Reflectance) เป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดวางตัวอย่าง เมื่อแสงส่องไปยังวัตถุแล้วแพร่ลงไปใ้ในเนื้อวัตถุบางส่วน แล้วสะท้อนกลับขึ้นมาสู่ตัวตรวจวัด บางที่เรียกว่า การสะท้อนแบบแพร่ (Diffused reflectance) ในปัจจุบันเนื่องจากมีความสะดวกในการใช้สายไฟเบอร์ออปติก การวัดสะท้อนจากวัตถุจึงเป็นแบบ Interactance ซึ่งมีสายไฟเบอร์ออปติกที่เป็นตัวนำคลื่นที่สะท้อนจาก

วัตถุกลับไปยังตัวตรวจวัด ซึ่งอยู่ใกล้กันเรียกว่า Interactance-reflectance [29] ในงานวิจัยนี้ จะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาสเปกโตรมิเตอร์สามเครื่องได้แก่ พูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี, ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์

- พูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (MPA, Bruker, Germany) [29]

ใช้ Michelson Interferometer โดยมี Movable mirror เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนเข้าออก เพื่อให้แสงแทรกสอดกันแล้วตกลงมาที่ Detector จะให้ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน

ข้อดี

- 1) ไม่มีช่องให้แสงลอด แสงสามารถส่องผ่านได้เต็มที่
- 2) ความยาวคลื่นที่ได้มีความแม่นยำสูง
- 3) มีแสงเลเซอร์เป็นตัวที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่า
- 4) สแกนได้อย่างรวดเร็ว
- 5) แสงจะออกในแนวเส้นตรงเดิม (ไม่มีผลของการสั่นสะเทือน)

- ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Avantes, the Netherlands) [30]

ข้อดี

- 1) ไม่มีผลกระทบจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนทำงานที่เคลื่อนที่ เหมาะกับการใช้งานแบบออนไลน์ที่มีการสั่นสะเทือนสูง
- 2) การวัดสเปกตรัมครอบคลุมทุกความยาวคลื่นทำได้ทันที ทำให้สามารถใช้งานการวัดตัวอย่างที่เคลื่อนที่ได้ดี

- ลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ (Micro nir, JDSU, USA) [29]

ใช้การออกแบบขั้นสูงในการเคลือบฟิล์มบางและเทคโนโลยีการผลิตลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ จึงเป็นสเปกโตรมิเตอร์แบบพิเศษกะทัดรัด น้ำหนักเบา ใช้ต้นทุนต่ำ LVF คือการเคลือบตัวกรองของ Bandpass ที่แยกคลื่นในทิศทางหนึ่งเนื่องจากความยาวคลื่นศูนย์กลางของ bandpass เปลี่ยนแปลงตามความหนาของการเคลือบ ความยาวคลื่นส่งผ่านตัวกรอง (Filter) เซ็นเซอร์ของ JDSU ใช้ LVF คู่กับอาร์เรย์ของเครื่องตรวจจับเชิงเส้นเพื่อให้ข้อมูลสเปกตรัมสำหรับการใช้งานที่หลากหลายในเชิงพาณิชย์ อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์

คุณสมบัติที่สำคัญ

- 1) ขนาดกะทัดรัด เส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มม. สูง 42 มม.
- 2) น้ำหนักเบา น้อยกว่า 60 กรัม
- 3) เป็นการออกแบบที่แข็งแกร่ง ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว
- 4) แหล่งกำเนิดแสงและตัวเก็บเชิงแสงแบบบูรณาการ
- 5) ช่วงความยาวคลื่น 1,150-2,150 นาโนเมตร ช่วงที่สามารถกำหนดเองได้
- 6) สะท้อนแบบแพร่หรือการส่องผ่าน
- 7) สามารถปรับแต่งได้ง่าย
- 8) ขับเคลื่อนระบบ USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิดแสงที่ใช้กันทั่วไปนั้น เป็นของแข็งที่เฉื่อย ที่สามารถเผาให้ร้อนด้วยไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้แสงที่มีความเข้มสูงที่สุดที่ความถี่ตามต้องการ ปัจจุบัน แหล่งกำเนิดแสง NIR ที่ใช้กันอยู่ คือ Quartz Tungsten-Halogen monofilament lamp

2.4.5 วิธีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น [27]

วิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่สำคัญ มีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองของสเปกตรัมในทางที่อัลกอริธึม PLS สามารถให้ความสัมพันธ์ที่ตรงระหว่างสเปกตรัม กับ ข้อมูลความเข้มข้น

2.4.5.1 Constant Offset Elimination

การลบโดยค่าคงที่ (Subtraction of a Constant Offset) : สเปกตรัมจะถูกปรับแบบเชิงเส้น เพื่อให้ค่า Y ที่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์

การใช้งาน : เป็นการกำจัดปัญหาการขยับขึ้นของเบสไลน์ (Baseline Shift) เชิงเส้น สิ่งเหล่านี้เกิดจาก จากค่าที่แตกต่างกันของการขยายสัญญาณของดีเทคเตอร์ (Detector Amplification)

2.4.5.2 Straight Line Subtraction

การลบโดยเส้นตรง (Subtraction of a Straight Line) ในแต่ละช่วงความถี่ที่เลือกไว้ เส้นตรง เส้นหนึ่งจะถูกฟิตเส้นสเปกตรัมโดยใช้วิธี Partial Least Squares (PLS) เส้นตรงเส้นนี้จะถูกลบ ออกจากสเปกตรัมดังกล่าว

การใช้งาน : กำจัดปัญหาความเอียงเชิงเส้นของการขยับขึ้นของเบสไลน์

2.4.5.3 Vector Normalization (SNV)

ขั้นแรกสเปกตรัมจะถูกหาค่ากลาง จากนั้นผลรวมของค่ายกกำลังสองของค่า Y ทั้งหมดจะถูกคำนวณ และสเปกตรัมใดๆ จะถูกหารด้วยค่ารากที่สองของผลรวมนี้ สิ่งนี้เรียกว่า Vector norm ของสเปกตรัมที่ได้จะเท่ากับ 1 เสมอ ในหลักการสเปกตรัมจะประกอบด้วยสองส่วนของข้อมูล คือ ความสูงของแถบการดูดซับและโครงสร้าง หลังจากการนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ข้อมูลความสูงจะหายไป มีเพียงโครงสร้างข้อมูลยังคงอยู่ การนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ถูกใช้เพื่อ เช่น การกำจัดผลกระทบของเส้นทางผ่านเชิงแสง (Optical Path Length) ที่แตกต่างกัน ในกรณีของการวัด แบบส่องผ่าน ความยาวของเส้นทางผ่านเชิงแสงทำให้ความสูงของสัญญาณเปลี่ยนแปลง แต่โครงสร้าง ยังเหมือนเดิม ในทำนองเดียวกันการวัดแบบสะท้อนแบบแพร่จะมีผลกระทบของการรบกวนเนื่องจาก ความหนาแน่นของวัสดุแตกต่างกันหรือขนาดอนุภาคแตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้ก็จะลดลง

2.4.5.4 Max-Min Normalization

สเปกตรัมจะถูกขยับเชิงเส้นเพื่อให้ค่า Y ที่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วสเปกตรัมจะถูกขยาย เพื่อให้ค่า Y สูงสุดเท่ากับสองหน่วยของการดูดซับคลื่น

2.4.5.5 Multiplicative Scattering Correction (MSC)

ขั้นตอนแรกสเปกตรัมเฉลี่ยคำนวณจากทุกๆ สเปกตรัมของชุดข้อมูลคาลิเบรชัน แล้วแต่ละสเปกตรัม $X(i)$ จะถูกแปรเปลี่ยนไปตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(i)' = u + v \cdot (i) \quad (2.4)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ u และ v จะถูกเลือก เพื่อให้มีความแตกต่างระหว่างสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงแล้ว $X(i)$ กับสเปกตรัมเดี่ยวน้อยที่สุด วิธีการนี้มักจะใช้สำหรับการวัดแบบการสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse Reflection)

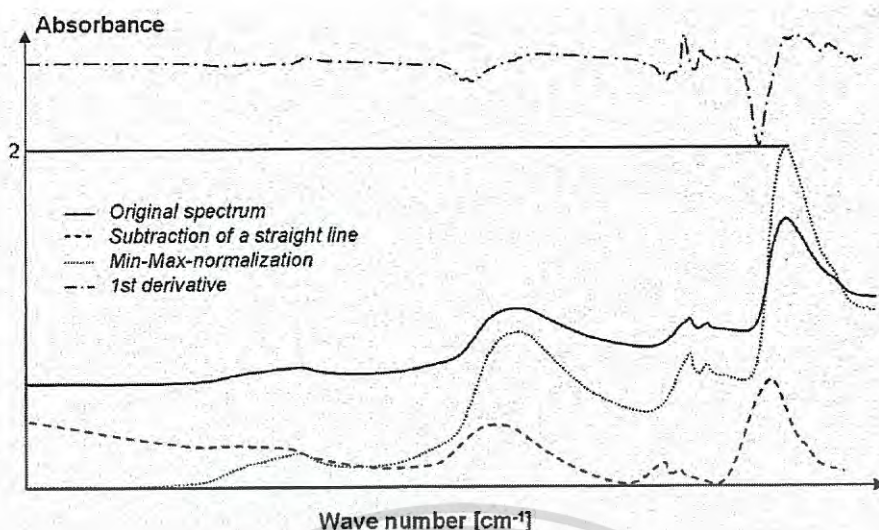
2.4.5.6 First Derivative (อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง)

คำนวณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของสเปกตรัม สัญญาณที่มีความชันจะถูกเน้นมากกว่าสัญญาณที่ค่อนข้างแบนราบ วิธีนี้จะถูกใช้เน้นลักษณะที่ชัดเจน แต่มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับโครงสร้างที่มีแถบการดูดซับคลื่นที่กว้าง การประยุกต์ใช้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ การประเมินแถบการดูดซับคลื่นที่กว้างนี้มักจะทำในเทคโนโลยี NIR โดยการคำนวณอนุพันธ์ โครงสร้างเหล่านี้จะมีรูปร่างที่สูงชันขึ้น ซึ่งสามารถได้รับการประเมินได้ง่ายขึ้น เมื่อใช้อนุพันธ์เป็นการจัดการข้อมูลเบื้องต้น จะต้องคำนึงถึงว่าสัญญาณรบกวนจะถูกจัดการเช่นกัน สิ่งนี้จะซ้อนทับบนสเปกตรัมเป็นสิ่งรบกวนเพิ่มเติม และสามารถทำให้สัญญาณของตัวอย่างแย่ง

เมื่อเทียบกับอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง แม้โครงสร้างที่ราบเรียบมากๆ สามารถประเมินได้ ผลการรบกวนของสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยทั่วไปมีมากจนทำให้สเปกตรัมถูกวิเคราะห์ในช่วงสเปกตรัมที่จำกัดมากๆ ภาพที่ 2.10 แสดงให้เห็นอิทธิพลของวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นแบบต่างๆ ต่อลักษณะของ NIR สเปกตรัม (การวัดมือคนด้วยหัววัด Fiber Optic) สเปกตรัมเดิมแสดงให้เห็นการขจัด (Offset) เล็กน้อยของเบสไลน์ เช่นเดียวกับการขยับขึ้น (Shift) การขยับขึ้นนี้สามารถถูกกำจัดโดยการลบออกจากเส้นตรง (Subtraction of a Straight Line) (เส้นประ) และการขจัดถูกกำจัดโดยการ Min-Max Normalization (เส้นจุด) อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของเส้นสเปกตรัมเดิม (เส้นประจุด) ถูกขยายเพื่อแสดงให้เห็นได้ง่ายและขยับขึ้นสู่ตำแหน่งที่ค่าการดูดซับคลื่นสูง สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างที่แหลมขึ้นมาได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมเดิม

2.4.5.7 Second Derivative (อนุพันธ์อันดับที่สอง)

วิธีที่เหมาะสมที่สุดขึ้นอยู่กับระบบที่จะวิเคราะห์ จากประสบการณ์แสดงให้เห็นว่าในหลายกรณีการลบด้วยเส้นตรง การนอมนัลไลเซชันสเปกตรัม หรือการทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งได้ผลที่ดีที่สุดในการคาลิเบรชัน ในบางกรณีการใช้วิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น 2 วิธีรวมกันก็ได้ผลดีที่สุดเช่นกัน บ่อยครั้งที่แบบจำลองแบบต่างๆ ให้ผลได้ดีเท่าเทียมกันซึ่งโดยทั่วไปควรทดสอบดูหลายๆ วิธีเปรียบเทียบกัน



ภาพที่ 2.10 NIR สเปกตรัมของมือคน : วัดแบบการสะท้อนแบบแพร่ [27]

2.4.6 การสร้างแบบจำลองและการพิสูจน์แบบจำลอง [31]

การวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIR ประกอบด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนหลักเป็นอย่างน้อย คือ

1. ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย (Calibration)
2. ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา (Validation) ในการทำ Calibration ก็เพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทราบ ต่อจากนั้นต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จากการทำ Calibration มาตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการมาตรฐานในการทำนายคุณภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่า การทำ Validation หรือ Verification เพื่อทดสอบสมการที่ดูว่ามีความเหมาะสม หรือแม่นยำเพียงใด เมื่อได้ผลทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงจะนำสมการที่ได้ไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาจากสเปกตรัม NIR ที่ทำการวัดมาได้

2.4.6.1 ขั้นตอนการทำ Calibration

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลมาแล้วแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ คือ

1. กำหนดตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรตาม (Dependent Variables) ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ที่นำมาใช้ในการสร้างสมการ คือค่าที่อ่านได้จากสเปกตรัม NIR เช่น ค่า $\log(1/R)$ เป็นต้นตัวแปรตาม (Dependent Variables) หมายถึงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Reference Laboratory Methods เช่นความชื้นในแป้ง ด้วยวิธี Oven Drying Method

2. การสร้างสมการ Calibration ในการสร้างสมการนั้นสิ่งสำคัญคือ การหาตัวแปร อิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์คุณภาพ การคัดเลือกหาตัวแปรอิสระสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลัก คือ

- ก. Wavelength Selection เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์เทคนิคในการเลือกก็มีหลายแบบเช่น เลือกจากความรู้ความชำนาญ หรือเอกสารอ้างอิงที่บ่งบอกถึงช่วงความยาวคลื่น ที่คาดว่าจะสัมพันธ์กับค่าที่จะทำการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเลือกโดยอาจจะใช้เทคนิคทางสถิติ ในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์ เช่น Multiple regression หรือการสร้าง Correllelogram โดยการสร้าง Correllelogram เป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X คือความยาวคลื่น กับแกน Y คือค่าความสัมพันธ์อย่างง่ายของความสัมพันธ์ระหว่าง Optical Data ณ ความยาวคลื่นนั้นกับค่าวิเคราะห์ที่หามาได้ด้วยวิธี Reference Measurement ซึ่งจะช่วยให้กวีวิจัยสามารถคัดเลือกความยาวคลื่นที่มีความเป็นไปได้ที่จะสัมพันธ์กับค่าวิเคราะห์ ซึ่งการสร้างสมการ Calibration แบบอาศัยหลักวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ และวิธีการทางสถิติมาช่วยในการสร้างสมการ ได้แก่ Simple Linear Regression, Multiple Linear Regression

การสร้างสมการ Calibration โดยใช้ Simple linear regression หรือ Single Term Linear Regression ในเทคนิค NIR เป็นการเลือกใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่สัมพันธ์กับค่าที่ต้องการวิเคราะห์เพียงความยาวคลื่นเดียว ซึ่งทำให้ค่า Correlation ที่ได้มีค่าต่ำจึงไม่นิยมนำมาใช้ในการสร้างสมการ Calibration

Multiple Linear Regressions (MLR) เป็นวิธีการใช้ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่า 1 ตัว ในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) ซึ่งเป็นค่าตัวแปรที่ได้จากวิธีอ้างอิง 1 ตัว จะทำให้สมการที่ได้อาจเกิดความผิดพลาดในการประมาณค่าลงได้ หากพิจารณาในเรื่องการใช้เทคนิค NIRS ในการหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างก็หมายถึงการพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงที่หลายความยาวคลื่นนั่นเอง สมการ Regression คือสมการ Regression และ Model Regression

$$\text{Regression} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (2.5)$$

$$\text{Model regression } y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k + e \quad (2.6)$$

$b_0, b_1, \dots, b_k =$ partial regression coefficient

ข. Full Spectral Analysis เป็นวิธีการคัดเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสม (Selective Wavelength) จากความยาวคลื่นทั้งหมดที่มีในสเปกตรัมมาสร้างสมการ Calibration ดังวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว บางครั้งอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ถ้ามีการสร้างสมการที่ไม่ถูกต้อง อาจเกิดปัญหาทำให้ค่าที่ทำนายต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่แท้จริง (Under Estimation/ Over Estimation) อันเนื่องมาจากการเกิดความคลาดเคลื่อนจากการสร้างสมการ (Interference) หรือเกิดปัญหาเมื่อมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการสร้างสมการทำนายมีน้อย จึงทำให้ได้สมการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไปในสมการ ทำให้ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ (Over Fitting)

การใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มีในทุกความยาวคลื่นของสเปกตรัม (Full spectrum) น่าจะเป็นหนทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งปัญหาที่พบอยู่ คือการที่มีตัวแปรอิสระมากเกินไป

การใช้วิธีทางสถิติในการจัดกลุ่มแยกประเภทตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกัน และทำการสร้างตัวแปรใหม่ที่เกิดมาจากตัวแปรเดิมจะช่วยทำให้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่

Principal Components Regression (PCR) การทำ PCR จะเริ่มจากการทำ Principal Components Analysis (PCA) กับข้อมูลที่เป็นตัวแปรอิสระที่ได้มาจากข้อมูลของเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งมอบเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นไปไซ่ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมเพื่อสร้างองค์ประกอบหรือตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า New Factors ก่อน แล้วจึงนำค่าตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่ได้จากวิธีอ้างอิงเพื่อสร้างสมการ Calibration โดยใช้หลักการของ MLR

Principal Components Analysis (PCA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดจำนวนของตัวแปรอิสระในกรณีที่มีตัวแปรอิสระมีจำนวนมาก ยกตัวอย่างเช่น วัดค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่ 700 ความยาวคลื่น จำนวนสเปกตรัมดังกล่าว คือจำนวนของสเปกตรัมอิสระนั่นเอง การลดลงของจำนวนตัวแปรมีวิธีการคือ แบ่งกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่าปัจจัย (Factor) หรือ องค์ประกอบปัจจัยที่สร้างขึ้น อีกนัยหนึ่งก็คือผลรวมของค่าสเปกตรัมทุกความยาวคลื่นที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน Factor จะมีได้หลายปัจจัยโดยแต่ละปัจจัยมีน้ำหนักแตกต่างกัน แต่ค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งประกอบกันเป็นปัจจัยนั้นๆ ปัจจัยแรกจะถูกสร้างขึ้นมาให้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าสเปกตรัมได้มากที่สุด ปัจจัยที่สองอธิบายความแปรปรวนที่เหลือ ซึ่งทำให้ปัจจัยแต่ละปัจจัยแทบจะไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน (Non-Collinearity) ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ เมื่อทำการหาปัจจัยเรียบร้อยแล้ว นำปัจจัยที่ได้มาทำ Regression กับค่าทางเคมีโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ทำให้ได้ค่า Chemical Loading หรือ Calibration Coefficient

Partial Least Square (PLS) Regression เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปร เช่นเดียวกับวิธี PCR กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมจะเป็นอิสระจากกระบวนการทำสมการถดถอยของสมการทำนาย ซึ่งใน PLS ทั้งสองกระบวนการจะถูกเชื่อมโยงเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีการนำค่าองค์ประกอบทางเคมีมาคิดในกระบวนการหาปัจจัยด้วย ซึ่ง Kasemsamran, 2005 [32] ได้ อธิบายถึง PLS ว่าเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวแปรหลายตัวแปร โดยการสร้างปัจจัยแบบสมการเชิงเส้นตรงจากข้อมูลของสเปกตรัมเริ่มต้น และนำปัจจัยที่ได้ไปใช้ในการสร้างสมการถดถอยโดยปัจจัยที่ได้จากการสร้างสมการด้วยวิธีสถิติ PLS ต้องสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล และเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมีในเวลาเดียวกัน โดยวัตถุประสงค์ของ PLS คือต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัม ให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับการทำนายค่าทางเคมีที่สนใจเท่านั้น เพื่อให้สามารถประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น

2.4.6.2 ขั้นตอนการทำ Validation

หลังจากที่ได้สร้างสมการแล้ว ต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของสมการนั้น ก่อนนำไปใช้งานจริง ซึ่งการทดสอบสมการที่นิยมมี 2 วิธี คือ

1) Full Cross Validation

เป็นการทดสอบสมการภายใน ความหมายคือ ตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการ เป็นตัวอย่างชุดมาตรฐานทั้งหมด ที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมีนั่นเอง มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
2. ใช้ตัวอย่างมาตรฐานที่เหลือทำการสร้างสมการ
3. นำสมการที่ได้ประเมินค่าทางเคมีของตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ที่ตัดออก
4. ใส่ตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 กลับคืนเข้าไป
5. ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
6. ทำขั้นตอนซ้ำข้างต้น จนครบทุกตัวอย่าง

จากนั้นทำการหาค่า Root Mean Square Error of Cross Validation (RMSECV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Test set validation

วิธีนี้จะทดสอบสมการแบบภายนอก โดยการเตรียมตัวอย่างชุดใหม่มาทำการวิเคราะห์ในสภาวะการทดลอง เช่นเดียวกับชุดตัวอย่างมาตรฐาน เรียกชุดตัวอย่างที่นำมาทดลองสมการนี้ว่า ชุดทดสอบ (Test Set) ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่าหนึ่งตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม (Y) สิ่งที่ต้องระวังคือ ปริมาณค่าทางเคมีที่ใช้ทดสอบต้องอยู่ในช่วงมาตรฐาน หลังจากได้สเปกตรัมจากชุดทดสอบก็นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณค่าทางเคมีจากสมการ จากนั้นดูผลการคำนวณที่ได้จากค่าทางสถิติ ซึ่งค่าทางสถิติที่ควรพิจารณาคือ ค่า Bias ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธี NIR กับค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง และค่า Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP) หรือค่า Standard Error of Prediction (SEP)

2.4.6.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบอกสมรรถนะของแบบจำลอง [33]

การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อทำนายสมบัติที่ต้องการวัด ทำได้โดยวิธีทางสถิติ โดยคำนวณค่าที่จำเป็นในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของแบบจำลองที่สำคัญได้แก่

1) ค่าเฉลี่ย (Mean) [34]

ค่าเฉลี่ยเป็นค่าทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลที่ใช้อ้างอิง (X) หรือข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่องวัดสเปกตรัม (Y) ค่าเฉลี่ยนั้นจะถูกคำนวณจากผลรวมของค่า X หรือ Y และถูกหารโดยจำนวนของข้อมูล (N)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (2.7)$$

X = ค่าเฉลี่ย

X = ข้อมูลอ้างอิง

N = จำนวนของข้อมูล

2) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) [34]

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงถึงการเปลี่ยนแปลง หรือความแปรปรวนในข้อมูล นั่นคือ รากที่สองของความแปรปรวน

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}} \quad (2.8)$$

3) สัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of Determination, R²) [34]

แสดงสัดส่วนของความแปรปรวนในข้อมูล X ที่สามารถอธิบายโดยความแปรปรวนในข้อมูล Y ค่าของ R² จะเป็นบวกเสมอ เช่น ถ้า R=0.97 แล้ว R²=0.941 หมายความว่า 94.1% ของความแปรปรวนในข้อมูล X และ 5.9% ของความแปรปรวนในข้อมูล X เกิดจากตัวแปรอื่น เช่นการเตรียมตัวอย่าง วิธีการทดลองอ้างอิง และอื่นๆ ค่า R² เป็นบวกเสมอโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของ R ในทางปฏิบัติ R² ให้ข้อมูลมากกว่า R และใช้กันมากกว่า R และใช้กันมากกว่า R การแปลความหมายของค่า R และ R² แสดงดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R^2 = \left[1 - \frac{\Sigma(Y^{\text{meas}} - Y^{\text{pred}})^2}{\Sigma(Y^{\text{meas}} - \bar{Y})^2} \right] \quad (2.9)$$

Y_{meas} = ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี

Y_{pred} = ค่าที่ได้จากการทำนายด้วย NIRS

ตารางที่ 2.2 การแปลความหมายค่า R และ R^2 [34]

R	R^2	ความหมาย
0±0.5	<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) อย่างหยาบ
±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

4) ค่าเฉลี่ยกำลังสองของการทำนาย (Root Mean Square of the Prediction, RMSEP) [34]

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

$$\text{RMSEP} = \sqrt{\frac{\Sigma(Y^{\text{meas}} - Y^{\text{pred}})^2}{N}} \quad (2.10)$$

5) ความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (Standard Error of Prediction, SEP หรือ SEV) [34]

SEP ย่อมาจาก Standard Error of Prediction หรือ Standard Error of Performance แสดงสมรรถนะของการทำนาย บางครั้งใช้ทอม SEV (Standard Error of Validation) SEP เป็นค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิง ซึ่งไม่เหมือนกับ RMSEP (Root Mean Square of the Prediction) ซึ่งจะอธิบายต่อไปโดย SEP ไม่เกี่ยวข้องกับ Bias ค่า SEP คำนวณจากผลการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของชุดตัวอย่างที่ไม่ได้ถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ชุดตัวอย่างนี้เรียกว่า ชุดทำนาย (Prediction Set)

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{N-1}} \quad (2.11)$$

\bar{E} = ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของค่าทางเคมีกับค่าทำนายด้วย NIRS

E = ข้อมูลอ้างอิง

$$E = Y^{\text{meas}} - Y^{\text{pred}} \quad (2.12)$$

$$\bar{E} = \frac{Y^{\text{meas}} - Y^{\text{pred}}}{N} \quad (2.13)$$

6) อัตราส่วนระหว่าง SEP กับ SD (Ratio of SEP to the SD, RPD) [34]

RPD ย่อมาจาก Ratio of (Standard Error of) Prediction (Validation) to (Standard) Deviation แต่เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) กับอัตราส่วนของค่าความผิดพลาดมาตรฐานการทำนาย (SEP) ของข้อมูลของค่าอ้างอิงของชุดทำนาย ค่า SEP ควรต่ำกว่า SD มากๆ ซึ่งอัตราส่วนควรเท่ากับ 5 หรือมากกว่า บางกรณีตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมาก ค่า SD จึงไม่สูง ซึ่ง RPD อาจจะไม่สูง ดังนั้น RPD เท่ากับ 2.5-3.0 ก็อาจแสดงถึงการวิเคราะห์ที่แม่นยำ ถ้า SD มีค่าเพียง 0.4-0.5 การอธิบายค่า RPD ดังตารางที่ 2.3

$$RPD = \frac{SD}{SEP_{\text{bias}}} \quad (2.14)$$

7) ความผิดพลาด (Bias) [34]

เมื่อทำนายค่าตัวแปรที่ต้องการของข้อมูลในชุดตัวอย่างทดสอบแบบจำลอง (Validation set) ค่า Bias หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิง และค่าที่ทำนายโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และเป็นการวัดความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง (Calibration Model) ในโลกความเป็นจริงของทางการค้าและอุตสาหกรรม Bias เป็นหนึ่งสิ่งที่สำคัญมาก ในทางสถิติ Bias สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อค่าสถิติสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์และ SEP ที่แสดงว่าแบบจำลองนั้นดีเยี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 2.3 การอธิบายความหมายของค่า RPD [34]

RPD	ความหมาย	การประยุกต์ใช้
0.0-2.3	ไม่ดีเลย	ไม่แนะนำ
2.4-3.0	ไม่ดี	ใช้คัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) แบบหยาบๆ
3.1-4.9	พอใช้	ใช้คัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) ได้
5.0-6.4	ดี	ใช้ควบคุมคุณภาพได้
6.5-8.0	ดีมาก	ใช้ควบคุมกระบวนการได้
8.1+	ดีเยี่ยม	ได้ทุกการประยุกต์ใช้

2.5 ความสามารถในการทำซ้ำและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

ความแม่นยำของการทดสอบอ้างอิงของน้ำยางชั้น ถูกกำหนดโดยใช้การทำซ้ำ (repeatability) ซึ่งคำนวณจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ต่างกันระหว่างซ้ำในการทดสอบ จากเรานั้นเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (R^2) สูงสุด R^2_{\max} สามารถคำนวณตามสมการของ Dardenne [35] ได้ดังสมการที่ 2.16

$$R^2_{\max} = \frac{SD_y^2 - \text{Rep}^2}{SD_y^2} \quad (2.16)$$

SD_y เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอ้างอิง ของน้ำยางชั้นในชุดการสอบเทียบ

Rep เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอ้างอิง ของการทำซ้ำของการทดสอบค่าอ้างอิง

ตามรายงานของ Dardenne [35] R^2 สูงสุด เป็นไปได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดของสเปกตรัมหรือแบบจำลอง และค่า SD_y และ Rep ช่วงของค่าตัวอย่างแคบเกินไปหรือวิธีอ้างอิงไม่แม่นยำเพียงพอ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่ใช้วัดสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างที่รวดเร็วในระดับวินาทีที่มีความแม่นยำ และมีความสามารถในการทำซ้ำสูง วิธีนี้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและไม่ใช้สารเคมี

Tangborinboon et al. [36] ใช้เทคนิคนี้ในช่วงความยาวคลื่น 1,100-2,500 nm เพื่อวัดปริมาณของโปรตีนที่สกัดได้จากน้ำยางซึ่งปริมาณโปรตีนนี้ถึงแม้มีเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดอาการแพ้ต่อผู้ป่วย แบบจำลอง Partial least squares regression ที่สร้างขึ้นให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 0.72 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองเท่ากับ 1298 g/g และความผิดพลาดเฉลี่ย 0.0002 g/g และ Cornish, et al. [37] พัฒนาวิธีการใหม่ที่รวดเร็วโดยใช้คลื่นเนียร์อินฟราเรดสำหรับทำนายปริมาณเนื้อยางของยางพันธุ์ต่าง ๆ ในตัวอย่างแบบเปียกและแห้ง โดยความเข้มข้นของตัวอย่างอยู่ในช่วง 0 ถึง 25 mg/ml ผลการทดลองพบค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดจริงกับค่าทำนายเท่ากับ 0.96 และ 0.91 สำหรับตัวอย่างแบบแห้งและเปียก จากนั้น Sirisomboon et al. [38] ใช้คลื่นเนียร์อินฟราเรดโดยใช้รูปแบบการวัดแบบ การสะท้อนแบบแพร่ (Diffuse reflection) สำหรับทำนายค่าความหนืดของน้ำยางพาราสดและชั้นที่ช่วงความยาวคลื่น 1,100-2,500 nm โมเดลถูกสร้างด้วยวิธี Partial least squares regression (PLSR) ผลการทำนายพบว่าค่าสหสัมพันธ์ (r) ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทำนาย (SEP), และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.974, 8.6 cP, และ -0.4 cP ตามลำดับ ส่วนค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทำนาย ต่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (RPD) และอัตราส่วนของ SEP ต่อช่วงของข้อมูลชุดทำนาย (Ratio of the SEP to the range of prediction set (RER)) มีค่า 4.4 และ 16.7 ตามลำดับ ดังนั้นแบบจำลองนี้สามารถใช้ในการประกันคุณภาพในโรงงานได้ และปีถัดมา Sirisomboon et al. [39] ใช้เนียร์อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น (SW-NIR spectroscopy) (ความยาวคลื่นในช่วง 700-1100 nm) ในการทำนายค่าปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC, %) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC, %) ในน้ำยางพาราสดและชั้นโดยใช้การส่องผ่าน (transmission mode) โมเดลถูกสร้างโดย PLSR ผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (r^2), SEP และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการทำนาย DRC มีค่าเท่ากับ 0.992, 1.1092% และ 0.0321% ตามลำดับและ สำหรับ TSC เท่ากับ 0.991, 1.3611% และ 0.1456% ตามลำดับ ดังนั้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า SW-NIR spectroscopy สามารถทำนายค่า DRC และ TCS ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการซื้อขายและการประกันคุณภาพโรงงานได้อย่างแม่นยำ และในปีเดียวกันนี้ Sirisomboon et al. [40] การวิเคราะห์ DRC ของน้ำยางพาราสดและชั้นโดยใช้เนียร์อินฟราเรด โดยใช้ฟูเรียรทรานส์ฟอร์มสเปกโตรมิเตอร์โดยใช้รูปแบบการวัดแบบการสะท้อนแบบแพร่ ในช่วง $4,000-10,000 \text{ cm}^{-1}$ โดยแบบจำลองถูกสร้างจากวิธี PLSR ผลการทดลองพบว่า r^2 , SEP และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.997, 0.3398% และ -0.0239% ตามลำดับ RPD มีค่าเท่ากับ 18.18 และค่า RER เท่ากับ 74.4. ดังนั้นการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีนั้นมีความสามารถในการทำนายที่แม่นยำและรวดเร็วสำหรับการวัด DRC ของน้ำยาง ในปีเดียวกัน Inagaki et al. [41] ได้ศึกษาคุณภาพของน้ำยางพาราสดโดยใช้ Ultra violet-visible-near infrared (UV-VIS-NIR ช่วงคลื่น 370-1,085 nm) ตัวอย่างถูกวัดโดยการส่องผ่าน สำหรับทำนายค่า TSC และ DRC ของน้ำยางโดยใช้ PLSR ในการสร้างแบบจำลอง ได้ค่า r^2 โดยการพิสูจน์แบบไขว้สำหรับ TSC และ DRC เท่ากับ 0.96 และ 0.97 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 กรณีการวัดปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรต (Ammonium Laurate, AL)

ตัวอย่างน้ำยางชั้นไม่มีสบู่แอมโมเนียมลอเรต ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ กรุ๊ป จำกัด อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี เพื่อให้ได้ความแปรปรวนของน้ำยางที่หลากหลาย จึงนำน้ำยางชั้นที่ได้แต่ละสัปดาห์ มาปรับระดับสบู่แอมโมเนียมลอเรต 11 ระดับ คือ 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10%w/w ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 12 ครั้ง จำนวน 132 ตัวอย่าง

3.1.2 กรณีการวัดปริมาณเตตระเมทิลไทยูรัมไดซัลไฟด์ (Tetramethyl thiuram disulphide, TMTD)

ตัวอย่างน้ำยางชั้น ที่โรงงานผลิตน้ำยางชั้นของบริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ กรุ๊ป จำกัด อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี (น้ำยางจากจังหวัดชลบุรีและเชียงราย) และบริษัท ไทยฮั่วยางพารา จำกัด อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี (น้ำยางจากจังหวัดสุราษฎร์ธานีและนครศรีธรรมราช) จากนั้นเติมเตตระเมทิลไทยูรัมไดซัลไฟด์ 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06%w/w

3.1.2.1 วิธีวัด TMTD ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

ตัวอย่างน้ำยางชั้น เก็บทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 20 ครั้ง จำนวน 140 ตัวอย่าง

3.1.2.2 วิธีการวัด TMTD ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

ตัวอย่างน้ำยางชั้น เก็บทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 6 ครั้ง จำนวน 42 ตัวอย่าง

3.2 การสแกนด้วยคลื่น NIR

การสแกน โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Multi-Purpose Analyzer (MPA, Bruker, Germany) (12500-3600 cm^{-1}), ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (AvaSpec-2048-USB2, The Netherlands) (350-1,100 nm) และลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ (Micro NIR, JDSU, USA) (1,150-2,150 nm) ทั้งหมด ใช้วิธี diffuse reflectance โดยบรรจุน้ำยางในถ้วยควอทซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42 mm สูง 50 mm โดยสแกนผ่านควอทซ์ทางกันถ้วย

3.2.1 การสแกนด้วยดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

การสแกนตัวอย่างน้ำยางชั้นด้วย ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (AvaSpec-2048-USB2, The Netherlands) (ภาพที่ 3.1) สแกนที่ความยาวคลื่น 350-1,100 nm (จำนวนคลื่น 28,571-9,091 cm^{-1}) ใช้ Spectralon หน้า 1 cm เป็นวัสดุอ้างอิง 1 ตัวอย่าง สแกนจำนวน 1 ครั้ง ครั้งละ 5 ซ้ำ แล้วเฉลี่ย เป็น 1 สเปกตรัม intergration time เท่ากับ 1.20 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การสแกนด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

การสแกนตัวอย่างน้ำยางชั้นด้วย ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Multi-Purpose Analyzer (MPA, Bruker, Germany) ที่ช่วงเลขคลื่น $12,500 - 3,600 \text{ cm}^{-1}$ ($800-2,778 \text{ nm}$) จำนวน 32 ซ้ำเพื่อเฉลี่ยเป็น 1 สเปกตรัม สแกนทุกๆ 16 cm^{-1} ใช้แผ่นทองเป็นวัสดุอ้างอิง



ภาพที่ 3.1 การสแกนตัวอย่างน้ำยางชั้น ด้วยดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี



ภาพที่ 3.2 การสแกนตัวอย่างน้ำยางชั้น ด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

3.2.3 สแกนด้วยลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์

การสแกนตัวอย่างน้ำยางชั้นด้วย ลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ (LVF), JDSU ที่ช่วงเลขคลื่น $1,150-2,150 \text{ nm}$ ใช้ Spectralon หนา 1 cm เป็นวัสดุอ้างอิง 1 ตัวอย่าง สแกน 1000 ซ้ำเฉลี่ยเป็น 1 สเปกตรัม มี integration time เท่ากับ 3000 ms (ภาพที่ 3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 การสแกนตัวอย่างน้ำยางข้น ด้วยลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์

3.3 การวัดค่าอ้างอิง

3.3.1 กรณีสบู่แอมโมเนียมลอเรต (Ammonium Laurate, AL)

สำหรับการวัดค่าสบู่แอมโมเนียมลอเรต ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการวัดมาตรฐานใด ๆ ที่สามารถวัดปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตได้ งานวิจัยนี้จึงใช้ปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตที่เติมลงที่ระดับต่างๆ มาใช้เป็นค่าอ้างอิงปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรต

3.3.1.1 ขั้นตอนการเติมปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรต

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เครื่องชั่ง, หลอดหยดสาร, ขวดน้ำยางขนาด 100 กรัม, แท่งคนสาร และปิ๊กเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ สบู่แอมโมเนียมลอเรตที่ความเข้มข้น 15% และน้ำยางข้นที่ไม่มีสบู่แอมโมเนียมลอเรต

- 1) เทสบู่แอมโมเนียมลอเรตที่ความเข้มข้น 15% ใส่ลงในปิ๊กเกอร์พอประมาณ
- 2) ชั่งขวดน้ำยางแล้วเสตศุนย์ จากนั้นใช้หลอดหยด หยดสบู่แอมโมเนียมลอเรตจากข้อ 1 ที่น้ำหนักที่คำนวณได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนักสบู่แอมโมเนียมลอเรต} = \frac{100 \times \text{ระดับปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตระดับต่างๆ}}{15} \quad (3.1)$$

3) จากนั้นเติมน้ำยางข้นลงในขวดน้ำยาง จนได้น้ำหนักครบ 100 กรัม (รวมน้ำหนักสบู่แอมโมเนียมลอเรตด้วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) หลังจากนั้น ใช้แท่งคนสารคนน้ำอย่างช้าๆเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 3.4 การวัดค่าอ้างอิงของสบู่แอมโมเนียมลอเรต

3.3.2 กรณีเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ (Tetramethyl thiuram disulphide, TMTD)

3.3.2.1 วิธีการวัด TMTD ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

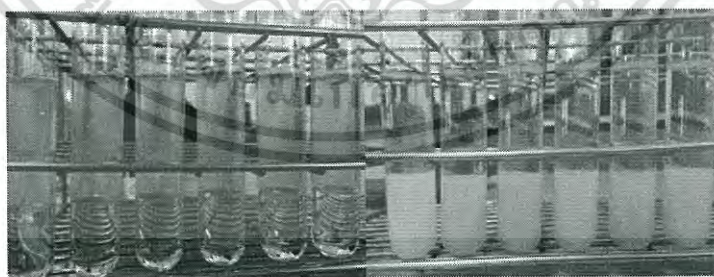
เป็นวิธีการทางเคมีที่ซับซ้อนกำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร จึงไม่อาจอธิบายรายละเอียดใน

ที่นี้ได้

3.3.2.2 วิธีการวัด TMTD ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

ตรวจวัด TMTD โดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัด

สงขลา



ภาพที่ 3.5 การวัดค่าอ้างอิงของเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4.1 การวิเคราะห์ค่าผิดปกติ (Outlier)

จากการทดลองจำเป็นต้องตัดค่าบางส่วนที่มีค่าผิดปกติ (Outlier) ออกจากผลการทดลอง ซึ่งอาจเกิดจากตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ หรือเกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการทดลอง ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\frac{x-\bar{x}}{SD} > 3 \quad (3.1)$$

โดยที่ x คือค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละตัวอย่าง \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของตัวอย่างทดลอง และ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและนำข้อมูลของสเปกตรัมที่ได้มาตรวจสอบค่าผิดปกติ ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบค่าแล้วนั้นมีค่าอยู่ในช่วง ± 3 หากมีค่าอยู่นอกช่วงดังกล่าวนี้ต้องตัดออกจากกลุ่มเพราะเกิดจากตัวอย่างผิดปกติ หรือเกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการทดลอง

3.4.2 การสร้างและพิสูจน์แบบจำลอง

3.4.2.1 การสร้างและพิสูจน์แบบจำลองของสเปกตรัม จากคิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ผลจากวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 350-1,100 nm (จำนวนคลื่น $28,571-9,091 \text{ cm}^{-1}$) ใช้เป็นชุดสร้างแบบจำลอง และชุดพิสูจน์แบบจำลอง ด้วยอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X 10.3 เมื่อได้แบบจำลองมาแล้ว จะพิสูจน์แบบจำลองโดยใช้วิธี Test set จะคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจาก ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์ (Root Mean Squared Error of Prediction, RMSEP) ที่ต่ำที่สุด, ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง (Coefficient of Determination, R^2) และ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ต่ำ (Bias) จากนั้นจะบันทึกค่าที่ได้ และ บันทึกค่า Regression Coefficient และ X-Loading Weight ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

3.4.2.2 การสร้างและพิสูจน์แบบจำลองของสเปกตรัม จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

จากวัดค่าการดูดซับคลื่นในช่วงจำนวนคลื่น $12,500 - 3,600 \text{ cm}^{-1}$ ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดนี้ (ข้อมูลเชิงสเปกตรัมและข้อมูลสมบัติต่างๆทางเคมี) ใช้เป็นชุดสร้างแบบจำลอง และชุดพิสูจน์แบบจำลอง ด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ OPUS version 7.0.129 (Bruker, Germany) ทั้งนี้ ใช้ข้อมูลเชิงแสง (สเปกตรัม) ที่ไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นหรือที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นโดยวิธี Constant Offset Elimination, Straight Line Subtraction, Vector Normalization (SNV), Min-Max Normalization, Multiplicative Scattering Correction, First Derivative, Second Derivative, First Derivative + Straight Line Subtraction, First Derivative + SNV และ First Derivative + MSC เมื่อได้แบบจำลองมาแล้ว จะพิสูจน์แบบจำลองโดยใช้วิธี Test Set จะคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจาก ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์ (Root Mean Squared Error of Prediction; RMSEP) ที่ต่ำที่สุด, ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง (Coefficient of Determination;

R^2), อัตราส่วนระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพิสูจน์กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Ratio of Standard Error of Validation to Standard Deviation; RPD) และ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ต่ำ (Bias) จากนั้นจะบันทึกค่าที่ได้ และบันทึกค่า Regression Coefficient และ X-Loading Weight ที่จำนวนคลื่นต่างๆ

3.4.2.3 การสร้างและพิสูจน์แบบจำลองของสเปกตรัมจาก ลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์

ผลจากวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 1,150-2,150 nm ใช้เป็นชุดสร้างแบบจำลอง และชุดพิสูจน์แบบจำลอง ด้วยอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X 10.3 เมื่อได้แบบจำลองมาแล้ว จะพิสูจน์แบบจำลองโดยใช้วิธี Test set จะคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจาก ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์ (Root Mean Squared Error of Prediction, RMSEP) ที่ต่ำที่สุด, ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง (Coefficient of Determination, R^2) และ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ต่ำ (Bias) จากนั้นจะบันทึกค่าที่ได้ และบันทึกค่า Regression Coefficient และ X-Loading Weight ที่ความยาวคลื่นต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

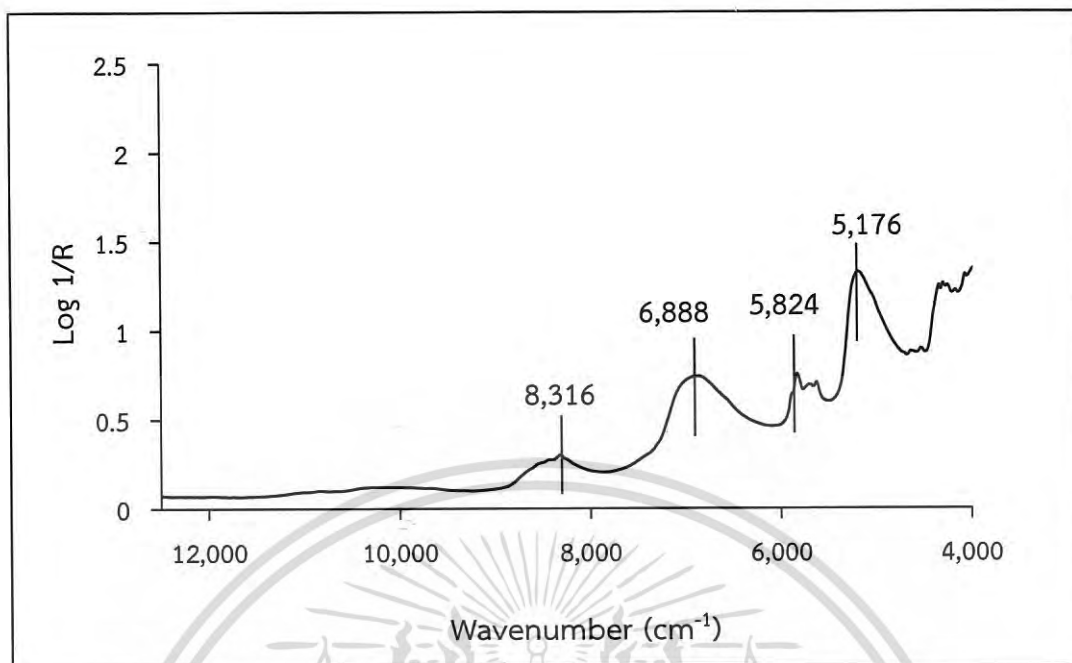
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์สเปกตรัม

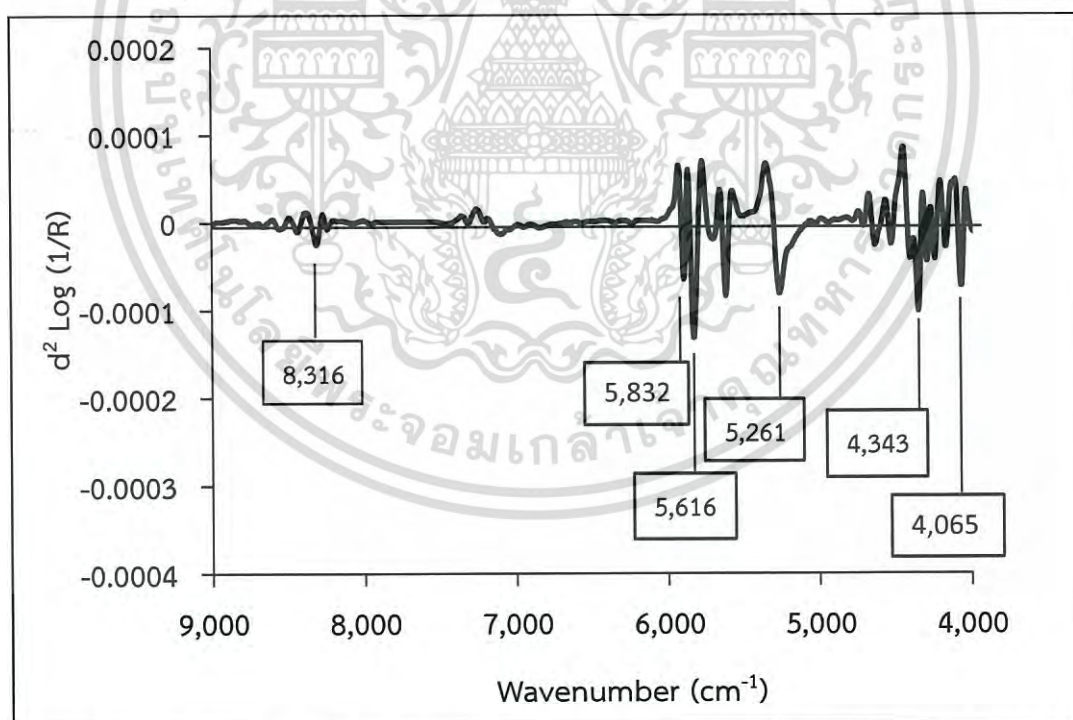
4.1.1 การวิเคราะห์สเปกตรัมจากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมเฉลี่ยของน้ำยางชั้น ที่ได้จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ที่ช่วงจำนวนคลื่น $12,500 - 3,600 \text{ cm}^{-1}$ (800-2778 nm) (ภาพที่ 4.1) พบว่าน้ำยางชั้นมีการดูดซับคลื่นในช่วงเลขเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน ได้แก่ $8316, 6888, 5824$ และ 5176 cm^{-1} (1202, 1451, 1717, 1931 nm) ซึ่งเลขที่คลื่น 8316 และ 5824 cm^{-1} (1202, 1717 nm) ใกล้เคียงกับพีคของการดูดซับคลื่นของยางบริสุทธิ์ที่เลขคลื่น $8316, 5824 \text{ cm}^{-1}$ (1202, 1717) [42] และเลขที่คลื่น $6888, 5176 \text{ cm}^{-1}$ (1451, 1931 nm) ใกล้เคียงกับพีคของการดูดซับคลื่นของน้ำที่เลขคลื่น $6897, 5176 \text{ cm}^{-1}$ (1450, 1940 nm) [15]

และในการวิเคราะห์สเปกตรัมอนุพันธ์อันดับที่สองเฉลี่ยของน้ำยางชั้น ที่ได้จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.2) ซึ่งกำจัดปัญหาการขยับขึ้น (Baseline shift) และทำให้เห็นพีคที่ซ้อนทับกันในสเปกตรัมดั้งเดิมชัดเจนขึ้น พบว่าน้ำยางชั้นมีการดูดซับคลื่นที่ความยาวคลื่นเดียวหรือใกล้เคียงกัน ได้แก่ $8316, 5832, 5616, 5261, 4343, 4065 \text{ cm}^{-1}$ (1202, 1714, 1780, 1865, 2302, 2460 nm) ซึ่งเลขที่คลื่น $8316, 5832, 5616, 4343, 4065 \text{ cm}^{-1}$ (1202, 1714, 1780, 2302, 2460 nm) เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ C-H ซึ่งเป็นการดูดซับคลื่นของยางบริสุทธิ์ [42] และเลขที่คลื่น 5261 cm^{-1} (1865 nm) ใกล้เคียงกับพีคของการดูดซับคลื่นของน้ำที่เลขคลื่น 5160 cm^{-1} (1940 nm) [15]



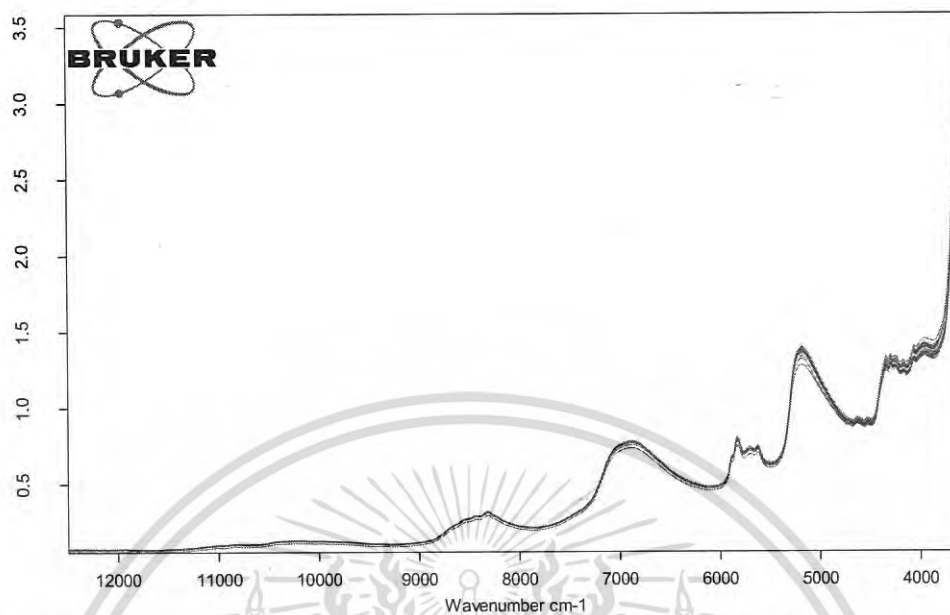
ภาพที่ 4.1 สเปกตรัมของน้ำยางชั้น ที่ได้จากการสแกนด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี



ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมอนุพันธ์ลำดับที่สองเฉลี่ยของน้ำยางชั้น ที่ได้จากการสแกนด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

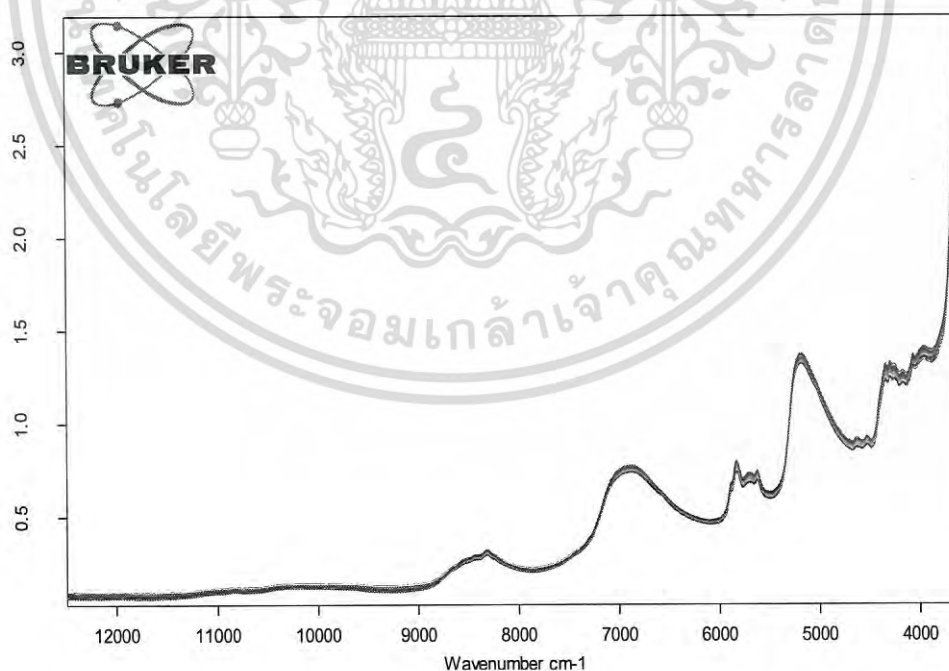
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวิเคราะห์สเปกตรัมจากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของ สบู่แอมโมเนียมลอเรตที่ระดับต่างๆ



ภาพที่ 4.3 สเปกตรัมของน้ำยางชั้นที่ได้จากการสแกนด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่สบู่แอมโมเนียมระดับต่างๆ

4.1.3 การวิเคราะห์สเปกตรัมจากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของ TMTD ที่ระดับต่างๆ



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของน้ำยางชั้นที่ได้จากการสแกนด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่ TMTD ระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แบบจำลอง

4.2.1 กรณีวัดสบู่แอมโมเนียมลอเรต (Ammonium Laurate, AL)

4.2.1.1 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัม ที่ได้จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีด้วยซอฟต์แวร์ OPUS version 7.0.129

จากตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยาล้างที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ Calibration set และ Prediction set ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการทำ PLSR สำหรับปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรต พบว่าแบบจำลองในการทำนายที่ดีที่สุดได้มาจาก ช่วงเลขคลื่น 9403.8-4242.9 cm^{-1} (1063.4-2356.9 nm) ได้มาจากการพัฒนาสเปกตรัมด้วยวิธีแบบ Straight line subtraction โดยมีค่า R^2 RMSEP RPD และ Bias คือ 0.66, 0.0164, 1.78 และ -0.0041 ตามลำดับ เมื่อนำผลค่า R^2 ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางแปลค่า R^2 (ตารางที่ 2.2) ระบุว่าแบบจำลองปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรต เหมาะสำหรับการคัดเลือกแบ่งกลุ่มแบบหยาบๆ และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ เมื่อนำผล RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายค่า RPD (ตารางที่ 2.3) ระบุว่า แบบจำลองทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรต เป็นแบบจำลองที่ไม่ดี ไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนายปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรต ภาพที่ 4.5 และ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกับค่าอ้างอิงของชุดคาลิเบรชันและชุดทดสอบ พฤติกรรมดังภาพจะแสดงให้เห็นว่า NIR ทำนายผิดพลาดไปจากค่าจริง ยกตัวอย่างเช่นภาพที่ 4.4 มีตัวอย่างที่ได้จากการวัดค่าอ้างอิงปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตมีค่าประมาณ 0.04% และค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าประมาณ 0.02% ซึ่งการวัดค่าอ้างอิงและค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าไม่เท่ากันเกิดความคลาดเคลื่อนไปมาก เห็นได้ว่าทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมเดียวกันและเป็นมีพฤติกรรมเป็นเชิงเส้น

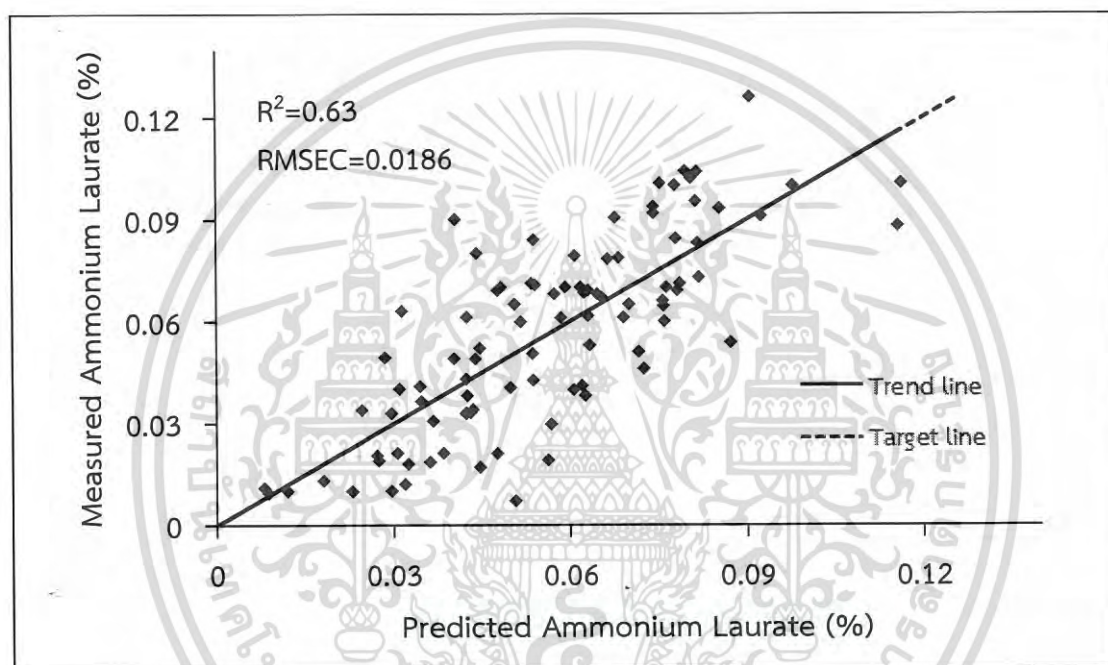
ตารางที่ 4.1 ค่าทางสถิติของปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนายจากจากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Calibration set					Prediction set				
N	Max	Min	Average	SD	N	Max	Min	Average	SD
96	0.126	0.007	0.055	0.029	24	0.104	0.007	0.058	0.029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

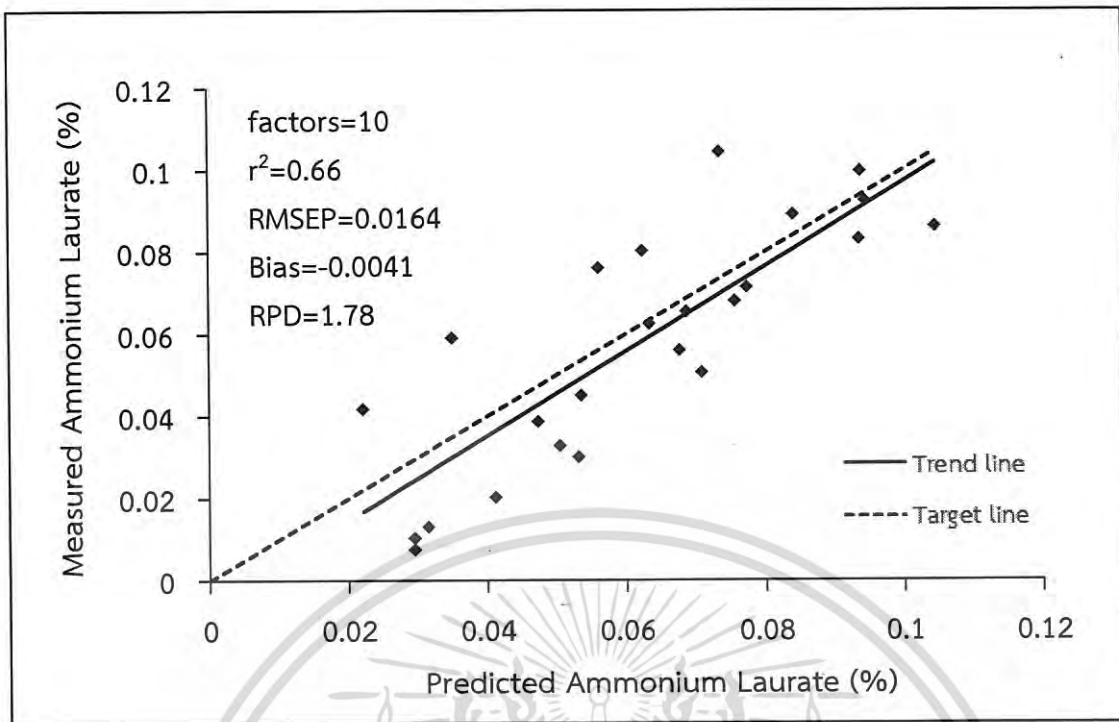
ตารางที่ 4.2 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณสบู่แอมโมเนียมเนียมลอเรตของน้ำยางชั้นโดยวิธี PLSR จาก จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Number of factors	Wavenumber (cm ⁻¹)	Processing	Calibration		Prediction			
			R ²	RMSEC (% w/w)	r ² (%)	RMSEP (% w/w)	RPD	Bias (%)
10	9403.8-4242.9	Straightline subtraction	0.63	0.0186	0.66	0.0164	1.78	-0.0041



ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมเนียมลอเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าปริมาณแอมโมเนียมเนียมลอเรตที่มีอยู่ในน้ำยางชั้นของชุดคาลิเบรชัน

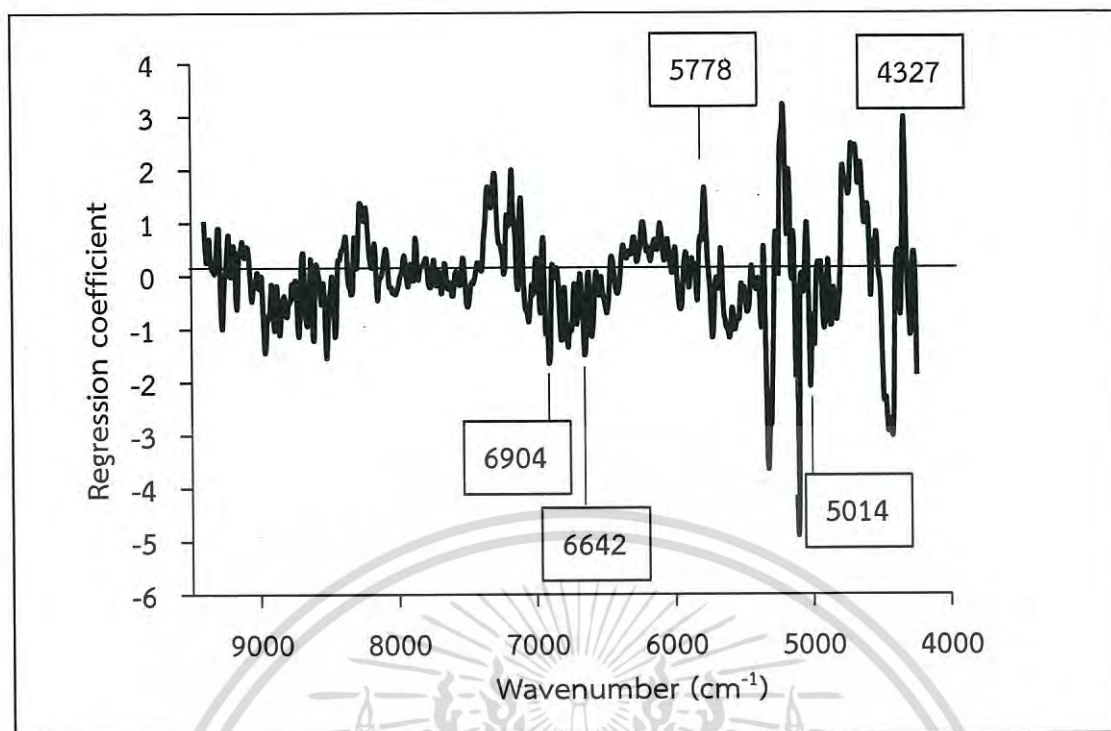
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



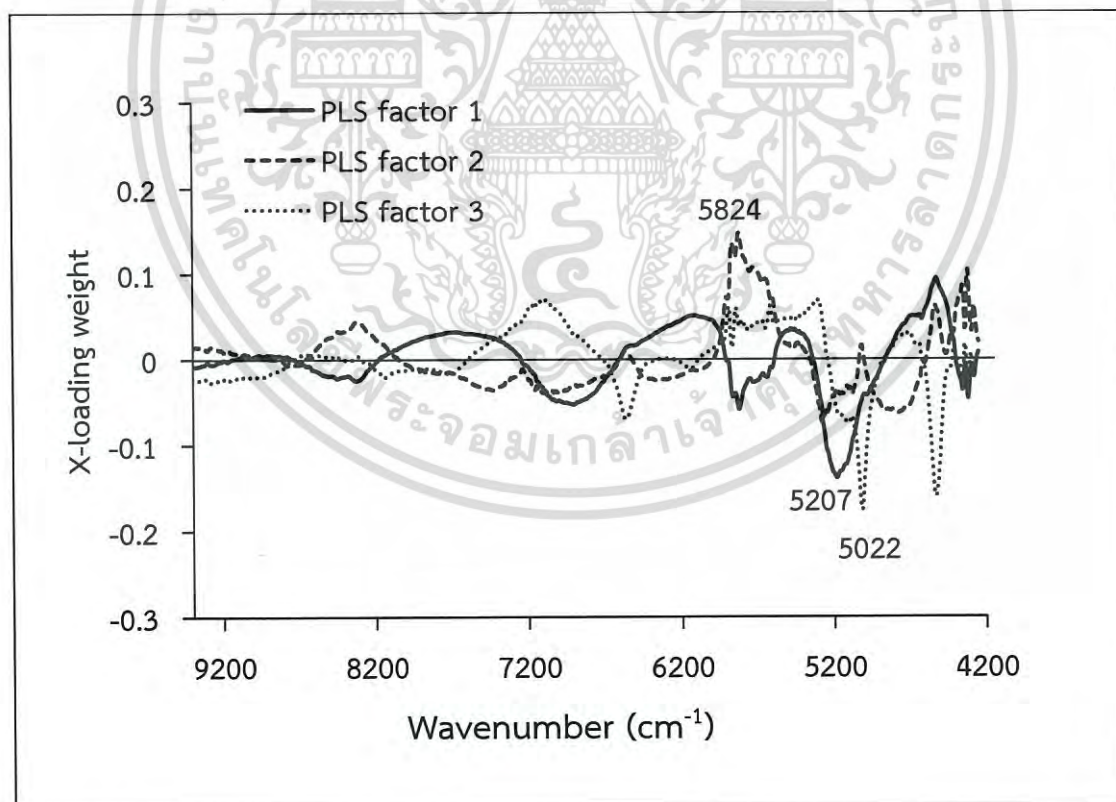
ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าปริมาณแอมโมเนียมลอเรตที่มีอยู่ในน้ำยางชั้นของชุดทดสอบ

ภาพที่ 4.7 และ 4.8 แสดงค่า Regression coefficient และ X-loading weight ของแบบจำลอง เพื่อทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางชั้น ซึ่งผลที่มีค่า Regression coefficient และ X-loading weight สูงได้สรุปไว้ในตารางที่ ข1 ซึ่งเป็นตารางแสดงการสั่นสะเทือนของพันธะที่มีผลต่อการทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรต จะเห็นได้ว่าแถบการดูดซับคลื่นที่ 6904, 6642, 5014 cm^{-1} (1448.3, 1505.6, 1994.4 nm) ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของ N-H และแถบการดูดซับคลื่นที่ 5778, 4327 cm^{-1} (1730.3, 2311 nm) ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของ C-H แสดงค่า Regression coefficient ที่ 5207 cm^{-1} (1920.5 nm) แสดงค่า X-loading weight สูงสุดของ PLS Vector 1 ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของน้ำ ที่ 5824 cm^{-1} (1717 nm) ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของ C-H แสดงค่า X-loading weight สูงสุดของ PLS Vector 2 และที่ 5022 cm^{-1} (1991 nm) ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของ N-H แสดงค่า X-loading weight สูงสุดของ PLS Vector 3 จะเห็นได้ว่าการสั่นสะเทือนของพันธะที่สำคัญเกี่ยวข้องกับ C=O, C-H และ N-H มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 Regression coefficient plot ของแบบจำลองปริมาณแอมโมเนียมลอเรต วัดโดยการสแกนน้ำยางชั้นของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี



ภาพที่ 4.8 X-loading plot ของแบบจำลองปริมาณแอมโมเนียมลอเรต วัดโดยการสแกนน้ำยางชั้นของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X 10.3

จากตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางชั้นที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ Calibration set และ Prediction set ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการทำ Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยใช้การจัดการสเปกตรัมแบบ Smoothing S. Golay พบว่าแบบจำลองในการทำนายที่ดีที่สุด โดยมีค่า R^2 , RMSEP, SEP, RPD และ Bias คือ 0.015, 0.027, 0.027, 1 และ -0.0003 ตามลำดับ เมื่อนำผลค่า R^2 ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางแปลความหมายค่า R^2 (ตารางที่ 2.2) ระบุว่าแบบจำลองทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางชั้น ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration ได้ และเมื่อนำผลค่า RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายความหมายค่า RPD (ตารางที่ 2.3) ระบุว่าแบบจำลองทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนาย ภาพที่ 4.9 และ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางชั้นที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าอ้างอิงของชุดคาลิเบรชันและชุดทดสอบ พฤติกรรมดังภาพจะแสดงให้เห็นว่า NIR ทำนายผิดพลาดไปจากค่าจริง ยกตัวอย่างเช่นภาพที่ 4.10 มีตัวอย่างที่ได้จากการวัดค่าอ้างอิงปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตมีค่าประมาณ 0.1% และค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าประมาณ 0.05% ซึ่งการวัดค่าอ้างอิงและค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าไม่เท่ากันเกิดความคลาดเคลื่อนไปมาก เห็นได้ว่าทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมเดียวกัน มีพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้นช่วงการวัดค่าอ้างอิงของปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตกว้าง แต่ค่าการทำนายของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีช่วงแคบ

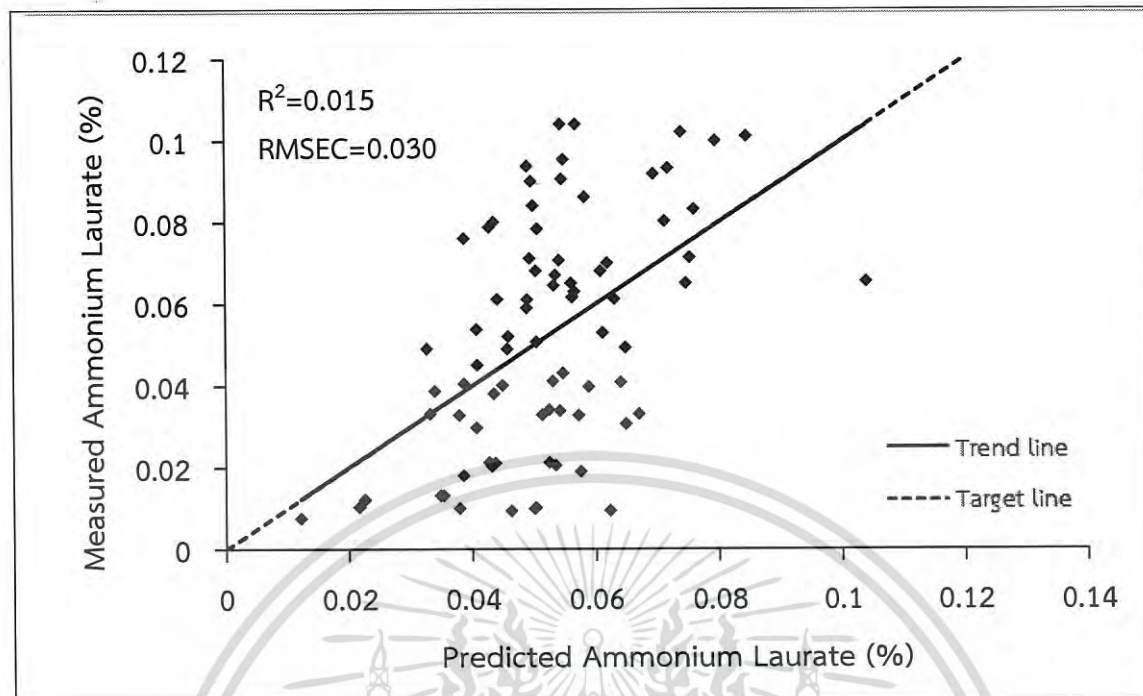
ตารางที่ 4.3 ค่าทางสถิติของปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Calibration set					Prediction set				
N	Max	Min	Average	SD	N	Max	Min	Average	SD
96	0.126	0.007	0.055	0.029	24	0.104	0.007	0.058	0.029

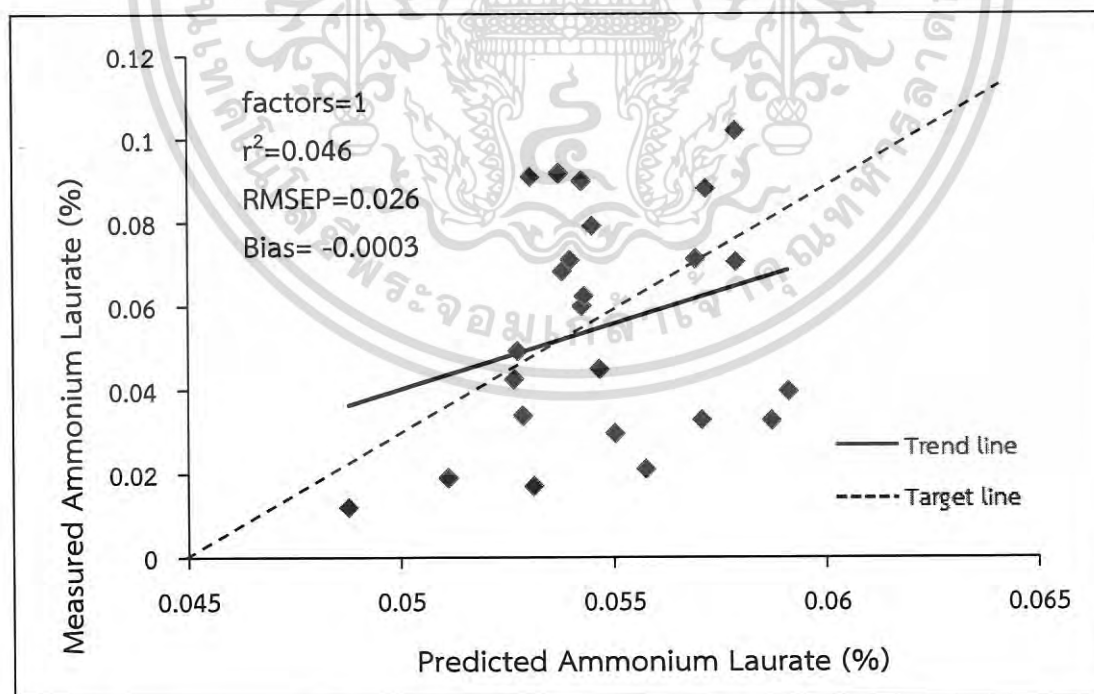
ตารางที่ 4.4 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตของน้ำยางชั้นโดยวิธี PLSR จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Number of factors	Wave		Calibration		Prediction set			
	Number (nm)	Processing	R^2	RMSEC (%W/W)	r^2	RMSEP (%)	RPD	Bias (%W/W)
1	350-1,100	Smoothing S.Golay	0.015	0.030	0.046	0.026	1	-0.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิลิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าปริมาณแอมโมเนียมลอเรตที่มีอยู่ในน้ำยางชั้นของชุดคาลิเบรชัน



ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิลิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าปริมาณแอมโมเนียมลอเรตที่มีอยู่ในน้ำยางชั้นของชุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำข้อมูลไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัม ที่ได้จากลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X 10.3

จากตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางชั้นที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย โดยใช้ Full cross validation ตารางที่ 4.6 แสดงผลของการทำ Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยใช้การจัดการสเปกตรัมแบบ Derivatives 1st point 21 พบว่าแบบจำลองในการทำนายที่ดีที่สุด โดยมีค่า R^2 , RMSEP, SEP, RPD และ Bias คือ 0.098, 0.027, 0.027, 1.04 และ -0.00003 ตามลำดับ เมื่อนำผลค่า R^2 ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางแปลความหมายค่า R^2 (ตารางที่ 2.2) ระบุว่าแบบจำลองทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางชั้นไม่สามารถใช้ใน NIR calibration ได้ และเมื่อนำผลค่า RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายความหมายค่า RPD (ตารางที่ 2.3) ระบุว่าไม่แนะนำให้ใช้แบบจำลองทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในการทำนาย ภาพที่ 4.11 และ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางชั้น ที่ทำนายโดยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าอ้างอิงของชุดคาลิเบรชันและชุดทดสอบ พฤติกรรมดังกล่าวจะแสดงให้เห็นว่า NIR ทำนายผิดพลาดไปจากค่าจริง ชุดคาลิเบรชันมีพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้นช่วงการวัดค่าอ้างอิงของปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตแคบ แต่ค่าการทำนายของอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีช่วงกว้าง และชุดทดสอบช่วงการวัดค่าอ้างอิงของปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตกว้าง แต่ค่าการทำนายของอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีช่วงแคบ ทำให้เกิดการทำนายที่ไม่ถูกต้อง เนื่องจากการวัดค่าอ้างอิงและค่าการทำนายจากอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าไม่เท่ากันเกิดความคลาดเคลื่อนไปมาก เห็นได้ว่าทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมเดียวกัน

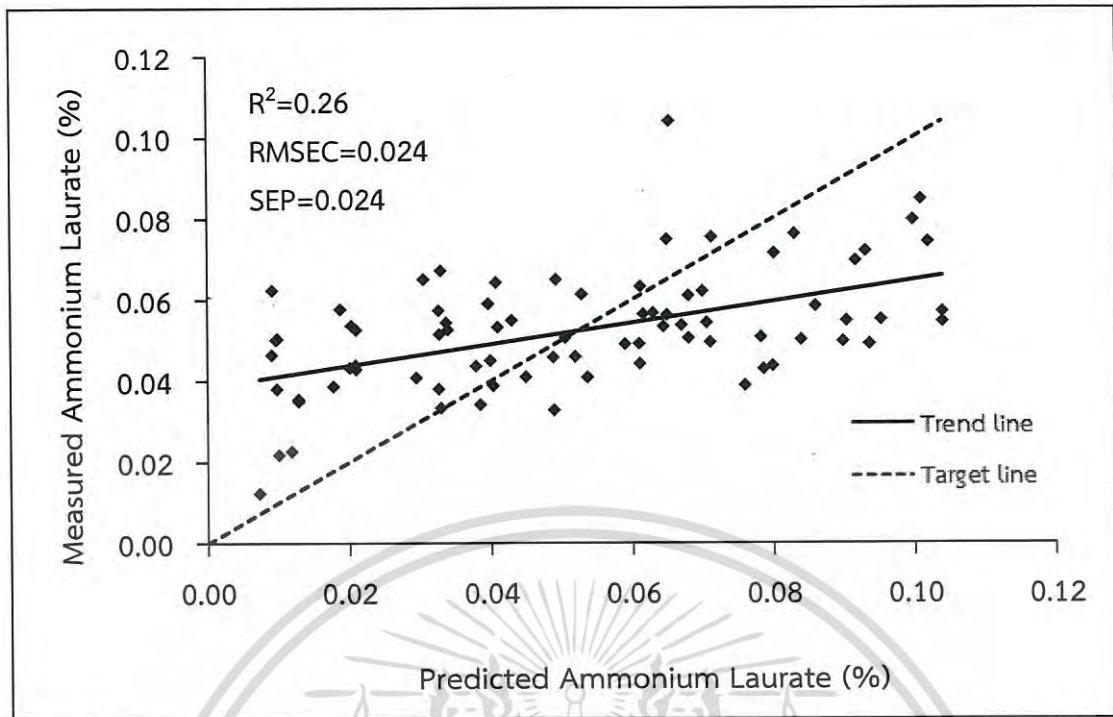
ตารางที่ 4.5 ค่าทางสถิติของปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย จากลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์

N	Max	Min	Average	SD
78	0.104	0.007	0.052	0.028

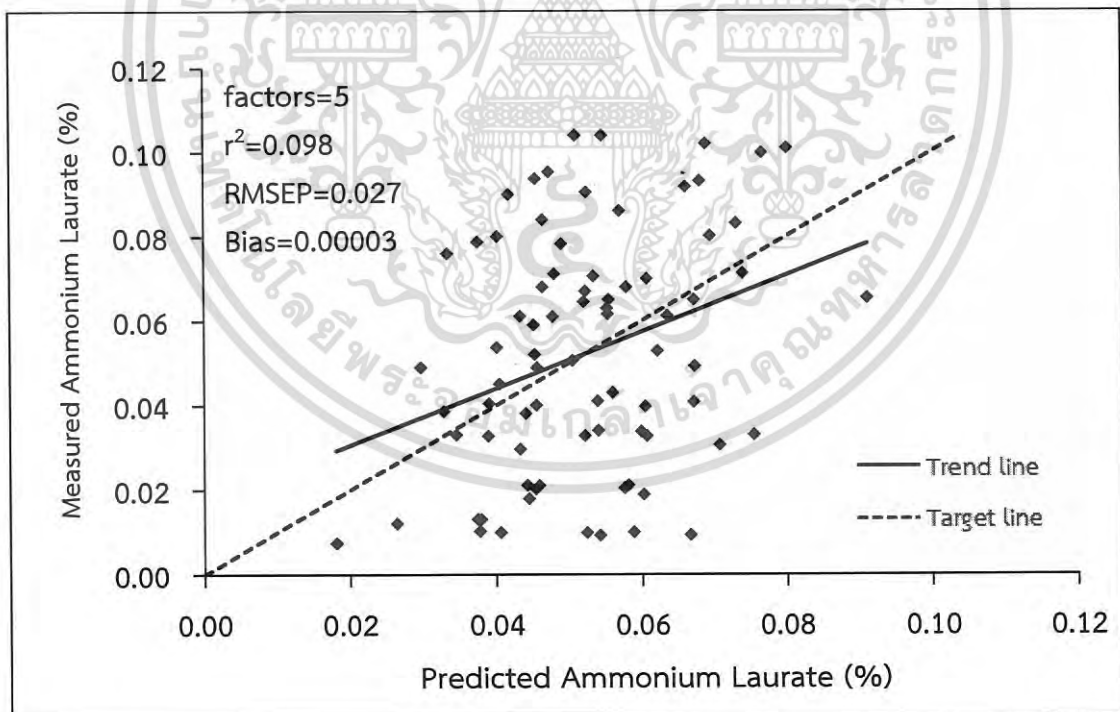
ตารางที่ 4.6 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตของน้ำยางชั้นโดยวิธี PLSR จากลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์

Number of factors	Wave Number (nm)	Processing	Calibration			Prediction set		
			R^2	RMSEC (%W/W)	r^2	RMSEP (%W/W)	RPD	Bias (%W/W)
5	1,150-2,150	Derivatives 1 st point 21	0.26	0.024	0.098	0.027	1.04	-0.00003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ จากลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าปริมาณแอมโมเนียมลอเรตที่มีอยู่ในน้ำยางชั้นของชุดคาลิเบรชัน



ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมลอเรต ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าปริมาณแอมโมเนียมลอเรตที่มีอยู่ในน้ำยางชั้นของชุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 กรณีวัดปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ (Tetramethyl thiuram disulphide, TMTD) ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

4.2.2.1 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร ด้วยซอฟต์แวร์ OPUS version 7.0.129

จากตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้นที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ Calibration set และ Prediction set ตารางที่ 4.8 แสดงผลของการทำ PLSR สำหรับปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ พบว่าแบบจำลองในการทำนายที่ดีที่สุดได้มาจาก ช่วงเลขคลื่น 9403.8-6094.3 และ 5454-4242.9 cm^{-1} (1063.4-1640.9 และ 1833.5-2356.9 nm) ได้มาจากการพัฒนาสเปกตรัมด้วยวิธีแบบ Min-Max normalization โดยมีค่า R^2 RMSEP RPD และ Bias คือ 0.76, 0.00882, 2.1 และ -0.00171 ตามลำดับ เมื่อนำผลค่า R^2 ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางแปลค่า R^2 (ตารางที่ 2.2) ระบุว่าแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ เหมาะสำหรับการคัดเลือกแบ่งกลุ่มแบบหยาดๆ และการประมาณค่าอย่างหยาดๆ เมื่อนำผล RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายค่า RPD (ตารางที่ 2.3) ระบุว่า แบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ เป็นแบบจำลองที่ไม่ดี ไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนายปริมาณปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ภาพที่ 4.13 และ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ FT-NIR spectrometer กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชันและชุดทดสอบ พฤติกรรมดังภาพจะแสดงให้เห็นว่า NIR ทำนายผิดพลาดไปจากค่าจริง ยกตัวอย่างเช่นภาพที่ 4.14 มีตัวอย่างที่ได้จากการวัดค่าอ้างอิงปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ มีค่าประมาณ 0.02% และค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าประมาณ 0.03% ซึ่งการวัดค่าอ้างอิงและค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าไม่เท่ากันเกิดความคลาดเคลื่อน เห็นได้ว่าทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมเดียวกันและเป็นมีพฤติกรรมเป็นเชิงเส้น จากการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชันและชุดทดสอบ R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.92 ในขณะที่ R^2 เท่ากับ 0.76 ของแบบจำลอง TMTD เป็นข้อบ่งชี้ถึงความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าอ้างอิงจาก 8% และความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการสแกนเป็น 16% ข้อมูลสเปกตรัมของแบบจำลองอธิบายแบบจำลอง TMTD ได้ 76%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

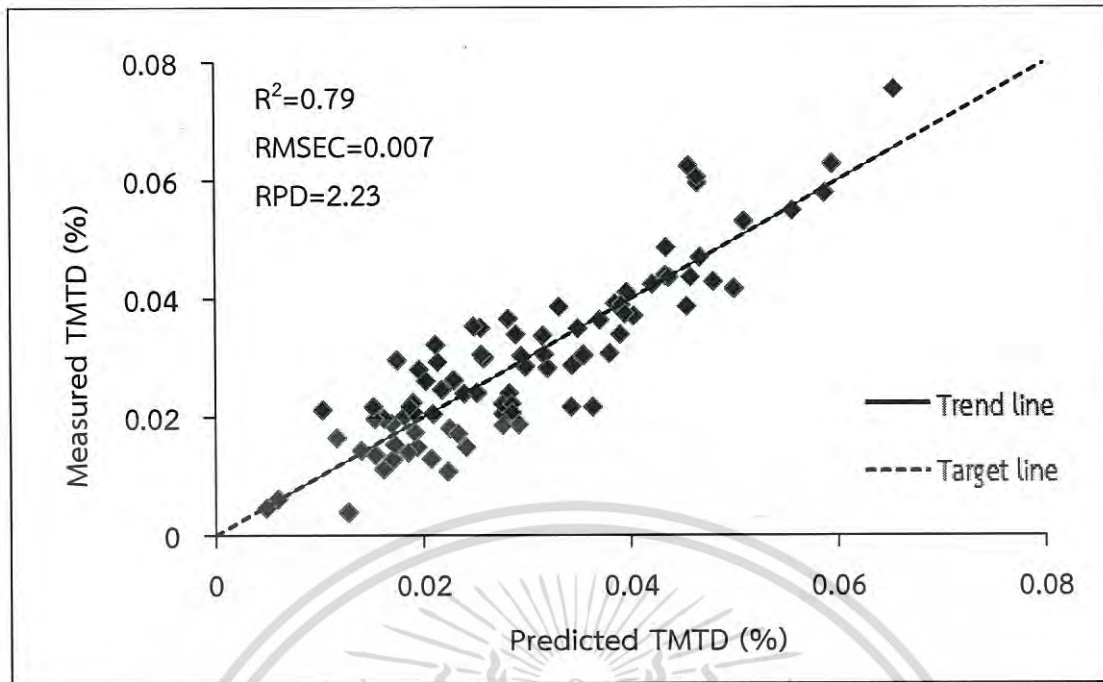
Calibration set					Prediction set				
N	Max	Min	Average	SD	N	Max	Min	Average	SD
87	0.075	0.004	0.030	0.014	39	0.081	0.001	0.035	0.018

ตารางที่ 4.8 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ของน้ำยางชั้นโดยวิธี PLSR จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

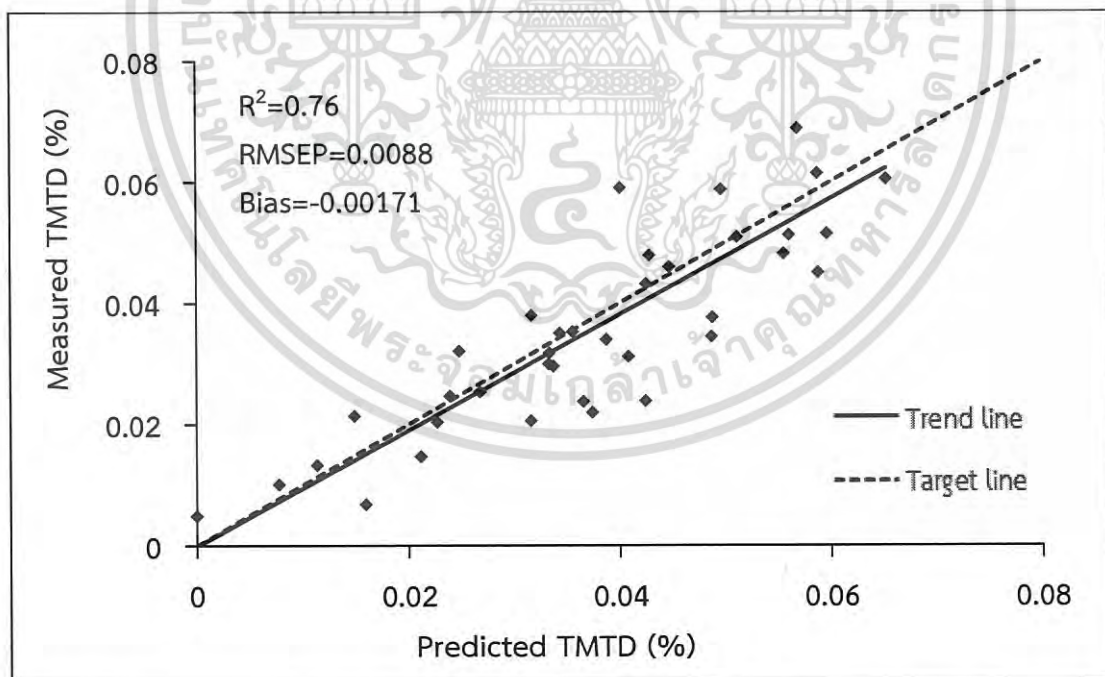
Number of factors	Wave Number (cm ⁻¹)	Processing	Calibration		Prediction			
			R ²	RMSEC (%W/W)	r ²	RMSEP (%W/W)	RPD	Bias (%W/W)
10	9403.8-6094.3, 5454-4242.9	Min-Max normalization	0.79	0.007	0.76	0.008	2.1	-0.0017

ภาพที่ 4.15 และ 4.16 แสดงค่า Regression coefficient และ X-loading weight ของแบบจำลอง เพื่อทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้น ซึ่งผลที่มีค่า Regression coefficient และ X-loading weight สูงได้ สรุปไว้ในตารางที่ ข2 ซึ่งเป็นตารางแสดงการสันสะเทือนของพันธะที่มีผลต่อการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์จะเห็นได้ว่าแถบการดูดซับคลื่นที่ 8454, 8285, 7845, 7413 cm⁻¹ (1182.9, 1207.0, 1274.7, 1348.9 nm) ซึ่งเป็นการสันสะเทือนของ C-H แสดงค่า Regression coefficient ที่ 5214 cm⁻¹ (1719 nm) แสดงค่า X-loading weight สูงสุดของ PLS Vector 1 ซึ่งเป็นการสันสะเทือนของ C=O ที่ 6950 cm⁻¹ (1438 nm) ซึ่งเป็นการสันสะเทือนของ C-H แสดงค่า X-loading weight สูงสุดของ PLS Vector 2 และที่ 5261 cm⁻¹ (1900.7 nm) ซึ่งเป็นการสันสะเทือนของ C=O แสดงค่า X-loading weight สูงสุดของ PLS Vector 3 จะเห็นได้ว่าการสันสะเทือนของพันธะที่สำคัญเกี่ยวข้องกับ C=O และ C-H มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

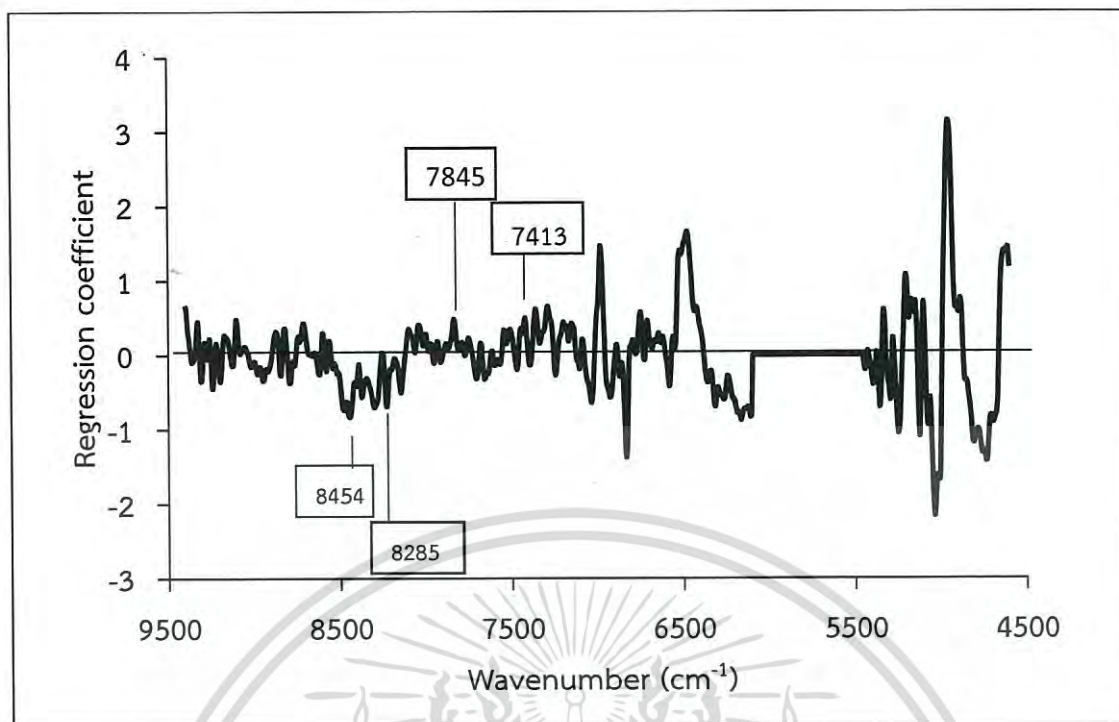


ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชัน ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

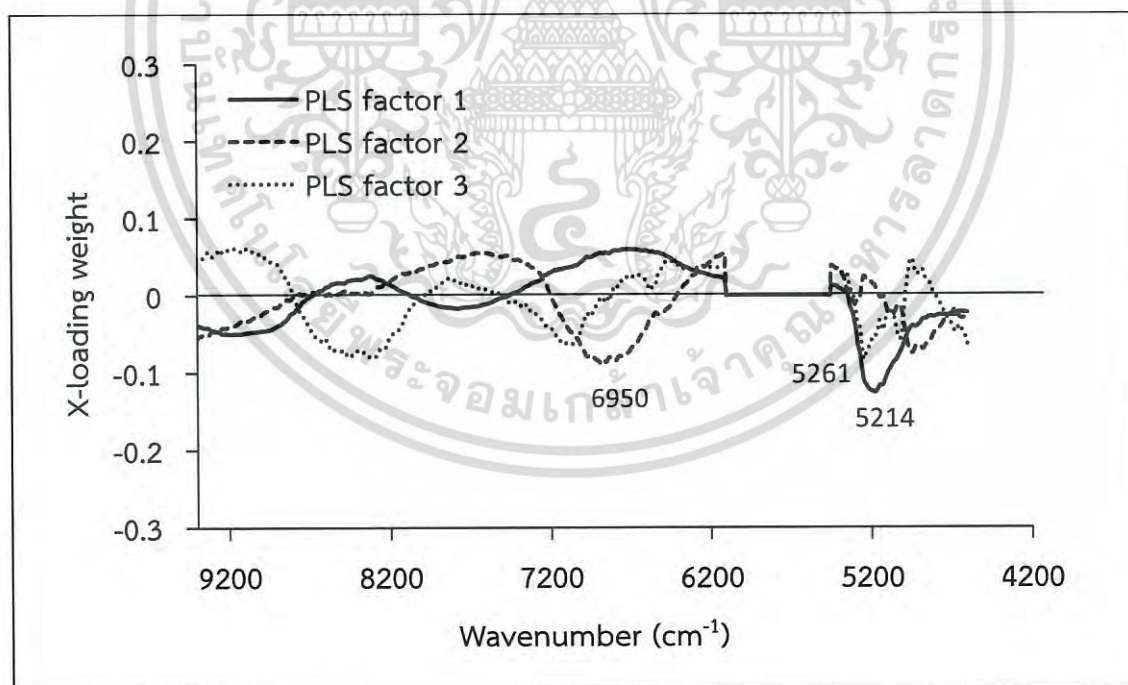


ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 Regression coefficient plot ของแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยูรัมไดซัลไฟด์ วัดโดยการสแกนน้ำยงชั้นของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลยูรัมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร



ภาพที่ 4.16 X-loading plot ของแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยูรัมไดซัลไฟด์ วัดโดยการสแกนน้ำยงชั้นของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยูรัมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X 10.3

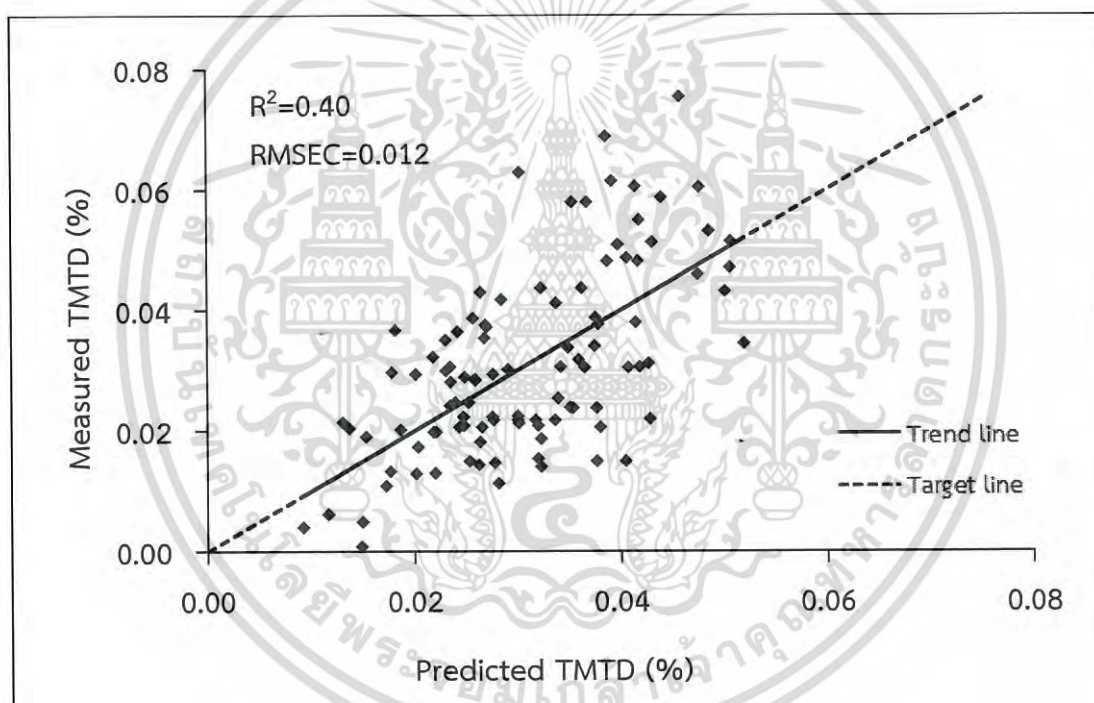
จากตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ในน้ำยางชั้นที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ Calibration set และ Prediction set ตารางที่ 4.10 แสดงผลของการทำ Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยใช้การจัดการสเปกตรัมแบบ Derivatives 2nd point 11 พบว่าแบบจำลองในการทำนายที่ดีที่สุด โดยมีค่า R², RMSEP, SEP, RPD และ Bias คือ 0.48, 0.013, 0.013, 1.31 และ -0.003 ตามลำดับ เมื่อนำผลค่า R² ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางแปลความหมายค่า R² (ตารางที่ 2.2) ระบุว่าแบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ในน้ำยางชั้นเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดี และเมื่อนำผลค่า RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายความหมายค่า RPD (ตารางที่ 2.3) ระบุว่าไม่แนะนำให้ใช้แบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ในการทำนาย ภาพที่ 4.17 และ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ในน้ำยางชั้น ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พฤติกรรมดังภาพจะแสดงให้เห็นว่า NIR ทำนายผิดพลาดไปจากค่าจริง ยกตัวอย่างเช่นภาพที่ 4.16 มีตัวอย่างที่ได้จากการวัดค่าอ้างอิงปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ มีค่าประมาณ 0.02% และค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าประมาณ 0.03% ซึ่งการวัดค่าอ้างอิงและค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าไม่เท่ากันเกิดความคลาดเคลื่อน เห็นได้ว่าทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมเดียวกันและเป็นมีพฤติกรรมเป็นไม่เชิงเส้น

ตารางที่ 4.9 ค่าทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

Calibration set					Prediction set				
N	Max	Min	Average	SD	N	Max	Min	Average	SD
101	0.075	0.001	0.031	0.015	25	0.081	0.005	0.032	0.017

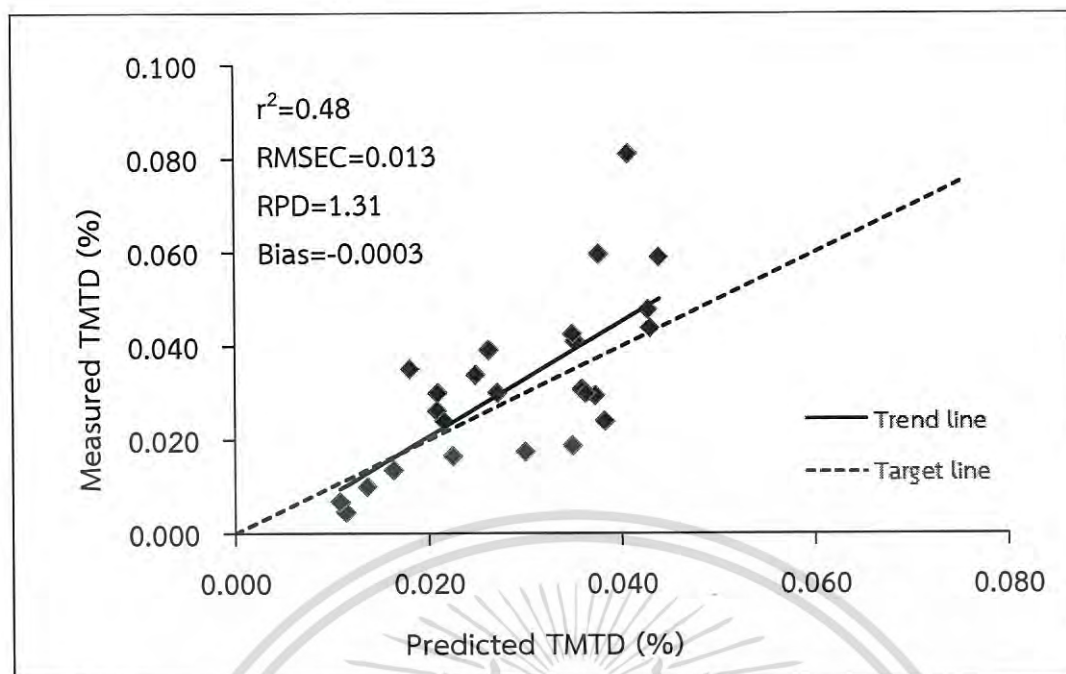
ตารางที่ 4.10 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ของน้ำยางชั้นโดยวิธี PLSR จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิลิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลยูแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

Number of factors	Wave Number (nm)	Processing	Calibration		Prediction			
			R^2	RMSEC (%W/W)	r^2	RMSEP (%W/W)	RPD	Bias (%W/W)
3	350-1,100	Derivatives 2nd point 11	0.40	0.012	0.48	0.013	1.31	-0.0003



ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิลิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชัน ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลยูแรมไดซัลไฟด์ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

4.2.2.3 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้ลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัด TMTD ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X 10.3

จากตารางที่ 4.11 แสดงข้อมูลทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ในน้ำยางชั้นที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ Calibration set และ Prediction set ตารางที่ 4.12 แสดงผลของการทำ Partial Least Squares Regression (PLSR) โดยใช้การจัดการสเปกตรัมแบบ Derivatives 1st point 11 พบว่าแบบจำลองในการทำนายที่ดีที่สุด โดยมีค่า R^2 , RMSEP, SEP, RPD, และ Bias คือ 0.51, 0.011, 0.011, 1.54 และ -0.0003 ตามลำดับ เมื่อนำผลค่า R^2 ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางแปลความหมายค่า R^2 (ตารางที่ 2.2) ระบุว่าแบบจำลองปริมาณปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ เหมาะสำหรับการคัดเลือกแบ่งกลุ่มแบบหยาบๆ และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ เมื่อนำผล RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายค่า RPD (ตารางที่ 2.3) ระบุว่าแบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ เป็นแบบจำลองที่ไม่ดี ไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ภาพที่ 4.19 และ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้น ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้จากลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชันและชุดทดสอบ พฤติกรรมดังภาพจะแสดงให้เห็นว่า NIR ทำนายผิดพลาดไปจากค่าจริงยกตัวอย่างเช่นภาพที่ 4.20 มีตัวอย่างที่ได้จากการวัดค่าอ้างอิงปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ มีค่าประมาณ 0.02% และค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าประมาณ 0.025%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการวัดค่าอ้างอิงและค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปีมีค่าไม่เท่ากันเกิดความคลาดเคลื่อน เห็นได้ว่าทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมเดียวกันและเป็นมีพฤติกรรมเป็นเชิงเส้น

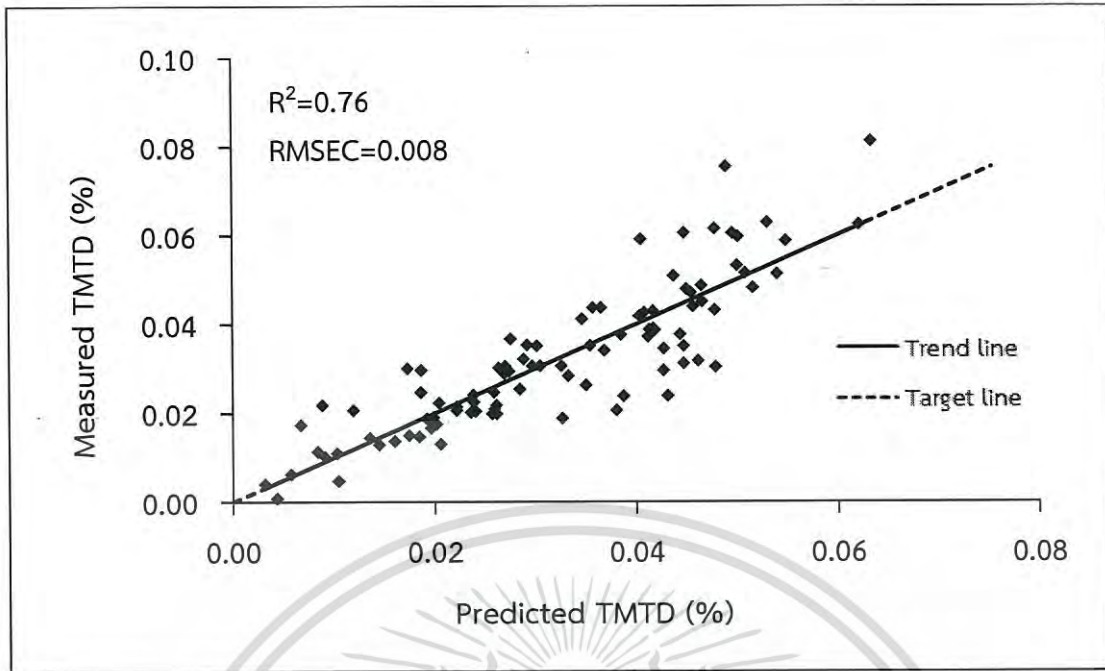
ตารางที่ 4.11 ค่าทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนายจากลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

Calibration set					Prediction set				
N	Max	Min	Average	SD	N	Max	Min	Average	SD
94	0.081	0.001	0.032	0.016	23	0.069	0.005	0.031	0.017

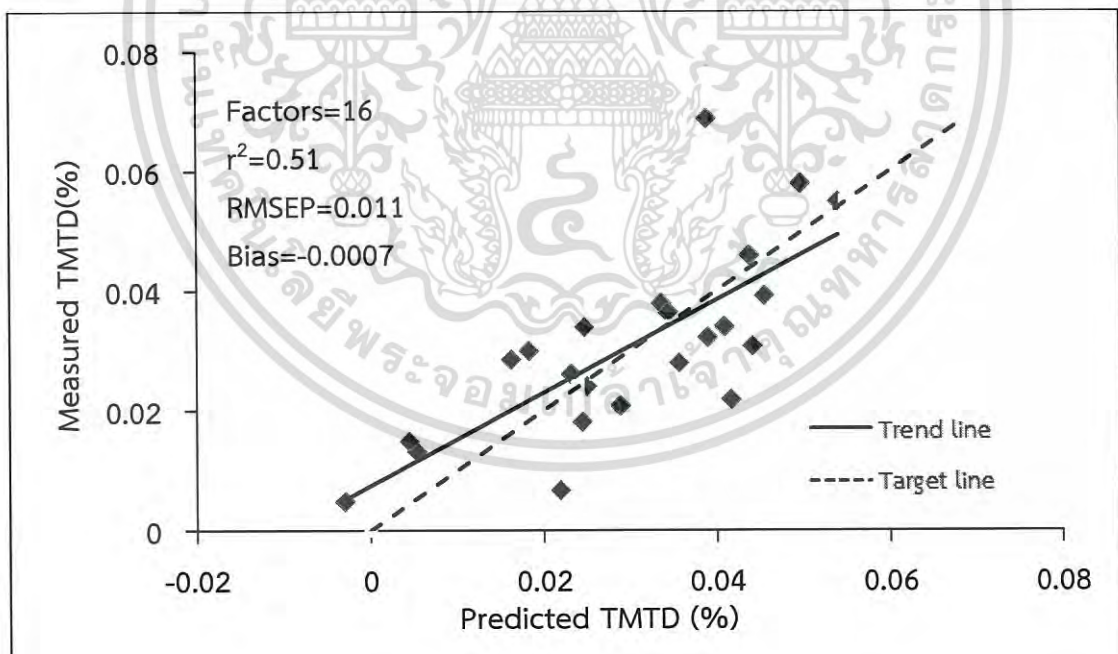
ตารางที่ 4.12 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ของน้ำยางชั้นโดยวิธี PLSR จากลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

Number of factors	Wave Number (nm)	Processing	Calibration		Prediction			
			R^2	RMSEC (%W/W)	r^2	RMSEP (%W/W)	RPD	Bias (%W/W)
16	1,150-2,150	Derivatives 2nd point 11	0.76	0.008	0.51	-0.011	1.54	-0.0007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไคซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชัน ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไคซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร



ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไคซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไคซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 กรณีวัดปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ (Tetramethyl thiuram disulphide, TMTD) ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัด TMTD ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

4.2.3.1 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก พูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัด TMTD ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A ด้วยซอฟต์แวร์ OPUS version 7.0.129

จากตารางที่ 4.13 แสดงข้อมูลทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้นที่ใช้สร้างแบบจำลองทำนาย ตารางที่ 4.14 แสดงผลของการทำ PLSR สำหรับปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ พบว่าแบบจำลองในการทำนายที่ดีที่สุดได้มาจาก ช่วงเลขที่คลื่น $7506-4597.7 \text{ cm}^{-1}$ ($1332.3-2175 \text{ nm}$) ได้มาจากการพัฒนาสเปกตรัมด้วยวิธีแบบ Vector normalization (SNV) โดยมีค่า R^2 RMSECV RPD และ Bias คือ 0.73, 0.05, 1.95 และ 0.0032 ตามลำดับ เมื่อนำผลค่า R^2 ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางแปลค่า R^2 (ตารางที่ 2.2) ระบุว่าแบบจำลองปริมาณปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ เหมาะสำหรับการคัดเลือกแบ่งกลุ่มแบบหยาบๆ และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ เมื่อนำผล RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายค่า RPD (ตารางที่ 2.3) ระบุว่า แบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ เป็นแบบจำลองที่ไม่ดี ไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนายปริมาณปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ภาพที่ 4.21 และ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากการใช้ พูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชันและชุดทดสอบ พฤติกรรมดังกล่าวจะแสดงให้เห็นว่า NIR ทำนายผิดพลาดไปจากค่าจริง ยกตัวอย่างเช่น ภาพที่ 4.22 มีตัวอย่างที่ได้จากการวัดค่าอ้างอิงปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ มีค่าประมาณ 0.1% และค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าประมาณ 0.05% ซึ่งการวัดค่าอ้างอิงและค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าไม่เท่ากันเกิดความคลาดเคลื่อน เห็นได้ว่าทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมเดียวกันและเป็นมีพฤติกรรมเป็นเชิงเส้น จากการใช้พูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชันและชุดทดสอบ R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.985 ในขณะที่ R^2 เท่ากับ 0.73 ของแบบจำลอง TMTD เป็นข้อบ่งชี้ถึงความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าอ้างอิงจาก 2% และความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการสแกนเป็น 25% ข้อมูลสเปกตรัมของแบบจำลองอธิบายแบบจำลอง TMTD ได้ 73%

ตารางที่ 4.13 ค่าทางสถิติของปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ที่ใช้สร้างแบบจำลอง ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

Number of Samples	Mean	Maximum	Minmum	Stand deviation
40	0.10	0.41	0	0.093

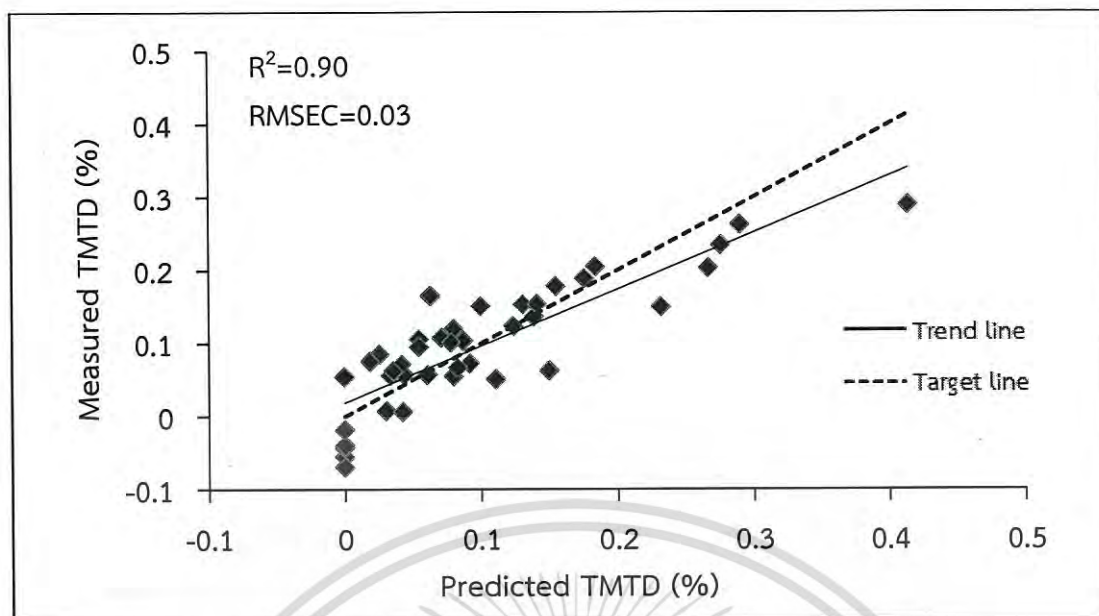
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ของน้ำ
 ยางชั้นโดยวิธี PLSR จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่า
 อ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย
 MY-148291-A

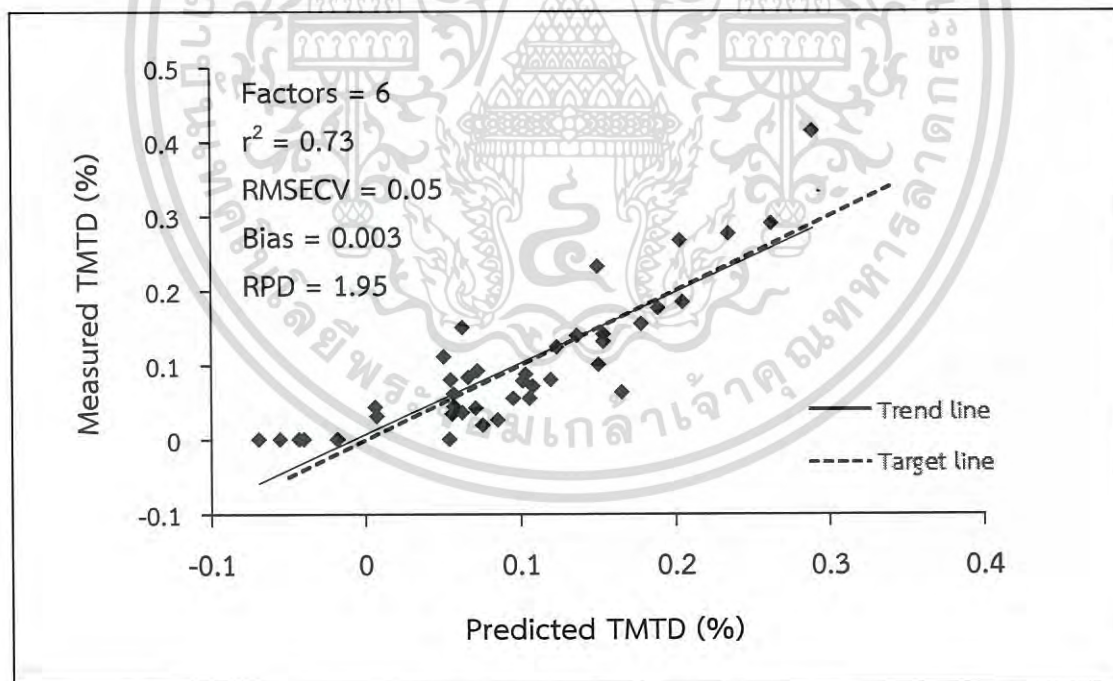
Number of factors	Wavenumber (cm^{-1})	Processing	Calibration		Prediction			
			R^2	RMSEC (%W/W)	r^2	RMSECV (%W/W)	RPD	Bias (%W/W)
9	7506-6094 and 5454- 4242.9	Raw spectra	0.93	0.03	0.71	0.05	1.86	-0.0015
6	7506-4597.7	Vector normalization (SNV)	0.90	0.03	0.73	0.05	1.95	0.0032

ภาพที่ 4.23 และ 4.24 แสดงค่า Regression coefficient และ X-loading weight ของ
 แบบจำลอง เพื่อทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ในน้ำยางชั้น ซึ่งผลที่มีค่า Regression
 coefficient และ X-loading weight สูงได้ สรุปไว้ในตารางที่ ข3 ซึ่งเป็นตารางแสดงการสันสเทือน
 ของพันธะที่มีผลต่อการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์จะเห็นได้ว่าแถบการดูดซับคลื่น
 ที่ 7251, 7143, 5322, 5670, 5014 และ 4721 cm^{-1} (1379.1, 1399.9, 1878.9, 1763.6, 1994.4,
 2118.2 nm) ซึ่งเป็นการสันสเทือนของ C-H แสดงค่า Regression coefficient ที่ 5731 cm^{-1}
 (1744.9 nm) แสดงค่า X-loading weight สูงสุดของ PLS Vector 1 ซึ่งเป็นการสันสเทือนของ
 C-H ที่ 5832 cm^{-1} (1714.7 nm) ซึ่งเป็นการสันสเทือนของ C-H แสดงค่า X-loading weight
 สูงสุดของ PLS Vector 2 และที่ 5330 cm^{-1} (1876.2nm) ซึ่งเป็นการสันสเทือนของ C-Cl แสดงค่า
 X-loading weight สูงสุดของ PLS Vector 3 จะเห็นได้ว่าการสันสเทือนของพันธะที่สำคัญ
 เกี่ยวข้องกับ C-H และ C=O มีอิทธิพลต่อการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ในน้ำยาง
 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

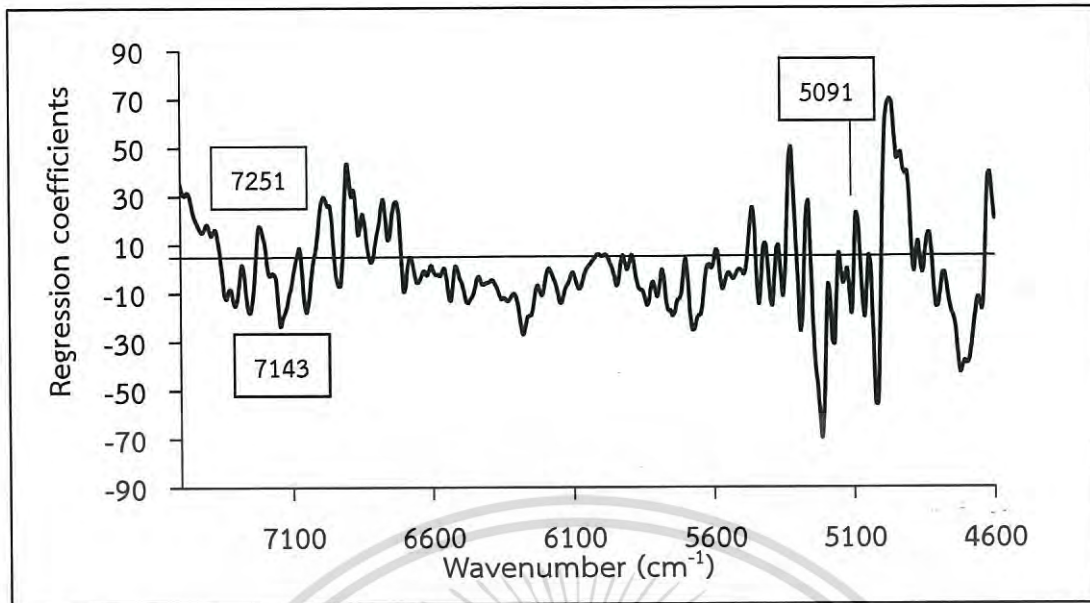


ภาพที่ 4.21 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชัน ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

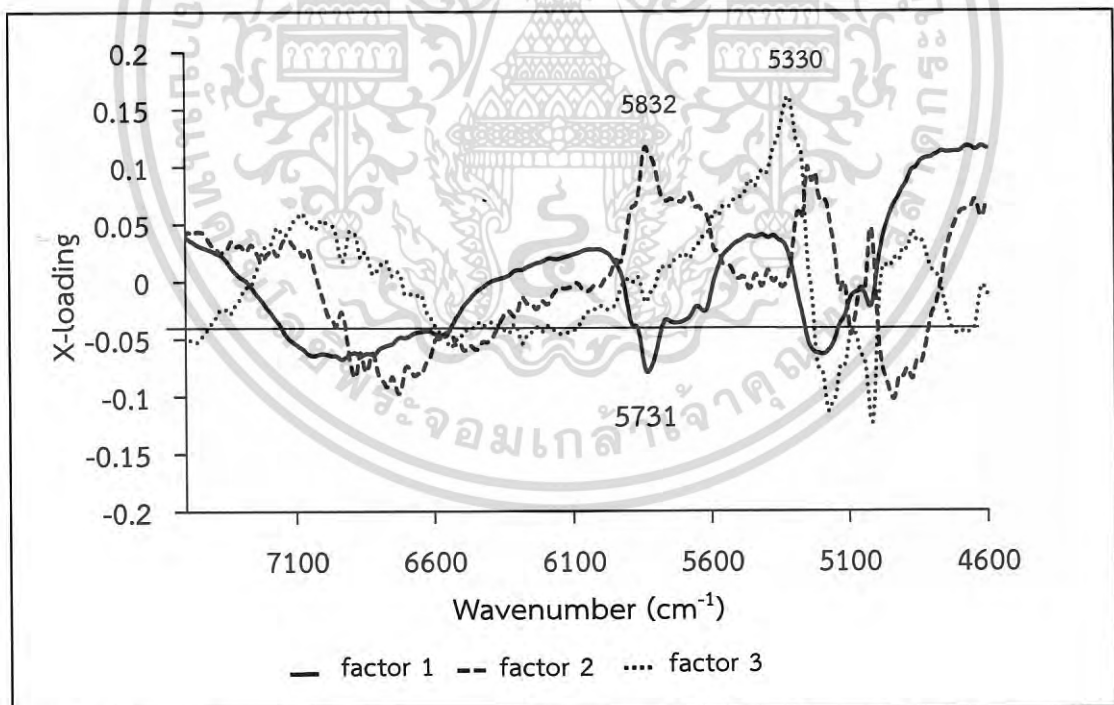


ภาพที่ 4.22 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 Regression coefficient plot ของแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ วัดโดยการสแกนน้ำยางชั้นของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A



ภาพที่ 4.24 X-loading plot ของแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ วัดโดยการสแกนน้ำยางชั้นของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

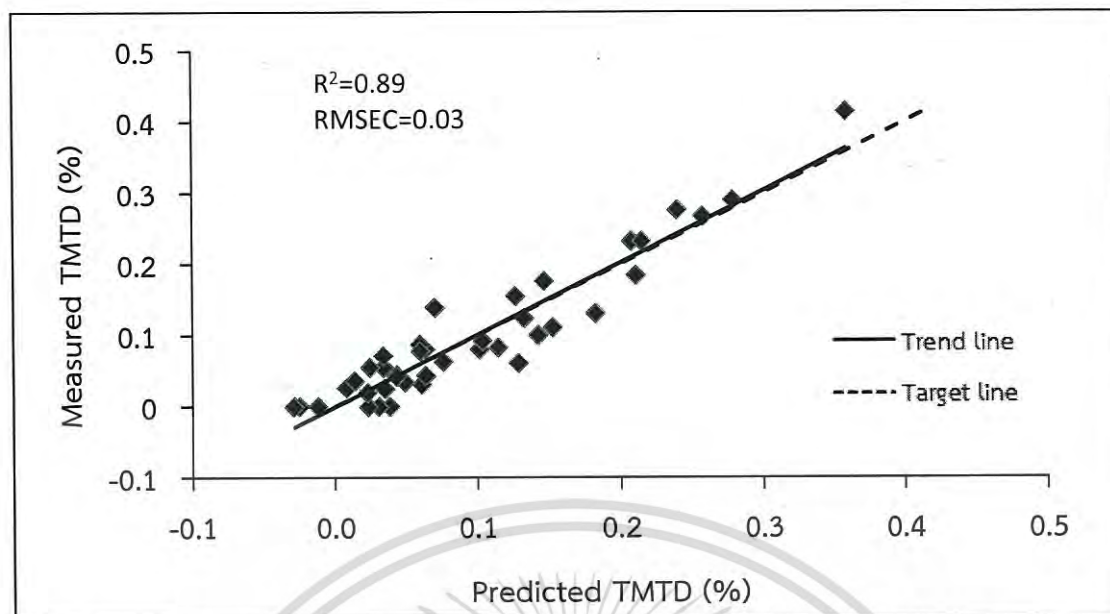
4.2.3.2 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล เนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของ ประเทศมาเลเซีย MY-148291-A ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X10.3

ตารางที่ 4.15 แสดงผลของการทำ PLSR สำหรับปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ พบว่าแบบจำลองในการทำนายที่ดีที่สุดได้มาจาก ช่วงเลขคลื่น 350-1,100 nm ได้มาจากการ พัฒนาสเปกตรัมด้วยวิธีแบบ Multiplicative Scattering Correction (MSC) โดยมีค่า R^2 RMSECV RPD และ Bias คือ 0.44, 0.071, 1.3 และ -0.0006 ตามลำดับ เมื่อนำผลค่า R^2 ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ ตารางแปลค่า R^2 (ตารางที่ 2.2) ระบุว่าแบบจำลองปริมาณปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดี เมื่อนำผล RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายค่า RPD (ตารางที่ 2.3) ระบุว่า แบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ เป็นแบบจำลองที่ไม่ดี ไม่แนะนำให้ ใช้ในการทำนายปริมาณปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ภาพที่ 4.25 และ 4.26 แสดงการ เปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชันและชุดทดสอบ พฤติกรรมดังภาพจะแสดงให้เห็นว่า NIR ทำนายผิดพลาดไปจากค่าจริง ยกตัวอย่างเช่นภาพที่ 4.26 มีตัวอย่างที่ได้จากการวัดค่าอ้างอิง ปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ มีค่าประมาณ 0.25% และค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าประมาณ 0.15% ซึ่งการวัดค่าอ้างอิงและค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าไม่เท่ากันเกิดความคลาดเคลื่อน เห็นได้ว่าทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมเดียวกันและเป็นมี พฤติกรรมเป็นไม่เชิงเส้น

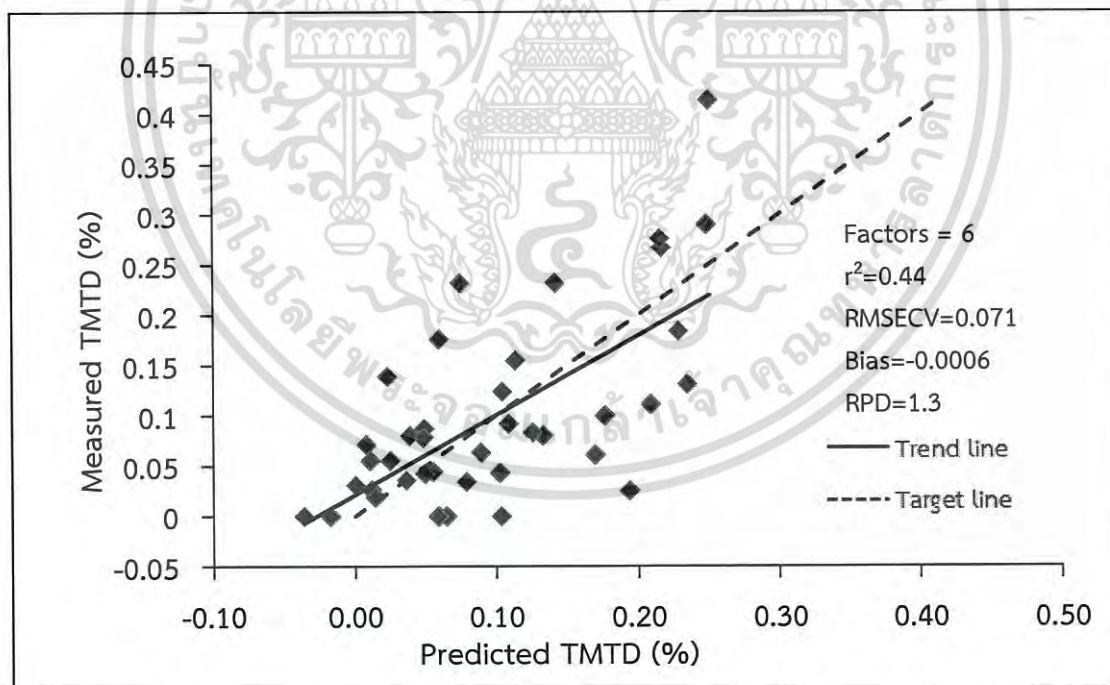
ตารางที่ 4.15 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ของน้ำ ยางชั้นโดยวิธี PLSR จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

Number of factors	Wavenumber (nm)	Processing	Calibration		Prediction			
			R^2	RMSEE (%W/W)	r^2	RMSECV (%W/W)	RPD	Bias (%W/W)
6	350-1,100	MSC	0.89	0.03	0.44	0.071	1.3	-0.006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.25 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีจากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชัน ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A



ภาพที่ 4.26 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปีกับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

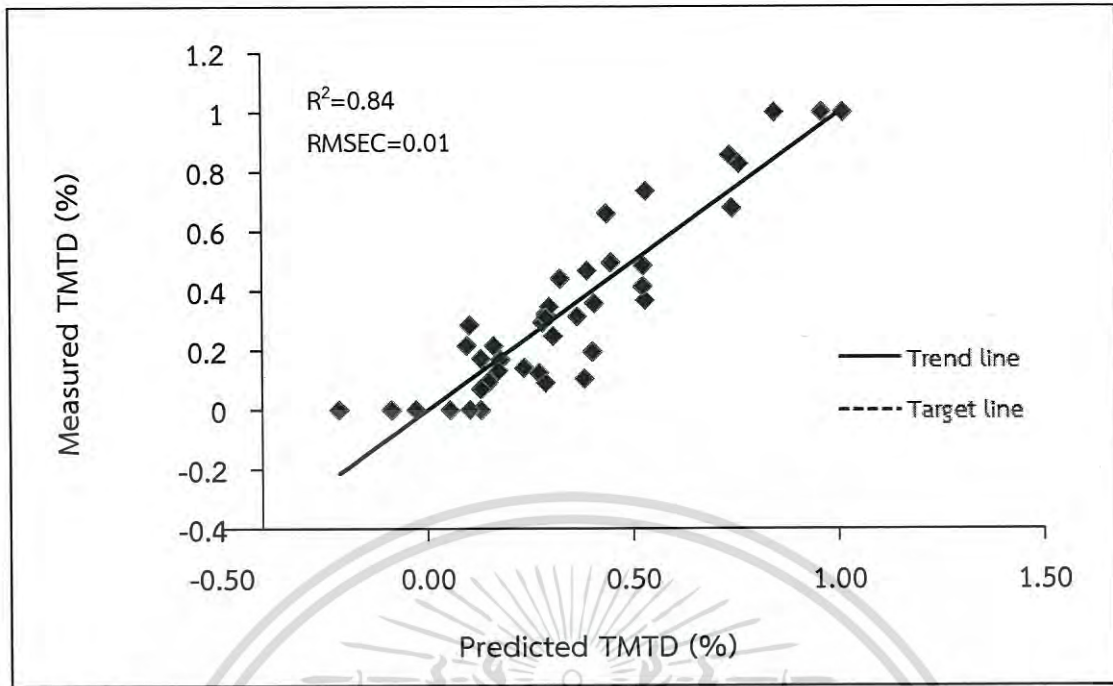
4.2.3.3 แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ได้จาก ลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัด TMTD ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A ด้วยซอฟต์แวร์ Unscrambler X10.3

ตารางที่ 4.16 แสดงผลของการทำ PLSR สำหรับปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ พบว่าแบบจำลองในการทำนายที่ดีที่สุดได้มาจาก ช่วงเลขคลื่น 1,150-2,150 nm ได้มาจากการพัฒนาสเปกตรัมด้วยวิธีแบบ Max Normalization โดยมีค่า R^2 RMSECV RPD และ Bias คือ 0.39, 0.068, 1.3 และ -0.0017 ตามลำดับ เมื่อนำผลค่า R^2 ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางแปลค่า R^2 (ตารางที่ 2.2) ระบุว่าแบบจำลองปริมาณปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดี เมื่อนำผล RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายค่า RPD (ตารางที่ 2.3) ระบุว่า แบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ เป็นแบบจำลองที่ไม่ดี ไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนายปริมาณปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ภาพที่ 4.25 และ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชันและชุดทดสอบ พฤติกรรมดังภาพจะแสดงให้เห็นว่า NIR ทำนายผิดพลาดไปจากค่าจริง ยกตัวอย่างเช่นภาพที่ 4.26 มีตัวอย่างที่ได้จากการวัดค่าอ้างอิงปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ มีค่าประมาณ 0.08% และค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าประมาณ 0.04% ซึ่งการวัดค่าอ้างอิงและค่าการทำนายจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีค่าไม่เท่ากันเกิดความคลาดเคลื่อน เห็นได้ว่าทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมเดียวกันและเป็นมีพฤติกรรมเป็นไม่เชิงเส้น

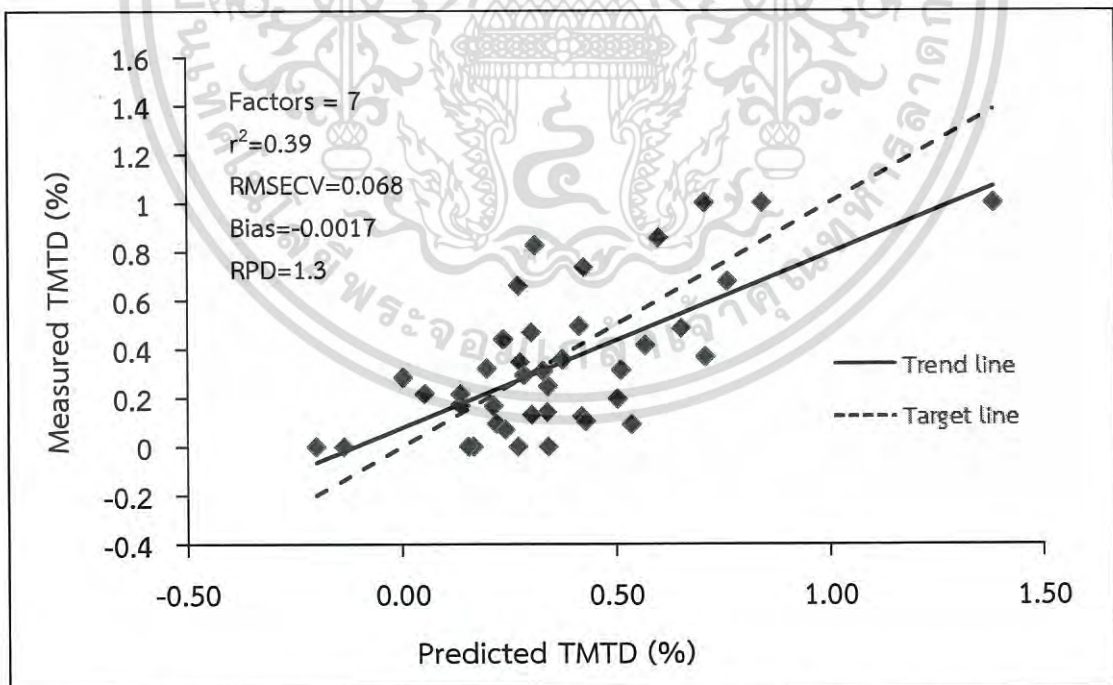
ตารางที่ 4.16 ผลการสร้างแบบจำลองและการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ของน้ำยางชันโดยวิธี PLSR จากลิเนียร์วารีเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

Number of factors	Wavenumber (nm)	Processing	Calibration		Prediction			
			R^2	RMSEC (%W/W)	r^2	RMSECV (%W/W)	RPD	Bias (%W/W)
7	1,150-2,150	Max Normalization	0.84	0.01	0.39	0.068	1.3	-0.0017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.27 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีลิเนียร์วารีเอเบิล ฟิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดคาลิเบรชัน ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A



ภาพที่ 4.28 การเปรียบเทียบปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ที่ทำนายโดยวิธีลิเนียร์วารีเอเบิล ฟิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ กับค่าที่วัดโดยใช้วิธีการทางเคมีของชุดทดสอบ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 การวิเคราะห์สเปกตรัม

5.1.1 การวิเคราะห์สเปกตรัมจากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

สเปกตรัมดั้งเดิม ที่เกิดจากการดูดกลืนแสงของน้ำยางชั้นในช่วงเลขคลื่น 12,500-3,600 cm^{-1} (800-2,778 nm) ด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่ามีพีคเด่นชัดที่เลขคลื่น 8316, 6888, 5824 และ 5176 cm^{-1} (1202, 1451, 1717, 1931 nm)

5.2 การสร้างแบบจำลอง

จากการทดลองทั้งหมดเมื่อนำผลค่า R^2 และ RPD ที่ได้จากชุดทดสอบแบบจำลอง มาเปรียบเทียบกับตารางแปลความหมายค่า R^2 (ตารางที่ 2.2) และ RPD (ตารางที่ 2.3) ทำให้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.2.1 การสร้างแบบจำลองทำนายปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรต

แบบจำลองปริมาณแอมโมเนียมลอเรตที่ศึกษาไม่สามารถนำมาใช้ในการทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตได้ทั้งแบบจำลองทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตที่สเปกตรัมได้จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสibel เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี, ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ เนื่องจากค่า R^2 และ RPD จากฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี R^2 มีค่าเท่ากับ 0.66 ระบุว่าเหมาะสำหรับการคัดเลือกแบ่งกลุ่มแบบหยาบๆ และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ และ RPD มีค่าเท่ากับ 1.78 ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายค่า RPD ระบุว่าแบบจำลองที่ไม่ดี ไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนายปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรต สำหรับ R^2 และ RPD จาก ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสibel เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี มีค่าเท่ากับ 0.015 และ 1 จากลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ มีค่าเท่ากับ 0.098 และ 1.04 พบว่า R^2 และ RPD ต่ำมาก ระบุว่าแบบจำลองทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางชั้น ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration ได้ และเมื่อนำผลค่า RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายความหมายค่า RPD ระบุว่าแบบจำลองทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนาย

5.2.2 การสร้างแบบจำลองทำนายเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์

5.2.2.1 การสร้างแบบจำลองทำนายเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

สเปกตรัมได้จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสibel เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี, ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และลิเนียร์วาริเอเบิลฟิลเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ เนื่องจากค่า R^2 และ RPD จาก ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี R^2 มีค่าเท่ากับ 0.76 พบว่า ระบุว่าแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ เหมาะสำหรับการคัดเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งกลุ่มแบบหยาบๆ และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ จากลิเนียร์วาริเอเบิลฟิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ มีค่าเท่ากับ 0.51 ระบุว่าแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ เหมาะสำหรับการคัดเลือกแบ่งกลุ่มแบบหยาบๆ และ RPD มีค่าเท่ากับ 1.31 และ RPD จาก ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี มีค่าเท่ากับ 2.1 เมื่อนำผล RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางอธิบายค่า RPD ระบุว่า แบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ เป็นแบบจำลองที่ไม่ดี ไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนาย จาก ดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี มีค่า R^2 และ RPD เท่ากับ 0.48 และ 1.54 พบว่า ระบุว่าแบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ในน้ำยางชั้น เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดี และเมื่อนำผลค่า RPD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ ตารางอธิบายความหมายค่า RPD ระบุว่าแบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนาย

5.2.2.2 การสร้างแบบจำลองทำนายเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิง โดยวิธี วัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

สเปกตรัมได้จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี, ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และลิเนียร์วาริเอเบิลฟิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ เนื่องจากค่า R^2 และ RPD จาก ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี R^2 มีค่าเท่ากับ 0.73 พบว่า ระบุว่าแบบจำลองปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ เหมาะสำหรับการคัดเลือกแบ่งกลุ่มแบบหยาบๆ และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ และค่า R^2 จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และลิเนียร์วาริเอเบิลฟิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ มีค่าเท่ากับ 0.44 และ 0.39 ตามลำดับพบว่า เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดี ควรหาเหตุผล และค่า RPD จาก จากดิสเพอร์ซีฟอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี, ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และลิเนียร์วาริเอเบิลฟิเตอร์สเปกโตรมิเตอร์ มีค่าเท่ากับ 1.3, 1.95 และ 1.3 ตามลำดับ พบว่าไม่แนะนำให้ใช้ในการทำนาย

5.3 Regression coefficient และ X-loading weight

จาก Regression coefficient และ X-loading weight ของแบบจำลองที่ดีที่สุดที่พัฒนาจากสเปกตรัมที่ได้จาก ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีพบการสั้นสะท้อนของ N-H มีผลต่อการทำนายปริมาณแอมโมเนียมลอเรตมากที่สุด, การสะท้อนของ C-H มีผลต่อการทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์มากที่สุด

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองงานวิจัยในหัวข้อเรื่องการวิเคราะห์ปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตและปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ในน้ำยางธรรมชาติด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี มีข้อเสนอแนะ 3 ข้อดังต่อไปนี้

5.4.1 อธิบายเหตุผลที่ไม่ได้สามารถวัดปริมาณสบู่แอมโมเนียมลอเรตได้อย่างแม่นยำ แต่สามารถประเมินค่าแบบหยาบๆ ได้

ในน้ำยางธรรมชาติมีสบู่เกิดขึ้นตลอด การใส่สบู่แอมโมเนียมลอเรตเข้าไปในปริมาณต่าง ๆ ตามระดับก็ไม่ได้หมายความว่าในน้ำยางนั้นจะมีปริมาณสบู่เท่ากัน เพราะว่าสบู่ส่วนหนึ่งมาจากน้ำยางธรรมชาติเอง ซึ่งไม่ทราบความเข้มข้น ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากไม่สามารถควบคุมปริมาณสบู่ได้ [42]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 อธิบายความคลาดเคลื่อนของกรณี TMTD ที่เป็นไปได้

เนื่องจากวิธี TMTD ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตรวิธีนี้อาจจะยังมีค่าที่ไม่แน่นอน และวิธีวัด TMTD ตามสิทธิบัตรของมาเลเซีย ต้องใช้เวลาในการขนส่งซึ่งประมาณ 4-7 วัน หลังจากการสแกน เมื่อเวลาผ่านไปคุณสมบัติของน้ำยางชั้นอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้สเปกตรัมเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

5.4.3 การใช้งาน

กรณีวัดสบู่อมโมเนียมลอเรต เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่พัฒนา ยังไม่แนะนำให้นำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางชั้น กรณี TMTD ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A การศึกษาเบื้องต้นของแบบจำลองนี้ มีแนวโน้มที่จะเป็นไปได้ และกรณี TMTD ตามวิธีอ้างอิงที่ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างการขอสิทธิบัตร เป็นแบบจำลองที่สามารถวัดค่าแบบหยาบๆ ได้ และอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางชั้นยอมรับได้ สามารถนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางชั้นได้จริง สารเคมีต่างๆ ก็จะไม่จำเป็นอีกต่อไป ทั้งยังช่วยลดขั้นตอนการทำงาน ค่าใช้จ่าย และเวลาในการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิรณัฐ ปานสังข์. “การกำจัดแอมโมเนียในทางน้ำยางและอากาศเสียในโรงงานผลิตน้ำยางชั้น” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2557.
- [2] ดวงมล กฤตสัมพันธ์. “ลักษณะการปรากฏอยู่ของเตตระเมธิลไทยแรมไดซัลไฟด์และสังกะสีในของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2556.
- [3] บริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด. “NATURAL LATEX CONCENTRATE.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaitexgroup.com/thai2/latex/index_latex.php. 2549.
- [4] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สกว. นวัตกรรมเทคโนโลยียาง. “การตรวจหาสบูแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางที่ง่ายและรวดเร็ว.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.trf.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=644:2013-12-04-09-56-46&catid=60&Itemid=210. 2553.
- [5] ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย. “เทคโนโลยียาง.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://thaiglossary.org/node/39012>. 2555.
- [6] รุสนี กุลวิจิตร. “การทดสอบหาค่า MST ในน้ำยาง.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://u8.psu.ac.th/blog/sec-nmr/39657>. 2558.
- [7] พลาสติกสถานแห่งประเทศไทย. “สภาพน้ำยางรักษาแอมโมเนีย(TAPS).” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://rubber.oie.go.th/>. 2551.
- [8] ศูนย์ข้อมูล SMEs Knowledge Center. “น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ.” 2558. หน้า 368-371.
- [9] R.Rittiron, L.C.Hock, S.Narongwongwattana. “Rapid determination of alkalinity (ammonia content) in Para rubber latex using portable and Fourier transform-near infrared spectrometers” J. Near infrared spectroscopy. 2015, vol. 23, pp. 181-188.
- [10] อุตสาหกรรมยางพารา. “กระบวนการผลิตน้ำยางชั้น” กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2544. หน้า ๗1 - ๗2 .
- [11] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี (Rubber Products: Manufacturing & Technology). กรุงเทพฯ : ซีโนพัลลิซซิ่ง (ประเทศไทย). 2552.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [12] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ อุตสาหกรรมน้ำยางข้น. กรุงเทพฯ : สถาบันสิ่งแวดล้อม, 2548. หน้า 1
- [13] องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. น้ำยางข้น. นครศรีธรรมราช : องค์การสวนยางพารา. 2559.
- [14] วิภาวี พัฒนากุล. ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์. งานนิทรรศการพืชสวนเชียงใหม่ กลุ่มอุตสาหกรรมยางสถาบันวิจัยยาง, 2554. หน้า 10
- [15] ศูนย์การศึกษาออกโรงเรียนภาคใต้ สงขลา. “การเก็บเกี่ยวและการแปรรูปยาง.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://southnfe.go.th/LearnSquare/index.php?mod=Courses&op=course_detail&cid=43&sid=36&catid=40:2010-06-10-02-37-47&Itemid=58. 2549.
- [16] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 2535.
- [17] อภิชาติ สมผิว. “เทคนิคแบบไม่ทำลายสำหรับการวัดความหนืด ปริมาณความเป็นต่าง และจำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ของน้ำยางพาราชั้นโดยเนียร์อินฟราเรด.” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2558.
- [18] U.S. National Library of Medicine. “National Center for Biotechnology Information.” [ออนไลน์]. เข้าได้จาก : https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ammonium_laurate#section=Top. 2560.
- [19] ผศ.เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี และ ดร.วิไลรัตน์ ชีวะเศรษฐกรรม. นวัตกรรมเทคโนโลยียาง “การตรวจหาปริมาณสบู่ลอลเลตในน้ำยางที่ง่ายและรวดเร็ว.” [ออนไลน์]. เข้าได้จาก : http://www.trf.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=644:2013-12-04-09-56-46&catid=60&Itemid=210. 2558.
- [20] H.C. Chin, C.K John., C.M. Lau, M. Zin, C.S. Ng. “New Low Ammonia Latex Concentrate” Federal Republic of Germany, 5-7th October 1977.
- [21] การจัดการความรู้ในการผลิตยาง. “สารเคมีสำหรับรักษาสภาพน้ำยางข้น.” [ออนไลน์]. เข้าได้จาก : <http://rubberdigest.com/?p=178>. 2560.

[22] วิชัย หฤทัยธนาสันต์. เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 2555.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [23] วิษณุ เอื้อชูเกียรติ. “สเปกโทรสโกปี: จากสายรุ้งสู่เอกภพ ตอนที่ 1.” [ออนไลน์]. เข้าได้จาก : <http://www.space.mict.go.th/knowledge.php?id=spectroscopy>. 2552.
- [24] กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. “สเปกโทรสโกปี.” [ออนไลน์]. เข้าได้จาก : <http://www.space.mict.go.th/knowledge.php?id=spectroscopy>. 2560.
- [25] ศิวตล รัตน์โอภา. “การเปรียบเทียบการประเมินไลโคพีนและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของแตงตืดแต่งที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบต่างๆ” หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรวิชาวิศวกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2557.
- [26] ศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สำหรับผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร. “เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร (ตอนที่ 1).” [ออนไลน์]. เข้าได้จาก : <http://www.nirsresearch.com>. 2560.
- [27] วิชัย รวีตระกูล และ และคณะ. การประยุกต์ สเปกโตรสโคปีในเคมีอินทรีย์. 2527. หน้า 298.
- [28] รวิภัทร ลาภเจริญสุข, กรรณพต แก้วสอน, พลนันท อ่อนใสว, บัณฑิต ทองสร้อย, นัฐกรณ์ สอนสงวน, สมชาย กลัดสุข, ศิวตล รัตน์โอภา, อภิชาติ สมผิว, กิ่งดาว ชนะโชติ และปานมนัส ศิริสมบูรณ์. “การคาลิเบรชันแบบตัวแปรพหุ แนวเชิงปฏิบัติสำหรับการพัฒนาแบบจำลองในเคมีวิเคราะห์.” [ออนไลน์]. เข้าได้จาก : <http://www.nirsresearch.com>. 2556.
- [29] กรวรรณ แก่นภิมย์, กิ่งดาว ชนะโชติ และ ภคินี แสนพินิ. ความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์ฮิสตามีนของปลาซาร์ดีนด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี Feasibility of Evaluation of Histamine in Sardine by Near Spectroscopy Technique. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555.
- [30] วรเดช อสุชัยบุญศิริ และ วิภาศิริ เลิศศรี เมธี ดีพร้อมมิตร. การใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีช่วงคลื่นสั้น ในการตรวจสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมด ในน้ำยางพารา Short wave near infrared spectroscopy for determination of dry rubber content and total solids content of para rubber latex. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [31] ธงชัย สุวรรณสิขณน์. “การวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ Data Analysis of NIR Spectra: Qualitative and Quantitative Analysis.” 2545. หน้า 116 – 119.
- [32] Nondestructive Quantitative Analysis of biomedical Samples by Near Infrared Spectroscopy with Chemometrics and Development of novel Chemometric Methods for quantitative Analysis. S. Kasemsamran. 2005, Ph. D. Thesis. Kwansai Gakuin University, Japan.
- [33] ศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สำหรับผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร. “เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร (ตอนที่ 3)”. [ออนไลน์]. เข้าได้จาก : <http://www.nirsresearch.com>. 2560.
- [34] P. Williams. Near-infrared Technology-Getting the Best Out of Light. PDK Grain, Nanaimo, British Columbia, and Winnipeg, Manitoba, Canada., 2007.
- [35] P.Dardenne, "Some considerations about NIR spectroscopy: Closing speech at NIR-2009.doi: <https://www.impublications.com/content/some-consideration-about-nir-spectroscopy>. 2009
- [35] An innovative measurement of extractable proteins from concentrated latex containing eggshell calcium oxide compounds by near-infrared spectroscopy. P. Phudkrachang, S. Kasemsumran, R. Kunanuruksapong and A. Sirivat N. Tangboriboon. Spectroscopy Letters 45, 1; 29-39.
- [36] Latex quantification in homogenate and purified latex samples from various plant species using near infrared reflectance spectroscopy. M.D. Myers, S.S. Kelley K. Cornish. 2004, Industrial Crops and Products. 19 (3), pp. 283-296.
- [37] P. Sirisomboon, R. Chowbankrang, P. Williams (2012). Evaluation of apparent viscosity of para rubber latex by diffuse reflection near-infrared spectroscopy. Applied Spectroscopy. 66 (5), pp. 595-599.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [38] P. Sirisomboon, M. Deeprommit, W. Suchaiboonsiri, W. Lertsri (2013). Shortwave near infrared spectroscopy for determination of dry rubber content and total solids content of Para rubber (*Hevea brasiliensis*) latex. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 21 (4), pp. 269-279.
- [39]. P. Sirisomboon, A. Kaewkuptong, P. Williams (2013). Feasibility study on the evaluation of the dry rubber content of field and concentrated latex of Para rubber by diffuse reflectance near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 21 (2), pp. 149-156.
- [40] T. Inagaki , P. Sirisomboon, C. Liu , W. Thanapase, S. Tsuchikawa (2013). High accuracy rapid prediction and feasibility of on-site nondestructive estimation of Para rubber quality by spectroscopic methods. *Journal of Wood Science* 59 (2), pp. 119-126.
- [41] M., Birmann, K., Rentsch, Zimmer. Online process control of alkaline texturing baths with near-infrared spectroscopy. 2010, *Vibrational Spectroscopy* 53, pp. 269-273.
- [42] ผศ. เสาวนีย์ ก่อวุฒิกรุงศรี และ ดร. วิไลรัตน์ ชีวะเศรษฐกรรม. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1 ผลการตรวจวัดปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรตทั้งหมด

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรต ในน้ำยาล้าง	ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรต ในน้ำยาล้าง
AL1	0.069	AL35	0.018
AL2	0.070	AL36	0.030
AL3	0.019	AL37	0.049
AL4	0.038	AL38	0.062
AL5	0.051	AL39	0.068
AL6	0.069	AL40	0.079
AL7	0.083	AL41	0.092
AL8	0.100	AL42	0.100
AL9	0.104	AL43	0.009
AL10	0.012	AL44	0.021
AL11	0.021	AL45	0.034
AL12	0.033	AL46	0.041
AL13	0.034	AL47	0.049
AL14	0.038	AL48	0.061
AL15	0.043	AL49	0.095
AL16	0.052	AL50	0.101
AL17	0.061	AL51	0.009
AL18	0.067	AL52	0.019
AL19	0.080	AL53	0.031
AL20	0.010	AL54	0.040
AL21	0.033	AL55	0.053
AL22	0.063	AL56	0.093
AL23	0.065	AL57	0.102
AL24	0.070	AL58	0.010
AL25	0.084	AL59	0.020
AL26	0.090	AL60	0.041
AL27	0.007	AL61	0.054
AL28	0.017	AL62	0.061
AL29	0.046	AL63	0.071
AL30	0.060	AL64	0.078
AL31	0.066	AL65	0.091
AL32	0.068	AL66	0.104
AL33	0.070	AL67	0.010
AL34	0.126	AL68	0.033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรต ในน้ำยาล้าง	ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรต ในน้ำยาล้าง
AL69	0.040	AL95	0.073
AL70	0.049	AL96	0.088
AL71	0.065	AL97	0.059
AL72	0.071	AL98	0.068
AL73	0.094	AL99	0.013
AL74	0.013	AL100	0.045
AL75	0.021	AL101	0.076
AL76	0.033	AL102	0.030
AL77	0.040	AL103	0.056
AL78	0.065	AL104	0.089
AL79	0.071	AL105	0.010
AL80	0.085	AL106	0.039
AL81	0.101	AL107	0.007
AL82	0.010	AL108	0.080
AL83	0.019	AL109	0.065
AL84	0.036	AL110	0.071
AL85	0.043	AL111	0.083
AL86	0.060	AL112	0.033
AL87	0.069	AL113	0.020
AL88	0.068	AL114	0.086
AL89	0.080	AL115	0.104
AL90	0.091	AL116	0.051
AL91	0.011	AL117	0.092
AL92	0.021	AL118	0.100
AL93	0.070	AL119	0.042
AL94	0.050	AL120	0.062

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2 ผลการตรวจวัดปริมาณเตตระเมธิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมธิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณเตตระเมธิลไทยแรมโดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้น	ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณเตตระเมธิลไทยแรมโดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้น
TMTD1	0.0187	TMTD34	0.0149
TMTD2	0.0340	TMTD35	0.0280
TMTD3	0.0387	TMTD36	0.0285
TMTD4	0.0596	TMTD37	0.0340
TMTD5	0.0754	TMTD38	0.0390
TMTD6	0.0205	TMTD49	0.0108
TMTD7	0.0305	TMTD40	0.0128
TMTD8	0.0549	TMTD41	0.0136
TMTD9	0.0308	TMTD42	0.0262
TMTD10	0.0486	TMTD43	0.0300
TMTD11	0.0470	TMTD44	0.0293
TMTD12	0.0531	TMTD45	0.0165
TMTD13	0.0303	TMTD46	0.0197
TMTD14	0.0439	TMTD47	0.0201
TMTD15	0.0605	TMTD48	0.0351
TMTD16	0.0181	TMTD49	0.0366
TMTD17	0.0364	TMTD50	0.0197
TMTD18	0.0392	TMTD51	0.0217
TMTD19	0.0261	TMTD52	0.0212
TMTD20	0.0350	TMTD53	0.0222
TMTD21	0.0624	TMTD54	0.0305
TMTD22	0.0240	TMTD55	0.0217
TMTD23	0.0436	TMTD56	0.0217
TMTD24	0.0149	TMTD57	0.0436
TMTD25	0.0304	TMTD58	0.0417
TMTD26	0.0411	TMTD59	0.0628
TMTD27	0.0579	TMTD60	0.0143
TMTD28	0.0046	TMTD61	0.0205
TMTD29	0.0296	TMTD62	0.0246
TMTD30	0.0189	TMTD63	0.0283
TMTD31	0.0061	TMTD64	0.0386
TMTD32	0.0039	TMTD65	0.0429
TMTD33	0.0222	TMTD66	0.0172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณเตตระเมธิลไทยแรม ไดซัลไฟต์ในน้ำยางชั้น	ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณเตตระเมธิลไทยแรม ไดซัลไฟต์ในน้ำยางชั้น
TMTD67	0.0129	TMTD97	0.0288
TMTD68	0.0240	TMTD98	0.0614
TMTD69	0.0322	TMTD99	0.0344
TMTD70	0.0112	TMTD100	0.0514
TMTD71	0.0174	TMTD101	0.0590
TMTD72	0.0208	TMTD102	0.0379
TMTD73	0.0301	TMTD103	0.0478
TMTD74	0.0371	TMTD104	0.0587
TMTD75	0.0375	TMTD105	0.0246
TMTD76	0.0186	TMTD106	0.0350
TMTD77	0.0208	TMTD107	0.0320
TMTD78	0.0224	TMTD108	0.0352
TMTD79	0.0305	TMTD109	0.0450
TMTD80	0.0425	TMTD110	0.0253
TMTD81	0.0140	TMTD111	0.0317
TMTD82	0.0153	TMTD112	0.0508
TMTD83	0.0217	TMTD113	0.0688
TMTD84	0.0241	TMTD114	0.0237
TMTD85	0.0337	TMTD115	0.0481
TMTD86	0.0353	TMTD116	0.0100
TMTD87	0.0219	TMTD117	0.0132
TMTD88	0.0311	TMTD118	0.0213
TMTD89	0.0431	TMTD119	0.0007
TMTD90	0.0512	TMTD120	0.0048
TMTD91	0.0604	TMTD121	0.0067
TMTD92	0.0295	TMTD122	0.0203
TMTD93	0.0459	TMTD123	0.0146
TMTD94	0.0811	TMTD124	0.0299
TMTD95	0.0238	TMTD125	0.0339
TMTD96	0.0376	TMTD126	0.0205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓3 ผลการทดสอบความแม่นยำโดยรวมของการวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

Repeatability			
Sample number	Duplicate a	Duplicate b	Diff. a-b
2,3	0.0171	0.0149	0.0022
5,6	0.0221	0.0153	0.0068
8,9	0.0186	0.0205	-0.0019
11,12	0.0346	0.0287	0.0059
14,15	0.0446	0.0346	0.01
17,18	0.0408	0.0322	0.0086
		SD	0.0044
		Mean	0.0034
Reproducibility			
Sample number	Duplicate a	Duplicate b	Diff. a-b
1,2	0.0140	0.0171	-0.0031
4,5	0.0153	0.0221	-0.0068
7,8	0.0217	0.0186	0.0031
10,11	0.0241	0.0346	-0.0105
13,14	0.0337	0.0446	-0.0109
16,17	0.0353	0.0408	-0.0055
		SD	0.0052
		Mean	0.0049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3 ผลการตรวจวัดปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิปี ใช้ค่าอ้างอิง
โดยวิธีวัด เตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้น	ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซัลไฟด์ในน้ำยางชั้น
TMTD1	0.000	TMTD21	0.00
TMTD2	0.000	TMTD22	0.414
TMTD3	0.034	TMTD23	0.184
TMTD4	0.031	TMTD24	0.00
TMTD5	0.044	TMTD25	0.290
TMTD6	0.042	TMTD26	0.061
TMTD7	0.055	TMTD27	0.000
TMTD8	0.055	TMTD28	0.000
TMTD9	0.063	TMTD29	0.019
TMTD10	0.071	TMTD30	0.232
TMTD11	0.080	TMTD31	0.036
TMTD12	0.080	TMTD32	0.026
TMTD13	0.092	TMTD33	0.083
TMTD14	0.087	TMTD34	0.078
TMTD15	0.131	TMTD35	0.111
TMTD16	0.139	TMTD36	0.124
TMTD17	0.232	TMTD37	0.141
TMTD18	0.100	TMTD38	0.176
TMTD19	0.043	TMTD49	0.150
TMTD20	0.155	TMTD40	0.025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ความยาวคลื่นที่มีค่า Regression coefficient หรือ X-loading
ของแบบจำลองสูง และแถบการสั่นสะท้อนของโครงสร้างทาง
เคมีสอดคล้องกัน ของแบบจำลองทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 ความยาวคลื่นที่มีค่า Regression coefficient หรือ X-loading ของแบบจำลองสูง และแถบการสั่นสะเทือนของโครงสร้างทางเคมีที่สอดคล้องกัน ของแบบจำลองทำนายปริมาณสบู่อมโมเนียมลอเรต

Appeared		Cited		Functional Group	Spectra-Structure	Source			
(cm ⁻¹)	(nm)	(cm ⁻¹)	(nm)			R	F1	F2	F3
6904	1448.4	6904	1448.5	N-H primary aromatic amine	N-H (2v) asymmetric, primary aromatic amine in CCl ₄ , no other substituents	•			
6642	1505.6	6656	1502.5	N-H primary aromatic amine (p-NH ₂)	N-H(2v) symmetric, primary aromatic in CCl ₄ as para-NH ₂ grouping	•			
5824	1717	5845	1711	C-H methyl C-H, iodine	C-H (2v), CH ₂			•	
5778	1730.7	5773	1732	C-H methyl C-H, OH associated as (ROHCH ₃)	C-H methyl, OH associated as ROHCH ₃	•			
5207	1920.5	5208	1920	C=O amide (C=ONH)	C=O (3v), C=ONH		•		
5022	1991	5025	1990	N-H amide : NH ₂ -C=ONH ₂	N-H stretching and N-H bending combination				•
5014	1994	5000	2000	N-H ammonia in water	N-H (vN-H and N-H combination for NH ₃ (ammonia) in water	•			
4327	2,311	4329	2310	C-H (C-H bending)	C-H	•			

R คือ Regression coefficient และ F1, F2, F3 คือ X-loading weight

ตารางที่ ข2 ความยาวคลื่นที่มีค่า Regression coefficient หรือ X-loading ของแบบจำลองสูง และแถบการสั่นสะเทือนของโครงสร้างทางเคมีที่สอดคล้องกัน ของแบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟต์ ใช้ค่าอ้างอิงโดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟต์ ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างขอสิทธิบัตร

Appeared		Cited		Functional Group	Spectra-Structure	Source			
(cm ⁻¹)	(nm)	(cm ⁻¹)	(nm)			R	F1	F2	F3
8454	1182.9	8375	1194	C-H methyl C-H, (CH ₃)	C-H (3v), methyl C-H				
8285	1207	8258	1211	C-H methyl (CH ₂)	C-H (3v), methylene C-H	•			
7845	1274.7	8163	1225	C-H secondary or tertiary carbon (C-H)	C-H (3v), C-H	•			
7413	1349	7353	1360	C-H methyl (CH ₃)	C-H combination, C-H ₃	•			
6950	1438.8	6944	1440	C-H methylene (CH ₂)	C-H combination, C-H ₂			•	
5261	1900.7	5263	1900	C=O carbonyl (C=OOH)	C=O (3v), C=OOH				•
5214	1917.9	5208	1920	C=O amide (C=ONH)	C=O (3v), C=ONH		•		
4952	2019.4	4960	2016	O-H stretching and bendion combination from of native RNase A	O-H and O-H combination from CH ₃ OH				•

R คือ Regression coefficient และ F1, F2, F3 คือ X-loading weight

ตารางที่ ข3 ความยาวคลื่นที่มีค่า Regression coefficient หรือ X-loading ของแบบจำลองสูง และแถบการสั่นสะเทือนของโครงสร้างทางเคมีที่สอดคล้องกัน ของแบบจำลองทำนายปริมาณเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ใช้อ้างอิง โดยวิธีวัดเตตระเมทิลไทยแรมโดซิลไฟด์ ตามสิทธิบัตรของประเทศมาเลเซีย MY-148291-A

Appeared		Cited		Functional Group	Spectra-Structure	Source			
(cm ⁻¹)	(nm)	(cm ⁻¹)	(nm)			R	F1	F2	F3
7251	1379.1	7300	1370	C-H methyl C-H, associated with aromatic (ArCH ₃)	C-H (2ν CH ₃ and CH ₃)	•			
7143	1399.9	7163	1396	C-H methyl C-H, associated with branched aliphatic RC(CH ₃) ₃ or RCH (CH ₃) ₂	C-H (2νCH ₃ and CH ₃) combination	•			
5832	1714	5843	1711	C-H methyl C-H, iodine (CH ₃)	CH (2ν), CH ₂			•	
5731	1744.9	5735	1744	C-H methyl C-H, aromatic associated (Ar CH ₃)	C-H methy, aromatic (Ar CH ₃)		•		
5330	1876.2	5376	1860	C-Cl chlorinated organics (C-Cl group)	C-Cl (7ν), C-Cl				•
5091	1964	5090	1965	O-H and CH combination from methanol	O-H and C-H combination from CH ₃ OH	•			

R คือ Regression coefficient และ F1, F2, F3 คือ X-loading weight

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวจิราพร อ่อนมั่นคง
สัญชาติ ไทย
วัน เดือน ปีเกิด 25 เมษายน 2536
ที่อยู่ตามทะเบียนบ้าน 137/1 หมู่ 9 ตำบลบ้านนา อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร 86190
โทรศัพท์ 095-708-9409
E-mail jiraporm.1088@gmail.com
ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2557 จบการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ประวัติการทำงาน นักศึกษาฝึกงาน บริษัท พีทีทีแทงค์เทอร์มินัล จำกัด
ประสบการณ์และผลงานวิจัย -พ.ศ.2557 โครงการปริญญาโท เรื่อง เครื่องผลิตข้าวออก (GERMINATED UPLAND RICE PRODUCTION MACHINE)
-พ.ศ.2559 ส่งผลงานเข้าร่วมการประชุม The 17th TSAE National Conference and the 9th TSAE International Conference: TSAE 2016 เรื่อง Feasibility study of evaluation of ammonium laurate soap content in natural rubber latex by near infrared spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้