สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีช่วงคลื่นสั้น ในการตรวจสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพารา

SHORT WAVE NEAR INFRARED SPECTROSCOPY FOR DETERMINATION OF DRY RUBBER CONTENT AND TOTAL SOLIDS CONTENT OF PARA RUBBER LATEX

T121902

นายเมธี ดีพร้อมมิตร

นายวรเดช สุชัยบุญศิริ

นางสาววิภาศิริ เลิศศรี

1 พ.
ม7381ก
2554
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.121902
วัน,เดือน,ปี.26 ก.ค. 2555
b.12118493
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2554

หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีช่วงคลื่นสั้นในการตรวจสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพารา

ผู้จัดทำ

1. นายเมธี ดีพร้อมมิตร
2. นายวรเดช สุชัยบุญศิริ
3. นางสาววิภาศิริ เลิศศรี

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีช่วงคลื่นสั้นในการตรวจสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพารา

เมธี	ดีพร้อมมิตร	51011050
วรเดช	สุชัยบุญศิริ	51011118
วิภาศิริ	เลิศศรี	51011224
รศ. ดร. ปานมนัส	ศิริสมบูรณ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์งานทวี	รุจิระกำธรชัย	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลผลิตโดยไม่ทำลาย ซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาการใช้เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีช่วงคลื่นสั้น (700-1100 nm) ในการตรวจสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content; DRC, %) และ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids content; TSC, %) ในน้ำยางพาราสดและข้น โดยตรวจวัดสเปกตรัมของตัวอย่างน้ำยางพาราด้วยวิธีการส่องผ่าน (Transmission) ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ครั้ง จำนวน 282 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำยางสด 171 ตัวอย่าง น้ำยางข้น 86 ตัวอย่าง และน้ำยางข้นที่ทำการปรับระดับความเข้มข้น 5 ระดับ (55%, 50%, 45%, 40% และ 35%DRC) ระดับละ 5 ตัวอย่าง จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมแบบการดูดกลืนแสง (Absorbance spectra)ไปวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองทำนายค่าปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดด้วยวิธี Partial least square regression (PLSR) จากการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง การดูดกลืนแสงกับปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราสดและข้นที่พัฒนาจากสเปกตรัมที่ผ่านการจัดการทางคณิตศาสตร์โดยวิธี Smoothing, Normalization, Derivative, Baseline offset, Standard Normal Variate (SNV) หรือ Multiple Scatter Correction (MSC) พบว่า แบบจำลองในการทำนายปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราที่สร้างจากสเปกตรัมที่ผ่านการ Smoothing ร่วมกับ Range Normalization ให้การทำนายได้ดีและแม่นยำมากที่สุด ที่ช่วงความยาวคลื่น 700-950 nm โดยมีค่า Slope, Offset, Correlation coefficient (r), Standard error of prediction (SEP), และ Bias สำหรับการทำนายปริมาณเนื้อยางแห้ง คือ 1.0154, -0.6286, 0.9960, 1.190% และ 0.0322% ตามลำดับ และสำหรับการทำนายค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด คือ 1.0084, -0.2332, 0.9940, 1.3611% และ 0.1456% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHORT WAVE NEAR INFRARED SPECTROSCOPY FOR DETERMINATION OF DRY RUBBER CONTENT AND TOTAL SOLIDS CONTENT OF PARA RUBBER LATEX

Metee	Deeprommit	
Woradet	Suchaiboonsiri	
Wipasiri	Lertsri	
Assoc. Prof. Dr. Panmanas	Sirisomboon	Advisor
Mr. Ngantawee	Rujirakamtornchai	Co-advisor

Abstract

Near infrared (NIR) spectroscopy is a non-destructive technique for quality evaluation. The objective of this research was to apply the technique in the short wave NIR (700-1100 nm) in evaluation of dry rubber content (DRC, %) and total solids content (TSC, %) in field and concentrated latex. The spectrum was obtained by transmission mode through the sample with two replicates for a sample. There were 5 scans per replicate. There were 282 samples including field latex, concentrated latex and concentration adjusted concentrated latex of 171, 86 and 25 samples, respectively. The concentration adjusted concentrated latex was in 5 levels which was 55%, 50%, 45%, 40% and 35%DRC (5 samples per level). The calibration models were developed by original and pretreated absorbance spectra using partial least square regression (PLSR). The pretreatment methods were smoothing, normalization, derivative, baseline offset, standard normal variate (SNV) or multiple scatter correction (MSC). By statistical analysis, the model developed from smoothing and range normalization pretreated spectra in the wavelength range of 700-950 nm provided the best accuracy of prediction. The slope, offset, correlation coefficient (r), standard error of prediction (SEP) and bias were 1.0154, -0.6286, 0.9960, 1.190% and 0.0322%, respectively for the prediction of dry rubber content and 1.0084, -0.2332, 0.9940, 1.3611% and 0.1456%, respectively for the prediction of total solids content.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงงานฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ คอปอร์เรชั่น(ประเทศไทย) จำกัด(หมาชน) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูลของน้ำยางพารา, บริษัท เอ็นวาย กรุ๊ป ที่อนุเคราะห์ให้ตัวอย่างน้ำยางพาราข้นบางส่วน

รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาด้านวิชาการและการจัดทำโครงงาน รวมทั้งอาจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการทำโครงงานมาโดยตลอด

เพื่อนๆ รุ่น 26 K หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ คนที่คอยให้คำแนะนำและให้กำลังใจในการทำโครงงาน

คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านที่ได้ให้สนับสนุนการทำงาน และให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำเสมอมา กระทั่งการศึกษาค้นคว้าโครงงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านที่ได้กล่าวนามมา และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นายเมธี ดีพร้อมมิตร
นายวรเดช สุชัยบุญศิริ
นางสาววิภาศิริ เลิศศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....ช

สารบัญรูป.....ฌ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....1

1.3 ขอบเขตการศึกษา.....1

1.4 แผนการดำเนินงาน.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับยางพารา.....3

2.1.1 ยางพารา (Para Rubber).....3

2.1.2 น้ำยางสด.....4

2.1.2.1 การรักษาสภาพน้ำยางพาราสด.....5

2.1.3 น้ำยางข้น.....5

2.1.3.1 การผลิตน้ำยางข้น.....5

2.1.3.2 ชนิดของน้ำยางข้น.....5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.1.3.3 การรักษาสภาพน้ำยางข้น....6

2.1.4 องค์ประกอบของน้ำยางพาราข้นและสด....6

2.1.5 การทดสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง(Determination of Dry Rubber Content, %DRC)....7

2.1.6 การทดสอบหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Determination of Total Solids Content, % TSC)....10

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ NIR (Near-infrared) Spectroscopy....12

2.2.1 หลักการพื้นฐานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (NIR Spectroscopy)..13

2.2.2 ช่วงคลื่นอินฟราเรด....14

2.2.3 ส่วนประกอบและวิธีใช้งาน NIR SPECTROMETER....14

2.2.4 การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์....16

2.2.4.1 Smoothing....16

2.2.4.2 Multiple Scatter Correction (MSC): แบบ Full MSC....16

2.2.4.3 Standard Normal Variate (SNV)....16

2.2.4.4 Derivative....17

2.2.4.5 Normalization....17

2.2.4.6 Baseline offset....18

2.2.5 การสร้างสมการ Calibration....18

2.2.5.1 Principal Components Analysis (PCA)....18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.5.2 Patial Least Square (PLS).....18

2.2.6 สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของแบบจำลองการทำนาย.....19

2.2.6.1 ค่าเฉลี่ย (Mean).....19

2.2.6.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD).....19

2.2.6.3 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias).....19

2.2.6.4 สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, r).....19

2.2.6.5 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (Standard error of calibration, SEC).....20

2.2.6.6 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (Standard error of prediction, SEP).....20

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....20

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....23

3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....23

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....24

3.2.1 Portable near infrared spectrophotometer.....24

3.2.2 คิวเวต (Quartz).....25

3.2.3 อุปกรณ์อื่นๆ.....26

3.3 การวัดปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) และปริมาณเนื้อยางแห้ง (% TSC).....26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.1 วิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) ของน้ำยางพาราสด.....26

3.3.2 วิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) ของน้ำยางพาราข้น.....27

3.3.3 วิธีการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC) ของน้ำยางพาราสด 27

3.3.4 วิธีการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC) ของน้ำยางพาราข้น.....28

3.4 การปรับระดับความเข้มข้นของน้ำยางข้น.....29

3.5 การวัดสเปกตรัมของน้ำยางพาราสดและข้น.....29

3.6 การวัดสเปกตรัมของเนื้อยางแห้ง(บริสุทธิ์).....30

3.7 การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองในการทำนายค่า.....31

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....32

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....38

เอกสารอ้างอิง.....39

ภาคผนวก.....41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน.....2

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบโดยประมาณของน้ำยางพาราสด.....4

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของน้ำยางพาราสดและข้น.....7

ตารางที่ 2.3 การแปลความหมายของค่า r.....19

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างน้ำยางสดและข้น.....36

ตารางที่ 4.2 ผลของการทำ PLS regression สำหรับปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) ของน้ำยางสดและน้ำยาง.....36

ตารางที่ 4.3 ผลของการทำ PLS regression สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC) ของน้ำยางสดและน้ำยางข้น.....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ....4

รูปที่ 2.2 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ....13

รูปที่ 2.3 การเกิด overtone band....14

รูปที่ 2.4 Light source และ Detector....15

รูปที่ 2.5 แผนภาพลำดับการเชื่อมต่อเครื่อง NIR....15

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างน้ำยางพาราข้นและสด....23

รูปที่ 3.2 สายไฟเบอร์ออปติค (Fiber Optic)....24

รูปที่ 3.3 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ NIR SPECTROMETER....25

รูปที่ 3.4 คิวเวต (Quartz)....25

รูปที่ 3.5 Teflon (รูปตัว T) หนา 10 mm....26

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างยางพาราหลังจากอบแห้ง....28

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการบันทึกค่า Absorbance....30

รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของการดูดกลืนคลื่นเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นของเนื้อยางพาราแห้ง....33

รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของการดูดกลืนคลื่นเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นของน้ำยางสดและน้ำยางข้น....33

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงด้วยวิธีมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงด้วยวิธีมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี.....34

รูปที่ 4.5 ค่า Regression coefficient ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของแบบจำลอง เพื่อวัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา.....35

รูปที่ 4.6 ค่า Regression coefficient ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของแบบจำลอง เพื่อวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพารา.....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย และเป็นพืชที่สร้างมูลค่าสูงเป็นอันดับต้นๆ ให้แก่ประเทศ ในปัจจุบันราคาของยางพารามีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการซื้อขายยางพาราทั้งในรูปแบบยางแผ่นและน้ำยางสด โรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตจึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของยางพาราก่อนการกำหนดราคาซึ่ง การตรวจสอบโดยทั่วไปนั้น ต้องทำการนำตัวอย่างยางพาราไปทำการวัดค่าต่างๆ เช่น ปริมาณแมงกานีส (Manganese Content), กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid), ปริมาณทองแดง (Copper Content), ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ความคงตัวเชิงกล (Mechanical Stability) ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา (Dry rubber content), ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) เป็นต้น[1] ซึ่งปริมาณเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งสำคัญในการตัดสินใจในการกำหนดราคาซื้อขายน้ำยางพาราระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย ซึ่งจะต้องนำตัวอย่างน้ำยางเข้าไปทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งต้องใช้เวลาในการทดสอบและรอผลเป็นเวลาหลายวันดังนั้นเราจึงสนใจที่จะนำเทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (NIR Spectroscopy) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) ในน้ำยางพาราสดและข้นให้มีความถูกต้องแม่นยำและช่วยลดระยะเวลาในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางพาราให้น้อยลง ซึ่งปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) ในน้ำยางพารานี้ เป็นสิ่งที่นำมาใช้ในการกำหนดราคาซื้อขายของน้ำยาง**พารา**

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบว่าเทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (NIR Spectroscopy) ในช่วงคลื่นสั้น (700-1100 nm) สามารถตรวจสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) ในน้ำยางพาราสดและข้น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาการทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids content) ในน้ำยางพาราสดและข้น โดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (NIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spectroscopy) โดยจะทำการตรวจสอบโดยวิธี การส่องผ่านของแสง (Transmittance) ใช้ความยาวคลื่นที่ช่วง 350-1100 nm

1.4 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี/เดือน									
	พ.ศ. 2554							พ.ศ. 2555		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.หาข้อมูล	←	—	—	—	—	—	—	—	—	→
2.เตรียมเครื่องมือ/วัสดุอุปกรณ์		↔								
3.วางแผนการทดลอง และทดลองเบื้องต้น			↔							
4.ทำการทดลองจริงที่โรงงาน				↔	—	—	—	→		
5.วิเคราะห์ผลการทดลอง/สร้างแบบจำลอง								↔		
6.สรุปผลการทดลอง/เขียนรายงาน									↔	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

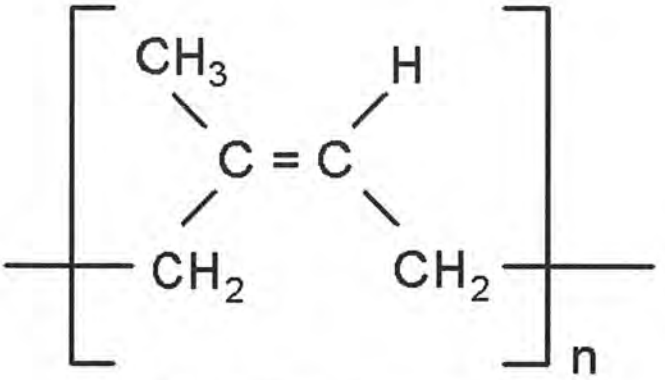
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับยางพารา

2.1.1 ยางพารา (Para Rubber) [2 อ้างจาก 16]

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่มีอายุยืนยาวหลายสิบปี เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ อยู่ใน Family Euphorbiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* มีถิ่นกำเนิดมาจากแถบประเทศลาติน อเมริกาองค์การสากลระหว่างประเทศได้ยอมรับคำว่า "ยางพารา" (Para Rubber) เป็นตัวแทนของยางธรรมชาติ เนื่องจากร้อยละ 99 ของยางธรรมชาติที่ปลูกเป็นพืชชนิดนี้[3 อ้างจาก 16] ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบในกลุ่มโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียว มีสมบัติที่สำคัญ คือ ความยืดหยุ่น โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดนเจน 8 อะตอม (C_5H_8) มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (isoprene) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะเรียงตัวในแบบ cis-1, 4-polyisoprene ดังรูปที่ 2.1 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืดจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาดและความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง

ลักษณะเด่นอีกอย่างคือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ
ที่มา : [2 อ้างจาก 16]

2.1.2 น้ำยางสด[4 อ้างจาก 16]

น้ำยางสด (Latex) คือน้ำยางที่ได้จากการกรีด (Tapping) ออกมาจากต้นยางใหม่ๆ มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีมโดยมีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ อนุภาคยางมีรูปร่างกลม มีขนาดประมาณ 0.05-5 ไมครอน ความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.5-7.0 ซึ่งในน้ำยางสดนี้จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังต่อไปนี้

- ส่วนที่เป็นน้ำ (Watery) ส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลาง ของ Colliods มีอยู่ประมาณ 64 % ของน้ำยางบริสุทธิ์
- ส่วนที่เป็นของแข็งแต่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber solids) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า ซีรัม, ลูทอยด์กับสารอื่นๆ มีทั้งที่อยู่ในรูปของสารละลายและสารแขวนลอย
- ส่วนที่เป็นยาง (Rubber Hydrocarbon) คือส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งจะมีอยู่ในน้ำยางในปริมาณที่ไม่แน่นอน มีตั้งแต่ 22 % จนถึง 48 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุ ระบบการกรีดและฤดูกาล

ส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำยางสดเหล่านี้จะมีสัดส่วนโดยประมาณดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบโดยประมาณของน้ำยางพาราสด

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36
- เนื้อยางแห้ง	33
- สารกลุ่มโปรตีน	1-1.2
- สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต	1
- เถ้า	≤ 1
น้ำ	64

ที่มา : [5 อ้างจาก 16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 การรักษาสภาพน้ำยางพาราสด[6]

โดยปกติน้ำยางจะเริ่มเสียสภาพหรือเริ่มบูดตั้งแต่น้ำยางถูกกรีดออกจากลำต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สารเพื่อรักษาสภาพให้น้ำยางคงความสดไว้ สารรักษาสภาพน้ำยาง จะประกอบด้วยน้ำแอมโมเนียและสารเคมีอื่น (TMTD/ZnO) แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวก็สามารถรักษาสภาพน้ำยางได้ เพราะสามารถทำลายแบคทีเรียและเพิ่มอนุมูลลบในน้ำยางแต่แอมโมเนียก็มีราคาสูงและการใช้ในปริมาณที่มากๆ ทำให้เกิดการคละคลุ้งจึงอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสภาวะแวดล้อม จึงนิยมใช้แอมโมเนียรวมกับสารอื่นเพื่อความประหยัดและลดมลภาวะ ซึ่งส่วนผสมของสารรักษาสภาพน้ำยางสดนั้นจะประกอบไปด้วย

- แอมโมเนียเข้มข้น(90%) เจือจางในน้ำให้ได้น้ำแอมโมเนียเข้มข้น 15% นน./นน.
- เตรียมสารผสมของสารเคมีโดยมีส่วนประกอบของ

TMTD	12.5	ส่วน
ZnO	12.5	ส่วน
Vultamal	0.025	ส่วน

- เติมน้ำให้ครบ 100 ส่วน นำส่วนผสมทั้งหมดปั่นด้วยหม้อปั่น (Ballmill) ประมาณ 24 ชม. จะได้สารละลายแขวนลอยสีขาว เรียกว่า “ยาขาว”
- นำน้ำยางสด 2,000 กก.ใช้น้ำแอมโมเนียเข้มข้น 15% จำนวน 45 กก. ผสมกับยาขาว 2 กก. สามารถรักษาสภาพได้นาน 5-7 วัน

2.1.3 น้ำยางข้น[7]

2.1.3.1 การผลิตน้ำยางข้น ทำได้ 3 วิธี คือ

1. การให้ความร้อนเพื่อให้ส่วนที่เป็นน้ำระเหยออกไปเรียกว่า (Evaporation Method) น้ำยางข้นที่ได้เรียก Evaporation Latex
2. การเติมสาร (Creaming Agents) ลงไปเพื่อทำให้อนุภาคยางโตขึ้นและหยุดการ เคลื่อนที่เรียกว่าCreaming Method และน้ำยางที่ได้เรียก Creamed Latex
3. การแยกเอาส่วนที่ไม่ใช่ยางซึ่งมีทั้งส่วนที่เป็นน้ำและส่วนที่เป็นของแข็ง (Non-Rubber solid) ออกจากส่วนที่เป็นยางโดยใช้แรงเหวี่ยง (Centrifuging Force) น้ำยางที่ได้เรียก Centrifuged Latex วิธีนี้นิยมกันมากเพราะทำได้เร็วและน้ำยางข้นที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นด้วย

2.1.3.2 ชนิดของน้ำยางข้น

น้ำยางข้นที่ผลิตในประเทศไทย เป็นน้ำยางข้นจากกรรมวิธีการใช้เครื่องปั่น (centrifuge-concentrated latex) ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia, HA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชนิดแอมโมเนีย 0.7 % ร่วมกับกรดลอริค 0.035 %

-น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียกลาง (Medium Ammonia, MA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชนิดแอมโมเนีย 0.48-0.60 %

-น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia, LA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชนิด แอมโมเนีย 0.2 % ร่วมกับทีเอ็มทีดี 0.013 % ร่วมกับ ซิงค์ออกไซด์ 0.013 % ร่วมกับกรดลอริค 0.035 %

2.1.3.3 การรักษาสภาพน้ำยางข้น [3 อ้างจาก 16]

การรักษาสภาพน้ำยางข้นในปัจจุบันมี 5 ระบบ คือ

-น้ำยางข้นแอมโมเนียสูง ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.7

-น้ำยางข้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับสารละลายโซเดียมเพนตะคลอโรฟีเนต ปริมาณร้อยละ 0.2

-น้ำยางข้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับสารละลายกรดบอริคปริมาณร้อยละ 0.24

-น้ำยางข้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมซิงค์ไดเธิลไดไฮโอคาร์บาเมท ปริมาณร้อยละ 0.2

-น้ำยางข้นแอมโมเนียต่ำ ใช้สารละลายแอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับเตทตระเมทธิลไธยูแรมไดซัลไฟด์ ปริมาณร้อยละ 0.013 และซิงค์ออกไซด์ ปริมาณร้อยละ 0.013

2.1.4 องค์ประกอบของน้ำยางพาราข้นและสด

ในน้ำยางพาราสดและข้นนั้นประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆดังแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของน้ำยางพาราสดและข้น[7]

องค์ประกอบ	**น้ำยางสด** (Field Latex) 100 g	**น้ำยางข้น** (Concentrated Latex) 50 g	**หางน้ำยาง** (Skim Latex) 50 g
DRC	32.5 g	30 g 60%	2.5 g 5.0%
TSC	36.0 g	30.75 g 61.50%	5.25 g 10.50%
TSC-DRC	3.5 g	0.75 g 1.5%	2.75 g 5.50%
VFA No	0.10	0.060	0.040
Mg++	200 ppm on Latex	120 ppm	80 ppm
Serum	64 g	19.25 g 38.50%	44.75 g 89.50%
รวม	100 g	50 g 100%	50 g 100 %

2.1.5 การทดสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง (Determination of Dry Rubber Content, %DRC)[8]

1. หลักการ

เจือจางน้ำยางด้วยน้ำกลั่น จับตัวน้ำยางทดสอบด้วยกรดอะซีติก รีดเป็นแผ่น และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ± 5 °C หรือจนกระทั่งแผ่นยางใสทั่วทั้งแผ่นไม่มีจุดขาว

2. สารเคมี

ใช้เฉพาะสารเคมีชนิดคุณภาพวิเคราะห์ และน้ำกลั่นหรือน้ำบริสุทธิ์เทียบเท่าน้ำกลั่น

2.1 สารละลายกรดอะซีติกในน้ำ ความเข้มข้น 20 g / dm^3 (สำหรับทดสอบน้ำยางข้น)

2.2 เอทธานอล ความเข้มข้น 95 % (v/v)

3. เครื่องมือ/อุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์พื้นฐานในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 จานแก้วก้นแบนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 mm ลึก 50 mm หรือขนาดใกล้เคียง

3.3 ตู้อบลมร้อน สามารถให้ความร้อนคงที่อุณหภูมิ 70 °C ± 5 °C

3.4 เครื่องชั่งแบบวิเคราะห์อ่านได้ละเอียด 4 ตำแหน่ง (ชั่งได้ละเอียด 0.0001 g)

3.5 อ่างไอน้ำ

3.6 เครื่องรีดยาง

3.7 ตัววัดความหนาของแผ่นยาง (ผลิตใช้เอง)

4. วิธีการ [9]

4.1 เทน้ำยางตัวอย่างใส่บีกเกอร์ชั่งน้ำหนักประมาณ 50 g ปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ชั่งน้ำหนักครั้งที่ 1 ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผลลงในแบบฟอร์ม

4.2 เทตัวอย่างทดสอบจากบีกเกอร์ตัวอย่างลงในจานแก้วให้ได้น้ำหนัก 10 g ± 1 g บันทึกค่าให้มีความละเอียด 0.0001 g

4.3 ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ตัวอย่าง ครั้งที่ 2 มีหน่วยเป็น g

4.4 น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ คือผลต่างระหว่างการชั่งน้ำหนักของบีกเกอร์ตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีหน่วยเป็น g

4.5 เจือจางตัวอย่างทดสอบด้วยน้ำกลั่นหรือน้ำบริสุทธิ์เทียบเท่าน้ำกลั่น จำนวนประมาณ 21 cm^3 โดยใช้กระบอกตวงขนาด 25 cm^3 โดยเทน้ำจากด้านในของขอบจานแล้วหมุนจานช้าๆ อย่างระมัดระวัง เพื่อให้น้ำกับตัวอย่างทดสอบเป็นเนื้อเดียวกัน

4.6 ตวงสารละลายกรดอะซิติก 20 g/dm^3 จำนวน 35 ± 5 cm^3 ด้วยกระบอกตวงขนาด 50 cm^3 เทกรดใส่กระบอกฉีดกรด แล้วฉีดเบาๆบนผิวหน้าของน้ำยางจนสังเกตเห็นว่าน้ำยางจับตัวกันหมด ถ้ามีปัญหาเรื่องการจับตัวให้ใช้แท่งแก้วคนกดเบาๆ ที่ผิวหน้าของยาง ปิดปากจานด้วยจานแก้ว นำไปวางบนอ่างไอน้ำ ที่อุณหภูมิไม่เกิน 90 °C เป็นระยะเวลา 15-30 นาที หรือจนกว่าให้น้ำเซรุ่มใส ถ้าไม่ใสให้เติมเอทธานอล 95 % จำนวน 5 cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 เมื่อเซรุ่มใสให้รวบรวมยางที่จับตัวทั้งหมดเข้าด้วยกันแล้วล้างด้วยน้ำ 3-4 ครั้ง

4.8 นำก้อนยางไปรีดด้วยเครื่องรีดยาง 2 ลูกกลิ้ง เพื่อไล่น้ำออกให้ได้แผ่นยางที่มีความหนาสม่ำเสมอไม่เกิน 2 mm (วัดความหนาด้วยตัววัดความหนาของแผ่นยาง)

4.9 ล้างแผ่นยางจนน้ำที่ล้างไม่มีความเป็นกรด โดยทำการทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินแล้วกระดาษลิตมัสเปลี่ยนสี ทำให้ยางสะเด็ดน้ำแล้วนำเข้าเตาอบ

4.10 อบแผ่นยางที่อุณหภูมิประมาณ 70 °C ± 5 °C จนกระทั่งไม่มีจุดขาว (ประมาณ 16 ชั่วโมง)

4.11 ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นระยะเวลาประมาณ 30 นาที ชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล

4.12 ทำซ้ำตามข้อ (4.10) โดยใช้เวลาอบประมาณ 30 นาที และข้อ (4.11) จนน้ำหนักที่บันทึกสองครั้งแรกแตกต่างกันไม่เกิน 0.001 g

4.13 ทำการทดสอบซ้ำ 2 ต่อหนึ่งตัวอย่าง

** หมายเหตุ : ถ้าแผ่นยางหลังอบเหนียวเยิ้ม ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ให้ทดสอบใหม่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70 °C

5. การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเนื้อยางแห้ง (\% DRC)} = \frac{m_1}{m_0} \times 100$$

เมื่อ m_0 = น้ำหนักตัวอย่างทดสอบก่อนอบ หน่วยเป็น g โดยใช้ผลต่างของน้ำหนักบีกเกอร์ (W_1) และน้ำหนักน้ำยางพารา (W_2) ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ($W_1 - W_2$)

m_1 = น้ำหนักของแผ่นยางแห้ง (หลังอบ) หน่วยเป็น g

6. การควบคุมคุณภาพของการทดสอบ

6.1 ผลการทดสอบซ้ำ (Duplicate) ต้องแตกต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.1 % (m/m) ถ้าเกินให้ทำการทดสอบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การคำนวณผลต่างของการทดสอบซ้ำ (Duplicate)

$$\text{ผลต่างของการทดสอบซ้ำ (Duplicate)} = \frac{(\text{ค่ามาก} - \text{ค่าเฉลี่ย})}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100$$

7. การประมาณค่าความไม่แน่นอนของผลการทดสอบ[10]

7.1 ดำเนินตาม QCW-69 (เอกสารประจำห้องปฏิบัติการของบริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเท็กซ์ คอปอร์เรชั่น จำกัด) แล้วบันทึกรายละเอียดลงในแบบฟอร์ม

7.2 บันทึกการคำนวณการประมาณค่าความไม่แน่นอนของผลการทดสอบลงในแบบฟอร์ม

8. การรายงานผลการทดสอบ

8.1 รายงานโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการทดสอบจากการทดสอบซ้ำ (Duplicate) เป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง

8.2 ดำเนินการตาม QCP-10-02 (เอกสารประจำห้องปฏิบัติการของบริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเท็กซ์ คอปอร์เรชั่น จำกัด) (Thai Rubber Latex, 2011)

2.1.6 การทดสอบหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Determination of Total Solids Content, % TSC)[11]

1. หลักการ

นำน้ำยางที่เป็นตัวอย่างทดสอบไปอบให้แห้ง ภายใต้ความดันบรรยากาศและเงื่อนไขอื่นที่กำหนดจนน้ำหนักคงที่ และหาปริมาณของแข็งทั้งหมด โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างทดสอบก่อนและหลังอบ

2.เครื่องมือ/อุปกรณ์

ใช้อุปกรณ์พื้นฐานในห้องปฏิบัติการรวมทั้งเครื่องมือต่อไปนี้

2.1 จานแก้วก้นแบน (Flat-bottomed dishes) เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 mm หรือขนาดใกล้เคียงกัน ที่แห้งและสะอาด

2.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air-oven) ที่สามารถให้ความร้อนคงที่ 70 °C ± 2 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เครื่องชั่งแบบวิเคราะห์ (Analytical balance) ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3. วิธีการ[9]

3.1 ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของจานแก้ว ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.2 เทน้ำยางลงในจานแก้วประมาณ 2.0 g ± 0.5 g ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

3.3 เอียงจานแก้วแล้วหมุนช้าๆ เพื่อให้น้ำยางแผ่กระจายทั่วก้นจานแก้ว อาจเติมน้ำกลั่นหรือน้ำบริสุทธิ์เทียบเท่าน้ำกลั่นประมาณ 1 cm^3 ลงในน้ำยางในจานแก้วก่อน ถ้าน้ำยางข้นมากๆ

3.4 นำจานแก้วไปอบในตู้อบโดยให้จานแก้วอยู่ในระนาบและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 ℃ ± 2 ℃ เป็นเวลาประมาณ 16 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งแผ่นยางใสทั่วทั้งแผ่น

3.5 นำจานแก้วออกจากตู้อบ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนัก

3.6 ให้นำจานแก้วในข้อ 3.5 อบต่ออีก 30 นาที แล้วทำซ้ำข้อที่ 3.5

3.7 ทำซ้ำข้อ 3.6 จนน้ำหนักที่บันทึกสองครั้งหลังแตกต่างกันไม่เกิน 0.0005 g ยึดค่าน้ำหนักที่ชั่งครั้งสุดท้ายเป็นน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณผลการทดสอบ

3.8 เมื่อทำการทดสอบเสร็จให้ลอกแผ่นยางออกจากจานแก้ว แล้วล้างจานแก้วให้สะอาด โดยใช้น้ำยาล้างอุปกรณ์ อบให้แห้งในตู้อบอุปกรณ์

** หมายเหตุ : ในกรณีที่แผ่นยางเหนียวเยิ้ม ซึ่งอาจมีสาเหตุจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ให้ทำการทดสอบใหม่

4. การคำนวณ

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (\% TSC)} = \frac{m_1}{m_0} \times 100$$

เมื่อ m_0 = น้ำหนักตัวอย่างทดสอบก่อนอบ หน่วยเป็น g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m_1= น้ำหนักตัวอย่างทดสอบหลังอบ หน่วยเป็น g = (น้ำหนักยางแห้ง+น้ำหนักจานเปล่า)-น้ำหนักจานเปล่า

5. การควบคุมคุณภาพของผลการทดสอบ

5.1 ผลการทดสอบซ้ำ (Duplicate) ต้องแตกต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.2 % (m/m) ถ้าเกินให้ทำการทดสอบใหม่

5.2 การคำนวณผลต่างของการทดสอบซ้ำ (Duplicate)

$$\text{ผลต่างของการทดสอบซ้ำ (Duplicate)} = \frac{(\text{ค่ามาก} - \text{ค่าเฉลี่ย})}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100$$

6. การประมาณค่าความไม่แน่นอนของผลการทดสอบ[10]

6.1 ดำเนินตาม QCW-69 (เอกสารประจำห้องปฏิบัติการของบริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเท็กซ์ คอปอร์เรชั่น จำกัด) แล้วบันทึกรายละเอียดลงในแบบฟอร์ม

6.2 บันทึกการคำนวณการประมาณค่าความไม่แน่นอนของผลการทดสอบลงในแบบฟอร์ม

7. การรายงานผลการทดสอบ

7.1 รายงานโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการทดสอบจากการทดสอบซ้ำ (Duplicate) เป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง

7.2 ดำเนินการตาม QCP-10-02 (เอกสารประจำห้องปฏิบัติการของบริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเท็กซ์ คอปอร์เรชั่น จำกัด) (Thai Rubber Latex, 2011)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ NIR (Near-infrared) Spectroscopy

NIR (Near-infrared) Spectroscopy ได้ถูกนำมาใช้งานในช่วงปลายของทศวรรษ 1970 เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400-2500 นาโนเมตร NIR Spectroscopy เป็นวิธีการที่ให้ผลที่ดีและรวดเร็ว ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบไปจนถึงการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะด้านอาหารและยา ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการ

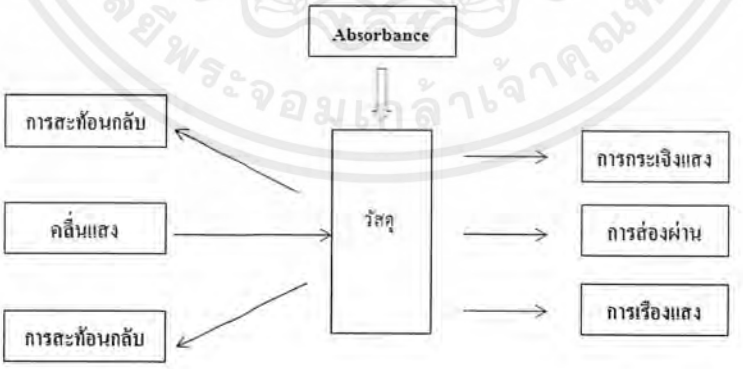
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำแนกองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของตัวอย่างทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้เป็นอย่างดี[12 อ้างจาก 16]

2.2.1 หลักการพื้นฐานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (NIR Spectroscopy)[13 อ้างจาก 16]

NIR Spectroscopy เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายเนื้อวัสดุหรือตัวอย่าง โดยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยตัวอย่าง ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ผลดีและรวดเร็วหลักการของสเปกโตรสโครสปี คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ จะมีแสงบางส่วนที่จะถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (fluorescence or phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

ส่วนที่มีการดูดกลืนช่วงแสง near infrared ทำให้เกิดการสั่นในโมเลกุลใน functional groups ต่างๆ 2 ลักษณะคือ การยืดหด และการเปลี่ยนมุม ซึ่งการสั่นของพันธะต่างๆ จะเกิดที่ความยาวคลื่นแตกต่างกันดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสี near infrared ที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะภายในโมเลกุลก็จะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีเอาไว้ทำให้เกิดพลังงานเพิ่มขึ้นจากสภาวะปกติ (ground vibration level) ไปเป็นสภาวะกระตุ้น (excited vibration) และเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะปกติจะเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปความร้อน และปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (Absorbance) ตามกฎของ เบียร์-แลมเบิร์ต



รูปที่ 2.2 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่างๆ

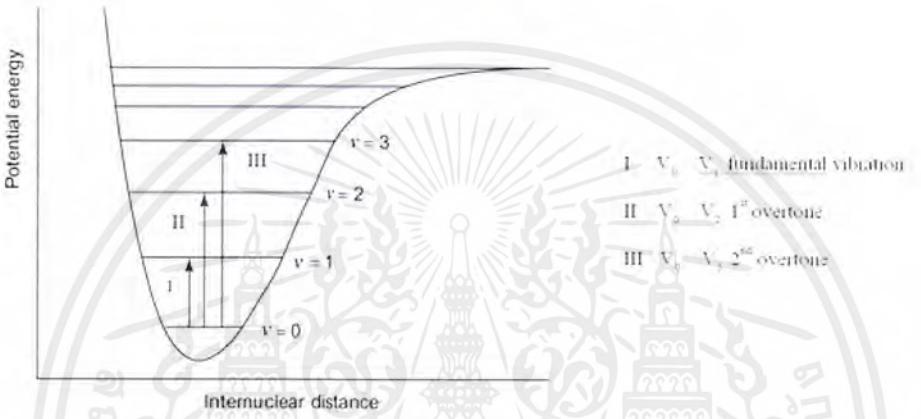
ที่มา : [13 อ้างจาก 16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ช่วงคลื่นอินฟราเรด [14 อ้างจาก 16]

ช่วงของคลื่นอินฟราเรด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงดังนี้

1. อินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared) มีความยาวคลื่นในช่วง 780-2,500 nm การดูดกลืนแสงช่วงนี้เกิดการ Overtone (รูปที่ 2.1) ซึ่งเกิดการแทรนซิชันในตำแหน่งที่มีเลขคลื่นเป็น 2 เท่า หรือ 3 เท่าของเลขคลื่นที่มีการสั่นแบบพื้นฐานและมีความเข้มต่ำ



รูปที่ 2.3 การเกิด overtone band

ที่มา : [13 อ้างจาก 16]

2.อินฟราเรดย่านกลาง (middle infrared) มีความยาวคลื่นในช่วง 2,500-50,000 nm สเปกตรัมที่อ่านได้จะค่อนข้างยุ่งยาก เพราะโครงสร้างของโมเลกุลที่สมบูรณ์ การวิเคราะห์จึงต้องใช้วิธีเปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่ทราบโครงสร้างแล้ว

3.อินฟราเรดย่านไกล (far infrared) มีความยาวคลื่นในช่วง 50,000-1,000,000 nm ช่วงนี้จะไม่ค่อยได้ใช้ในการวิเคราะห์เพราะสเปกตรัมไม่ได้เกิดจากการสั่นหรือหมุนของโมเลกุล

2.2.3 ส่วนประกอบและวิธีใช้งาน NIR SPECTROMETER

ส่วนประกอบของเครื่อง Near-Infrared Spectroscopyมีลักษณะการจัดการที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ในการออกแบบและความต้องการการใช้งาน ซึ่งมีส่วนประกอบที่หลัก คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เครื่องกำเนิดแสง (Light Source) ดังแสดงในรูปที่ 2.4
2. เครื่องวัดแสง (Detector) ดังแสดงในรูปที่ 2.4
3. เครื่องบันทึกผล (computer)

ซึ่งในการติดตั้งและเชื่อมต่อเชื่อมต่อของเครื่อง Near-Infrared Spectroscopy สามารถทำได้ดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.4 Light source และ Detector

รูปที่ 2.5 แผนภาพลำดับการเชื่อมต่อของเครื่อง Near-Infrared Spectroscopy

เครื่องกำเนิดแสง (Light Source) ที่ใช้กันทั่วไปนั้นเป็นของแข็งที่เฉื่อย ซึ่งสามารถเผาให้ร้อนด้วยไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้แสงมีความเข้มสูงที่สุดที่ความถี่ตามที่ต้องการ ปัจจุบันแหล่งกำเนิดแสง NIR ที่ใช้กันอยู่ คือ Quartz Tungsten-Halogen monofilament lamp[15]

เครื่องวัดแสง (Detector) เครื่องวัดแสงที่ใช้อาศัยหลักการทาง Photoconductive effect ซึ่งเกิดขึ้นเช่นเดียวกับสารกึ่งตัวนำ เป็นแบบ Photon Detector ซึ่งมี CCD ขนาดอาร์เรย์ Linear, 2048 พิกเซล) ซึ่งถ้าช่วงคลื่นต่างกัน Detector ก็จะใช้คนละตัวกัน[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบันทึกผล (computer) ใช้โปรแกรม Avasoft ในการเก็บข้อมูลสเปกตรัมของน้ำยางพารา

2.2.4 การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์

2.2.4.1 Smoothing

การหาค่าเฉลี่ยโดยการสร้างสมการ Polynomial สำหรับจุดต่างๆ ในสเปกตรัม แล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วง โดยใช้สมการที่สร้างขึ้น

2.2.4.2 Multiple Scatter Correction (MSC): แบบ Full MSC

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

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

เมื่อ X คือ ค่าจุดใหม่

x คือ ค่าจุดเดิม

a คือ ค่าคงที่ ที่ใช้แก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัม

b คือ ค่าคงที่ ที่ใช้แก้ปัญหามุมเอียงที่ไม่เท่ากันของสเปกตรัม

2.2.4.3 Standard Normal Variate (SNV)

เป็นวิธีการกำจัดผลของการกระเจิงของแสง (Scatter effect) เหมือนวิธี MSC โดยใช้สมการ โดยแต่ละค่าในแถวของข้อมูลจะถูกแปลงดังสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ X คือ ค่าจุดใหม่

x คือ ค่าจุดเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ย

SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.2.4.4 Derivative

เป็นการแก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัมด้วยปัจจัยทางกายภาพ เป็นการหาสเปกตรัมใหม่จากการหา Slope ของสเปกตรัมเดิม

1st Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 1

2nd Derivative คือการหา Slope ครั้งที่ 2

2.2.4.5 Normalization

คือการจัดการทางคณิตศาสตร์ด้วยค่าคงที่ ซึ่งมี 3 วิธี คือ

- Mean Normalization

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

- Max Normalization

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

- Range Normalization

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

เมื่อ x คือ ค่าตัวแปรที่ตำแหน่งใดๆ

i คือ หมายเลขตัวอย่าง

k คือ ความยาวคลื่น ณ ตำแหน่งนั้น

* คือ ความยาวคลื่นทุกๆ ความยาวคลื่นในสเปกตรัม

121902

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.6 Baseline offset

เป็นการแก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัม ซึ่งจะขยับสเปกตรัมให้เลื่อนมาอยู่ ณ จุดๆ หนึ่ง ซึ่งเป็นไปตามสมการดังนี้

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

เมื่อ x คือ ค่าของตัวแปรใดๆ ในสเปกตรัม

X คือ ค่าของตัวแปรทั้งหมดในสเปกตรัม

2.2.5 การสร้างสมการ Calibration [16]

2.2.5.1 Principal Components Analysis (PCA)

การทำ PCA เป็นวิธีการหนึ่งทางสถิติในการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว (Multivariate analysis) โดยใช้เทคนิคการลดจำนวนตัวแปรอิสระ การลดลงของจำนวนตัวแปรมีวิธีการคือ แบ่งกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน เพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่า factor หรือ องค์ประกอบ factor หรืออีกนัยหนึ่งก็คือผลรวมของค่าสเปกตรัมที่ทุกความยาวคลื่น ซึ่ง factor จะมีได้หลาย factor โดยแต่ละ factor นั้น จะแตกต่างกันที่น้ำหนักของแต่ละสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆ factor แรกจะถูกสร้างขึ้นมาให้อธิบายความแปรปรวนของค่าสเปกตรัมได้มากที่สุด factor ที่สองอธิบายความแปรปรวนที่เหลือซึ่งทำให้ factor แต่ละตัว แทบจะไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ เมื่อทำการหา factor เรียบร้อยแล้ว นำ factor ที่ได้มาทำ Regression กับค่าทางเคมีโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ทำให้ได้ค่า Calibration coefficient

2.2.5.2 Patial Least Square (PLS)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของแบบจำลองการทำนาย[16]

2.2.6.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)

ค่าเฉลี่ยเป็นค่าทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลที่ใช้อ้างอิง หรือข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่องวัดสเปกตรัม

2.2.6.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงถึงการเปลี่ยนแปลง หรือความแปรปรวนในข้อมูล

2.2.6.3 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias)

ค่า Bias หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าอ้างอิงและค่าที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี และเป็นการวัดความแม่นยำโดยรวมของ Calibration

2.2.6.4 สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, r)

ค่า r เป็นค่าที่แสดงระดับของข้อมูลสองเซตที่สอดคล้องซึ่งกันและกัน ความสอดคล้องที่สมบูรณ์จะไม่มีความแตกต่างกันเลยระหว่างข้อมูลสองเซต ซึ่งจะมีค่า r เท่ากับ 1.00

ตารางที่ 2.3 การแปลความหมายของค่า r

ค่าของ r	การแปลความหมาย
Up to +/-0.50	ไม่สามารถใช้ได้ในเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี
+/-0.51 – 0.70	เป็นความสัมพันธ์ที่แย่ ควรหาเหตุผล
+/-0.71 – 0.80	OK สำหรับการคัดเลือกแบบหยาบๆ
+/-0.81 – 0.90	OK สำหรับการคัดเลือกและการประมาณค่าอย่างหยาบๆ
+/-0.91 – 0.95	ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ รวมถึงการวิจัย
+/-0.96 – 0.98	ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการประกันคุณภาพ
+/-0.99	ดีเยี่ยม ใช้ได้กับทุกการประยุกต์ใช้

ที่มา : [17 อ้างจาก 16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6.5 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (Standard error of calibration, SEC)

SEC เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี และค่าอ้างอิงในเซตตัวอย่าง

2.2.6.6 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (Standard error of prediction, SEP)

SEP เป็นค่าที่แสดงสมรรถนะของการทำนาย ซึ่งเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี และค่าอ้างอิง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. รวิพันธ์ ชาวบ้านกร่าง, 2553[16] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับห้องปฏิบัติการในโรงงานด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยการใช้ความยาวคลื่นระหว่าง 1100-2500 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง FI-NIR Spectrometer ในการตรวจวัดสเปกตรัมของตัวอย่างน้ำยางสดและน้ำยางข้นชนิด Medium Ammonia ที่กรีดได้จากต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 จาก 7 ถังเก็บที่มีค่าความหนืดเริ่มต้นแตกต่างกัน และ 8 ระดับปริมาณเนื้อยางแห้งหรือปริมาณของแข็งทั้งหมด เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหล, วิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม นอกจากนี้ยังสร้างสมการทำนายสมบัติทางกายภาพ (ความหนืด) ของตัวอย่างน้ำยางสดและข้น ด้วยวิธี Partial least squares (PLS) จากการศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำยางข้นพบว่าน้ำยางข้นเป็นของไหลแบบ Non-Newtonian Fluid การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดขึ้นอยู่กับอัตราเฉือนหรือความเร็วในการกวน การสร้างสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความหนืดของน้ำยาง พบว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อการทำนายค่าความหนืดควรใช้แบบจำลองที่สร้างจากการรวมข้อมูลของทั้งน้ำยางสดและข้นเข้าด้วยกันซึ่งทำให้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น กล่าวคือ แบบจำลองสำหรับเครื่องวัดความหนืด Rotational Viscometerใน LVDV-E นั้นควรมาจากสเปกตรัมดั้งเดิมโดยมีค่า correlation coefficient (r) = 0.974, Standard error of prediction (SEP) = 8.6 cP และ Bias = -0.4 cP แบบจำลองสำหรับเครื่องวัดความหนืด Rotational Viscometer รุ่น LVT ควรมาจากการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นด้วยวิธี Standard Normal Variate (SNV) มีค่า r = 0.972 SEP = 9.3 cP และ 0.3 cPโดยรวมแล้วช่วงคลื่นที่มีอิทธิพลกับแบบจำลองมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งความยาวคลื่นที่ 1705 (CH_3), 1715 (CH_3), 2280 (CH_3), 2990 (amino acid), และ 2310 (CH_2) นาโนเมตร

2. พัลลภ ทองเนียม และคณะ 2544[15]ได้ทำการศึกษาเรื่อง การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดโดยวิธีการไม่ทำลายด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี จากการทดลองศึกษาพบว่า วิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ไม่สามารถแยกผลมังคุดที่มีลักษณะเป็นเนื้อแก้วออกจากเนื้อปกติได้แต่สามารถตรวจสอบความแน่นเนื้อของมังคุดที่แรง 30 N ด้วยค่า Hardness (r = 0.92, SEE = 0.879, SEP =1.013, Bias = 3.905E-15) และค่า Degree of Elasticity (r = 0.92, SEE = 0.077, SEP = 0.076, Bias = 3.706E-16) และยังพบว่ามังคุดจะไม่เกิดจุดคราก (Yield Point) ที่แรงกระทำไม่เกิน 10 N

3. วิศรุต บุญช่วย, 2553[18] ทำการศึกษาเรื่อง การตรวจสอบความหวานของแตงโมพร้อมบริโภคที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝนโดยไม่ทำลาย ด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ซึ่งเป็นการประเมินค่าความหวานของแตงโมพร้อมบริโภคที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝน 120 ตัวอย่างโดยใช้ ปืนเนียร์อินฟราเรด โดยใช้ช่วงความยาวคลื่น 702-1092 นาโนเมตร และใช้การวิเคราะห์แบบ Partial least square regression (PLS) ผลที่ได้พบว่าเทคนิคนี้สามารถทำนายค่าความหวานได้แม่นยำพอประมาณโดยมีค่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายได้กับค่าที่วัด (Correlation coefficient, R) เท่ากับ 0.85 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (Standard error of prediction, SEP) เท่ากับ 0.5 % Brix ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) เท่ากับ -0.1 % Brix และแบบจำลองในการทำนายที่ใช้ได้จากสเปกตรัมที่ผ่านการ Pretreatment แบบ Savitzky-Golay second differentiation ที่ derivative segment 10 nm. ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่เกี่ยวข้องในการประเมินค่าความหวาน (soluble solid) คือ 715, 910, และ 957 นาโนเมตร

4. อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และคณะ[19] ศึกษาเรื่อง การศึกษาเบื้องต้นในการใช้เทคนิค Near infrared Spectroscopy ประเมิน Brix ในน้ำส้ม โดยการประเมิน Brix ในน้ำส้มของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง พันธุ์ลายน้ำตาล และพันธุ์ฟรีมองต์ โดยใช้เทคนิค Near Infrared Reflectance Spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100 ถึง 2500 นาโนเมตร และวิเคราะห์หาสมการ Calibration ของค่า Brix ด้วยวิธี Multiple linear regression (MLR) พบว่าสมการ Calibration รวมที่เหมาะสมที่สุดที่สร้างจากส้มทั้ง 3 พันธุ์ ให้ค่า Multiple correlation coefficient (R) เท่ากับ 0.975 ค่า Standard error of calibration (SEC) เท่ากับ 0.543 เมื่อนำสมการ Calibration รวมมาทดสอบความแม่นยำในการประเมินค่า Brix ด้วยกลุ่มตัวอย่าง validation ของส้มในแต่ละสายพันธุ์ พบว่าสมการ Calibration รวมสามารถประเมินค่า Brix ของส้มพันธุ์ฟรีมองต์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า Standard error of prediction (SEP) เท่ากับ 0.329 และ Bias เท่ากับ -0.205 ส่วนพันธุ์ลายน้ำตาล และพันธุ์สายน้ำผึ้ง สามารถประเมินค่า Brix ได้แม่นยำด้วยสมการ Calibration เดี่ยวของส้มสายพันธุ์นั้นๆ ซึ่งมีค่า R = 0.937 SEC = 0.354 SEP = 0.358 และ Bias = -0.111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลอง ใช้ตัวอย่างน้ำยางพาราสดจำนวน 171 ตัวอย่าง, น้ำยางข้น 86 ตัวอย่าง, น้ำยางข้นปรับระดับความเข้มข้น 25 ตัวอย่าง แบ่งเป็นระดับความเข้มข้น 55 %, 50 %, 45 %, 40 %, 35 % ระดับความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทั้งหมด 282 ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างน้ำยางสดและน้ำยางข้นได้มาจากบริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเทกซ์ คอปอร์เรชั่น(ประเทศไทย) จำกัด(มหาชน) อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี และน้ำยางข้นบางส่วนได้มาจากบริษัท เอ็นวาย กรุ๊ป อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี ซึ่งการเก็บข้อมูลของตัวอย่างน้ำยางพาราสดและข้นที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองทำนายค่าปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพารานี้ จะไปทำการเก็บข้อมูลที่บริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเทกซ์ คอปอร์เรชั่น(ประเทศไทย) จำกัด(มหาชน) อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี ซึ่งเริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3-28 ตุลาคม พ.ศ. 2554 และในการเก็บข้อมูลในแต่ละวันจะทำการเก็บข้อมูลของตัวอย่างน้ำยางที่อุณหภูมิของห้องเท่ากับ 25 $\pm$ 2 ℃

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างน้ำยางพาราข้นและสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 Portable near infrared spectrophotometer

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

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

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

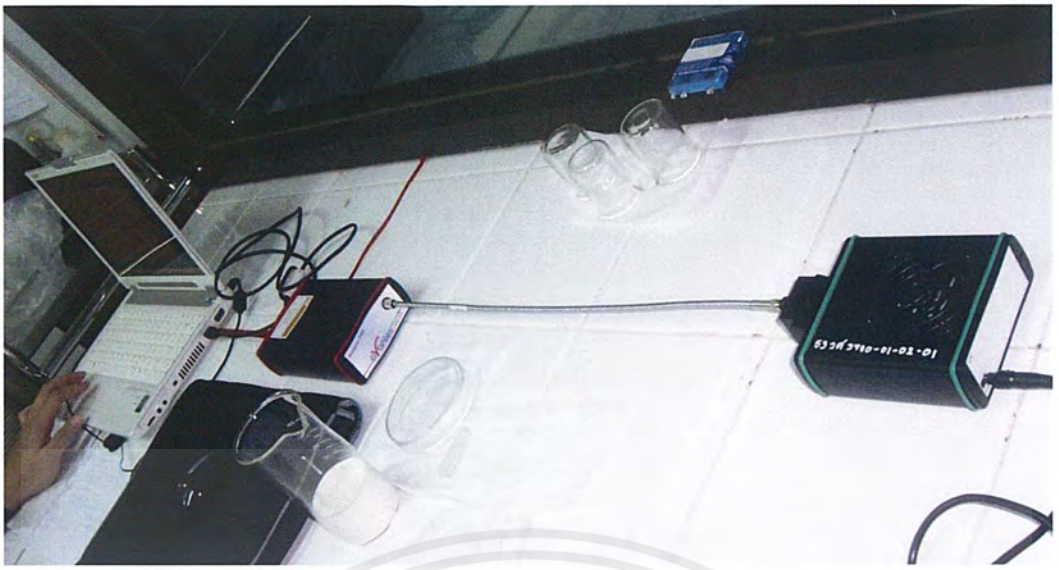
- Integrating sphere แบบมีแหล่งกำเนิดแสงในตัว ในช่วงความยาวคลื่น 360 ถึง 2500 นาโนเมตร ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง มีอายุใช้งานของหลอดกำเนิดแสงประมาณ 4,000 ชั่วโมงหรือมากกว่า มีพัดลมระบายความร้อนอยู่ภายในตัวเพื่อช่วยรักษาความเสถียรในการทำงานของแหล่งกำเนิดแสง มีตัวแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ เป็น ไฟฟ้ากระแสตรง

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

โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวมีการติดตั้งดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.2 สายไฟเบอร์ออปติค (Fiber Optic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ NIR SPECTROMETER

3.2.2 คิวเวต (Quartz)

คิวเวตที่ใช้ในการทำการทดลองมีขนาดความหนา 0.5 cm, ความกว้าง 1 cm

รูปที่ 3.4 คิวเวต (Quartz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 อุปกรณ์อื่นๆ

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

รูปที่ 3.5 Teflon (รูปตัว T) หนา 10 mm

3.3 การวัดปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) และปริมาณเนื้อยางแห้ง (% TSC)

วิธีการวัดปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่ใช้เป็นวิธีมาตรฐานของโรงงานตามมาตรฐาน ISO 126: 2005 (E) Natural rubber latex concentrate – Determination of dry rubber content และ ISO 124: 2008 (E) Latex, rubber – Determination of total solids content ตามลำดับ

3.3.1 วิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) ของน้ำยางพาราสด

ทำการเทน้ำยางพาราสดใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml โดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.0001 g จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกค่าเอาไว้ เทน้ำยางที่เตรียมไว้ใส่ลงในถาดอลูมิเนียมปริมาณ 10 g จากนั้นเติมกรดอะซิติกความเข้มข้น 6 % ค่อยๆเทโดยรอบจนน้ำยางเริ่มจับตัว (35-40 ml) เมื่อเติมกรดเสร็จแล้วนำถาดไปวางบน Water bath 10-15 นาที ที่อุณหภูมิ 80 °C หรือรอจนกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางจับตัวตัวกันเรียบร้อยจนเหลือเป็นน้ำเซรุ่มใสๆ นำเนื้อยางที่จับตัวกันแล้วรูดโดยรอบๆถาดเพื่อเก็บเศษเนื้อยางให้ครบ นำเนื้อยางที่จับตัวไปใส่เครื่องรีด (แบบขวาง) 3-4 รอบ โดยมีน้ำไหลชะล้างเบาๆ ตลอด นำแผ่นยางที่รีดไปล้างให้น้ำสะอาด เมื่อล้างสะอาดแล้วนำแผ่นยางไปเข้าตู้อบอุณหภูมิ 80 ℃ เป็นเวลา 14-16 ชม. เมื่อแผ่นยางแห้งได้ที่ (ดังรูปที่ 3.6) แล้วก็นำออกมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า แล้วนำไปคำนวณ ตามสมการ (3.1)

3.3.2 วิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) ของน้ำยางพาราข้น

ทำการเทน้ำยางพาราข้นใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml ที่มีแผ่นฟอยล์ปิดด้านบนเพื่อลดการระเหยขอแอมโมเนียโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.0001 g จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกค่าเอาไว้ เทน้ำยางที่เตรียมไว้ใส่ลงในถาดอลูมิเนียมปริมาณ 9-10 g เติมน้ำสะอาด(น้ำกลั่น)ลงไปอีก 21 ml จากนั้นเติมกรดอะซิติกความเข้มข้น 2 % ค่อยๆเทโดยรอบจนน้ำยางเริ่มจับตัว (35-40 ml) เมื่อเติมกรดเสร็จแล้วนำถาดไปวางบน Water bath 10-15 นาที ที่อุณหภูมิ 80 ℃ หรือรอจนกว่ายางจับตัวตัวกันเรียบร้อยจนเหลือเป็นน้ำเซรุ่มใสๆ นำเนื้อยางที่จับตัวกันแล้วรูดโดยรอบๆถาดเพื่อเก็บเศษเนื้อยางให้ครบ นำเนื้อยางที่จับตัวไปใส่เครื่องรีด (แบบขวาง) 3-4 รอบ โดยมีน้ำไหลชะล้างเบาๆตลอด นำแผ่นยางที่รีดไปล้างให้น้ำสะอาด แล้วตรวจสอบความเป็นกรดด้วยกระดาษลิตมัส (โดยสังเกตจากสีของกระดาษลิตมัส คือ ถ้ากระดาษลิตมัสไม่มีการเปลี่ยนสีแสดงว่าไม่มีกรดเหลืออยู่แล้ว) เมื่อล้างสะอาด (ไม่มีความเป็นกรด) แล้วนำแผ่นยางไปเข้าตู้อบอุณหภูมิ 80 ℃ เป็นเวลา 14-16 ชม. เมื่อแผ่นยางแห้งได้ที่ (ดังรูปที่ 3.6) แล้วก็นำออกมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า แล้วนำไปคำนวณตามสมการ (3.1)

การคำนวณหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC)

$$\% \ DRC = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \qquad (3.1)$$

เมื่อ m_0 = น้ำหนักของน้ำยางก่อนนำไปอบ หน่วยเป็น g

m_1 = น้ำหนักของแผ่นยางแห้ง (หลังอบ) หน่วยเป็น g

3.3.3 วิธีการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC) ของน้ำยางพาราสด

ทำการเทน้ำยางพาราสดใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml โดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.0001 g จากนั้นนำบีกเกอร์ที่ได้ไปชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกค่าเอาไว้ และชั่งน้ำหนักของจานแก้ว(เล็ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจดบันทึกค่าไว้ นำน้ำยางที่เตรียมไว้เทลงบนจานแก้ว (เล็ก) ปริมาณ 3-5 g นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 14-16 ชม. เมื่อแผ่นยางแห้งได้ที่ (ดังรูปที่ 3.6) แล้วก็นำออกมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า แล้วนำไปคำนวณตามสมการ (3.2)

3.3.4 วิธีการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC) ของน้ำยางพาราข้น

ทำการเทน้ำยางพาราข้นใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml ที่มีแผ่นฟอยล์ปิดด้านบนเพื่อลดการระเหยของแอมโมเนียโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.0001 g จากนั้นนำบีกเกอร์ที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก แล้วจดบันทึกค่าเอาไว้ ชั่งน้ำหนักของจานแก้ว(เล็ก) แล้วจดบันทึกค่าไว้ นำน้ำยางที่เตรียมไว้เทลงบนจานแก้ว(เล็ก) ปริมาณ 2-2.5 g นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 14-16 ชม. เมื่อแผ่นยางแห้งได้ที่ (ดังรูปที่ 3.6) แล้วก็นำออกมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า แล้วนำไปคำนวณตามสมการ (3.2)

การคำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC)

$$\% \text{ TSC} = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \qquad (3.2)$$

เมื่อ m_0 = น้ำหนักของน้ำยางก่อนนำไปอบ หน่วยเป็น g

m_1 = น้ำหนักของแผ่นยางแห้ง (หลังอบ) หน่วยเป็น g

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างยางพาราหลังจากอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การปรับระดับความเข้มข้นของน้ำยางข้น

การปรับระดับความเข้มข้นของน้ำยางข้นนั้นจะทำการปรับที่ระดับ 55, 50, 45, 40 และ35 % DRC ซึ่งในการปรับระดับความเข้มข้นนี้จะทำการเติมน้ำโดยปริมาณน้ำที่เติมลงไปนั้นจะคำนวณได้จากสมการ (3.3)

$$M_W = \left[\frac{\%\ DRC_i \times M_{Ri}}{\%\ DRC_n}\right] - M_{Ri} \qquad (3.3)$$

โดยที่ M_W คือ ปริมาณน้ำที่ต้องเติมลงในตัวอย่างน้ำยาง (g)

$\%\ DRC_i$ คือ ปริมาณเนื้อยางแห้งเริ่มต้นก่อนทำการปรับระดับความเข้มข้น (%)

$\%\ DRC_n$ คือ ปริมาณเนื้อยางแห้งที่ต้องการ (%)

M_{Ri} คือ ปริมาณน้ำยางเริ่มต้น ที่นำมาทำการปรับระดับความเข้มข้น (g)

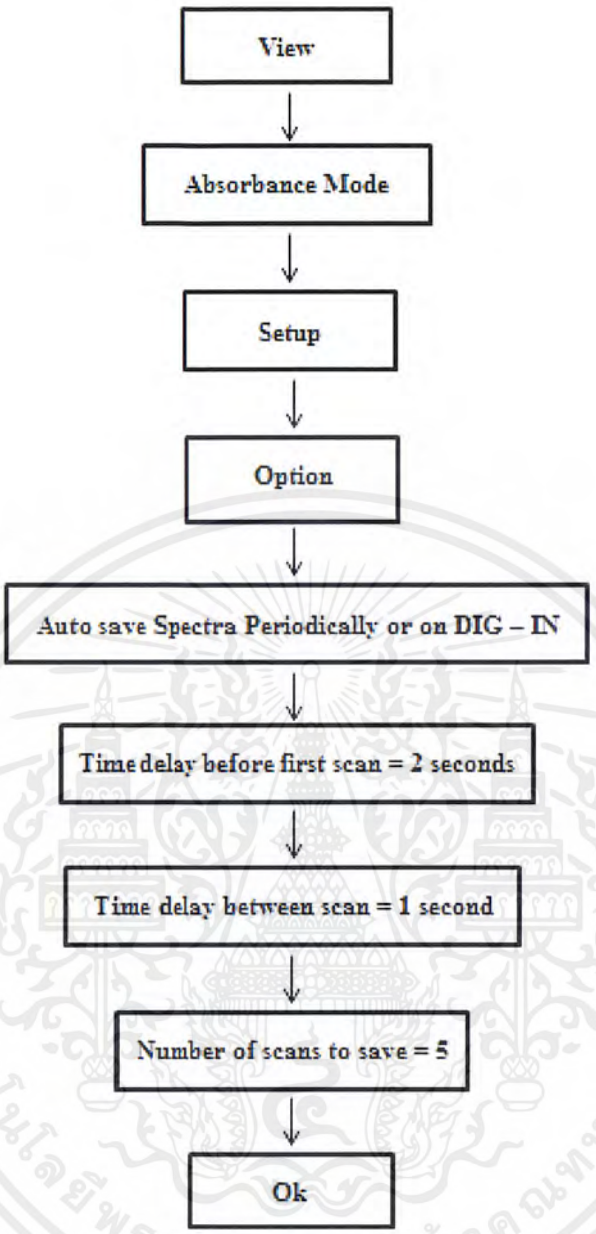
3.5 การวัดสเปกตรัมของน้ำยางพาราสดและข้น

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

ขั้นตอนการบันทึกค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance)

ทำการติดตั้งเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และทำการบันทึกค่าเริ่มต้น โดยอุณหภูมิในการทดลองควรอยู่ที่ 25 ± 2 °C เริ่มต้นโดยเปิด Light Source เป็นเวลา 10-15 นาที เพื่อให้ Light Source เกิดความเสถียร ตั้งค่า Integration time = 85 ms Average = 5 จากนั้นนำเทฟล่อนรูปตัวที หนา 10 mm ใส่ในช่อง Light Source ทำการบันทึกค่า Reference โดยกด File > Save > Reference แล้วทำการบันทึกค่า Dark ต้องทำการปิด Light Source แล้วกด File > Save > Dark จากนั้นต้องกด Setup > Subtract Saved Dark เมื่อทำเสร็จแล้วให้ทำการเปิด Light Source แล้วจึงเริ่มทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำยางพาราตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการบันทึกค่า Absorbance

3.6 การวัดสเปกตรัมของเนื้อยางแห้ง (บริสุทธิ์)

นำแผ่นยางแห้งที่ได้จากการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) มาซ้อนกันประมาณ 3-4 แผ่น จากนั้นก็ตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยให้มีความหนา 5 mm, ความกว้าง 10 mm (ขนาดเท่ากับคิวเวต) จากนั้นก็นำไปทำการวัดสเปกตรัมโดยวิธีการวัดนั้น จะทำเหมือนกับการวัดสเปกตรัมของน้ำยางพารา แต่ในการวัดค่า Reference นั้นจะต้องใช้เทฟล่อน (รูปตัวที) ที่มีความหนา 1 mm ส่วนขั้นตอนการบันทึกค่า Absorbance นั้น สามารถทำได้ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองในการทำนายค่า

การวิเคราะห์ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดนั้น ก่อนทำการวิเคราะห์จะต้องทำการตรวจสอบ ค่านอกกลุ่ม (Outlier) ดังสมการ (3.4)

$$\frac{X - \overline{X}}{SD} \geq 3 \qquad (3.4)$$

โดยที่ X คือ ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งหรือปริมาณของแข็งทั้งหมดที่อ้างอิงจากการวัดแบบวิธีมาตรฐาน $\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณเนื้อยางแห้งหรือปริมาณของแข็งทั้งหมด และ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำข้อมูลของสเปกตรัมที่ได้มาตรวจสอบค่านอกกลุ่ม ด้วยวิธี Principle Component Analysis (PCA)

จากนั้นทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ Calibration set และ Prediction set ในอัตราส่วน 7 : 3 ซึ่ง Calibration set ใช้ในการสร้างแบบจำลองโดยวิธี Partial Least Square Regression (PLSR) โดยใช้ความยาวคลื่น 350-1100 nm, 400-1100 nm, 700-1100 nm, 400-700 nm, และ 700-950 nm ซึ่งแบบจำลองที่ได้สามารถใช้ได้กับทั้งน้ำยางสดและน้ำยางข้น โดยข้อมูลสเปกตรัมที่สร้างแบบจำลองเป็นสเปกตรัมดั้งเดิมหรือผ่านการจัดการทางคณิตศาสตร์โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. Smoothing by Savizky-Golay (17 points),
2. Smoothing by Savizky-Golay + Second Derivative by Savizky-Golay (11, 21 points),
3. Smoothing by Savizky-Golay + Multiple Scatter Correction (MSC),
4. Smoothing by Savizky-Golay + Standard Normal Variate (SNV),
5. Smoothing by Savizky-Golay + Normalization (Mean, Maximum, Range)
6. Smoothing by Savizky-Golay + Baseline offset

ทั้งนี้การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองใช้โปรแกรม Unscramber 9.8 (Camo, Norway) โดยการคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากค่า Correlation coefficient (r) ที่สูงที่สุด Standard Error of Prediction (SEP) และค่า Bias ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

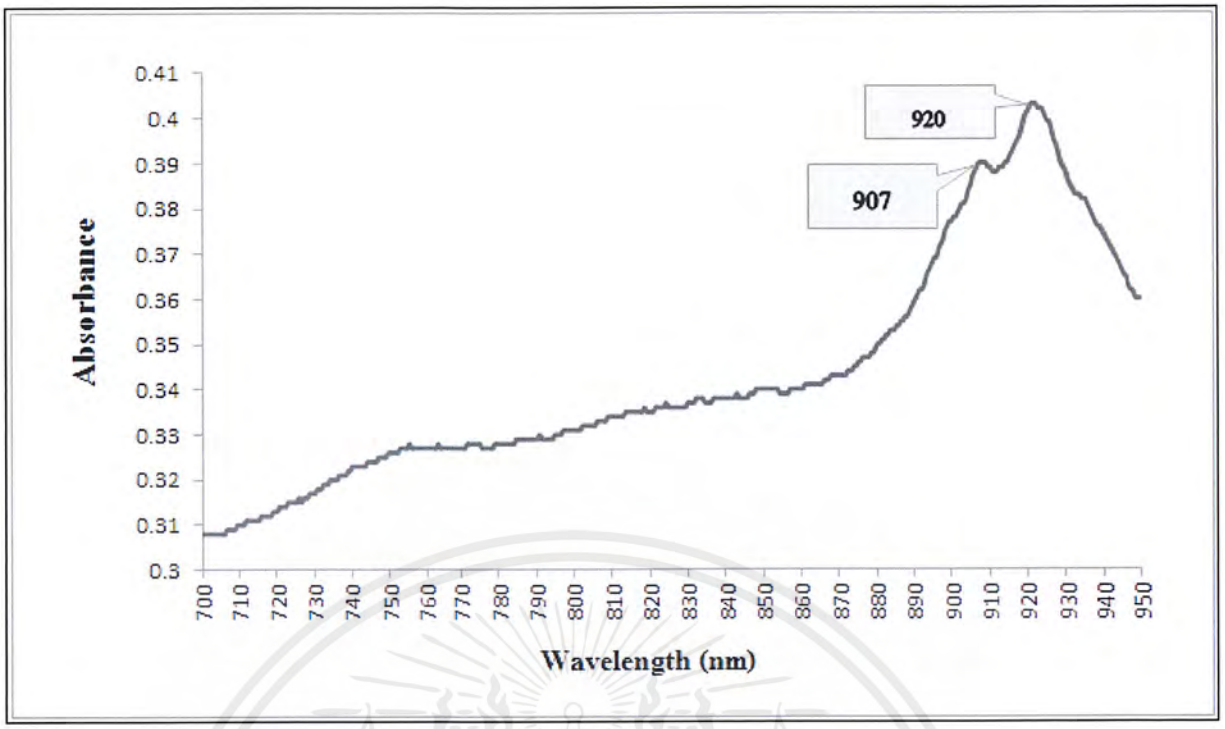
บทที่ 4

ผลการทดลอง

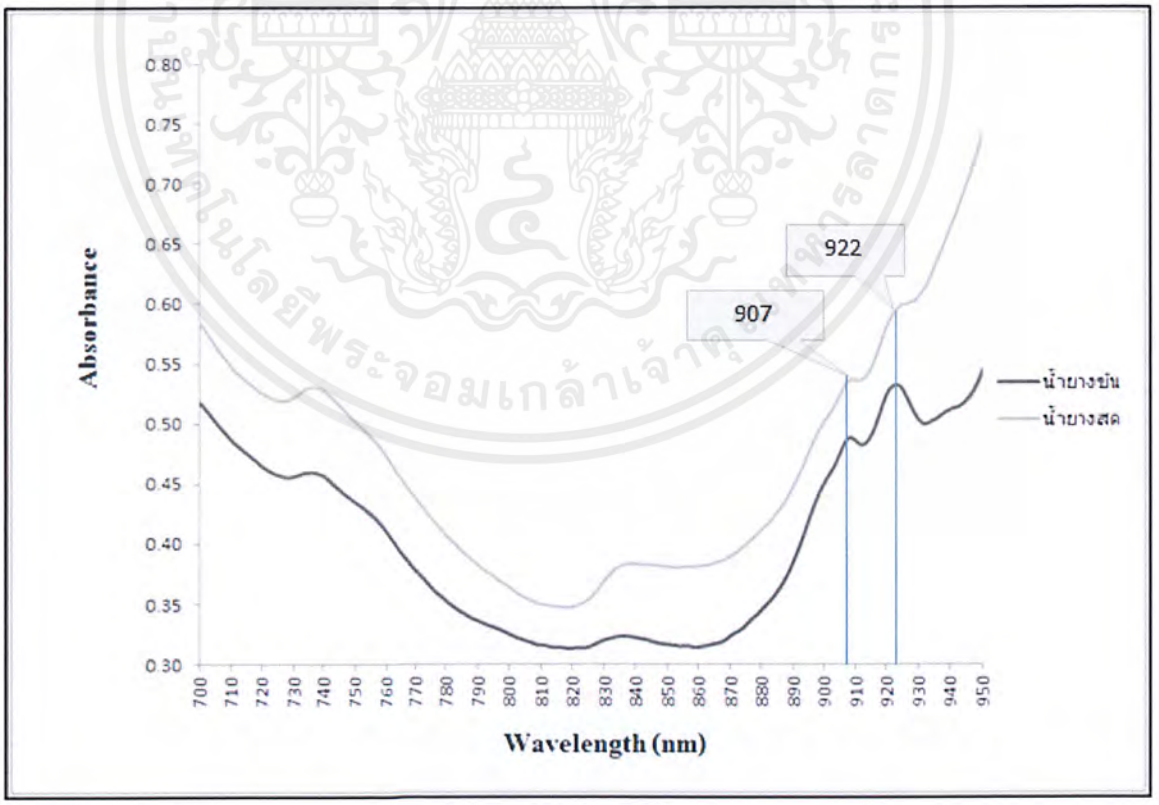
ผลจากการตรวจวัดสเปกตรัมของเนื้อยางแห้งบริสุทธิ์ พบว่ามี Peak เกิดขึ้นที่ช่วงความยาวคลื่น 907 และ 920 nm (รูปที่ 4.1) จากการตรวจวัดสเปกตรัมของน้ำยางสดและน้ำยางข้น พบว่า Peak ที่เกิดขึ้นของน้ำยางสดและข้นเกิดที่ช่วงความยาวคลื่น 907 และ 922 nm (รูปที่ 4.2) ชี้ให้เห็นว่า Peak เหล่านี้เป็น Peak ของการดูดซับคลื่นของเนื้อยาง

จากตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลทางสถิติของปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางสดและน้ำยางข้น โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ Calibration set และ Prediction set ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการทำ PLS regression สำหรับปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางสดและน้ำยางข้น พบว่าแบบจำลองในการทำนายปริมาณเนื้อยางแห้งที่ดีที่สุดได้มาจากการพัฒนาสเปกตรัมด้วยวิธีแบบ Smoothing by Savitzky-Goley (17 points) ร่วมกับ Range Normalization by Savitzky-Goley โดยมีค่า Correlation coefficient (r), Standard error of prediction (SEP), และ Bias คือ 0.9960, 1.190%, และ 0.0322% ตามลำดับ ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการทำ PLS regression สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC) ของน้ำยางสดและน้ำยางข้น พบว่าแบบจำลองที่ทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ดีที่สุดได้มาจากการพัฒนาสเปกตรัมด้วยวิธีแบบ Smoothing by Savitzky-Goley (17 points) ตามด้วย Range Normalization by Savitzky-Goley โดยมีค่า Correlation coefficient (r), Standard error of prediction (SEP), และ Bias คือ 0.9940, 1.3611%, และ 0.1456% ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพและกระบวนการได้เป็นอย่างดี (r ตั้งแต่ 0.99 ขึ้นไปสามารถที่จะนำแบบจำลองไปใช้กับงานทุกชนิดรวมถึงการควบคุมคุณภาพและกระบวนการ[17]) จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงด้วยวิธีมาตรฐานของโรงงานกับค่าที่ได้จากการทำนายจากแบบจำลองด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดง regression coefficient ที่ได้จากการทำ PLSR ของปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางสดและน้ำยางข้น พบว่ากราฟทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันโดยปรากฏ Peak ที่ช่วง 809-810, 856, 906-919 nm แสดงถึงการดูดซับคลื่นที่ Peak ดังกล่าวมีผลอย่างมากต่อการทำนายค่าทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

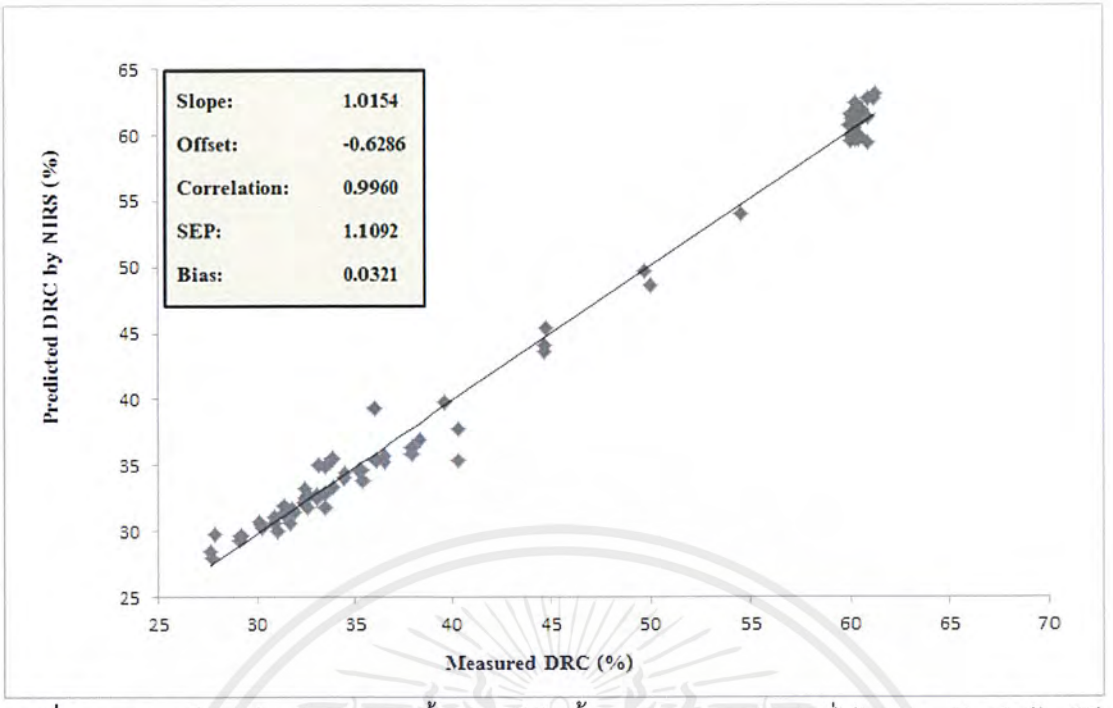


รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของการดูดกลืนคลื่นเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นของเนื้อยางพาราแห้ง

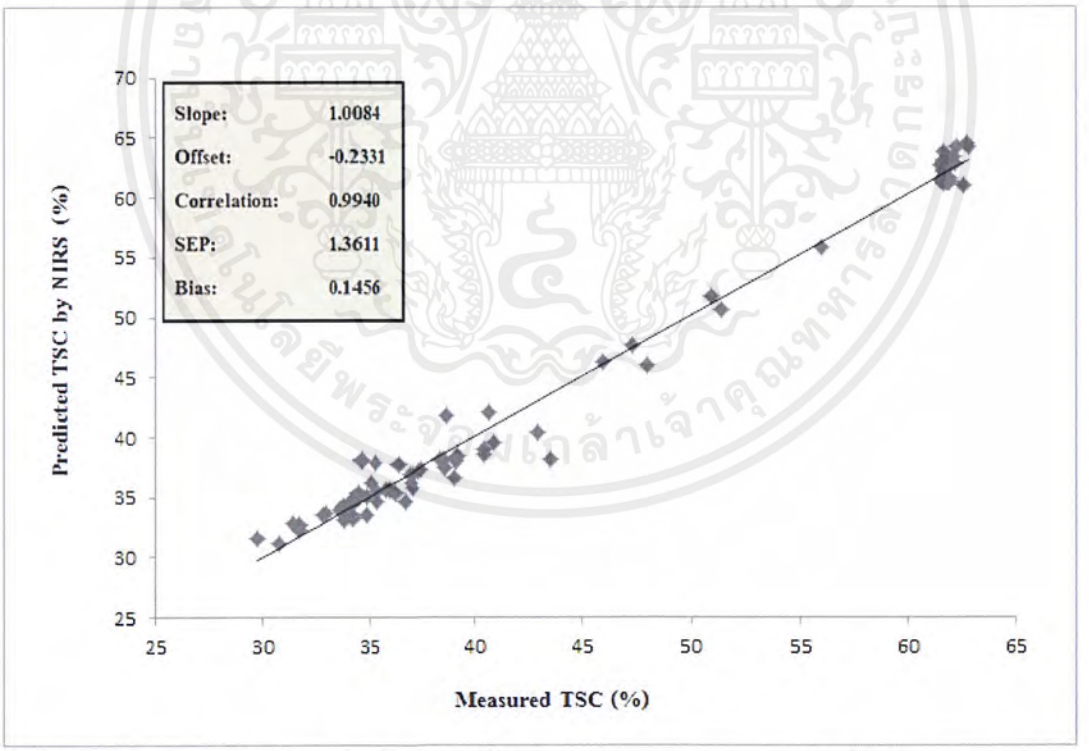


รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของการดูดกลืนคลื่นเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นของน้ำยางสดและน้ำยางข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

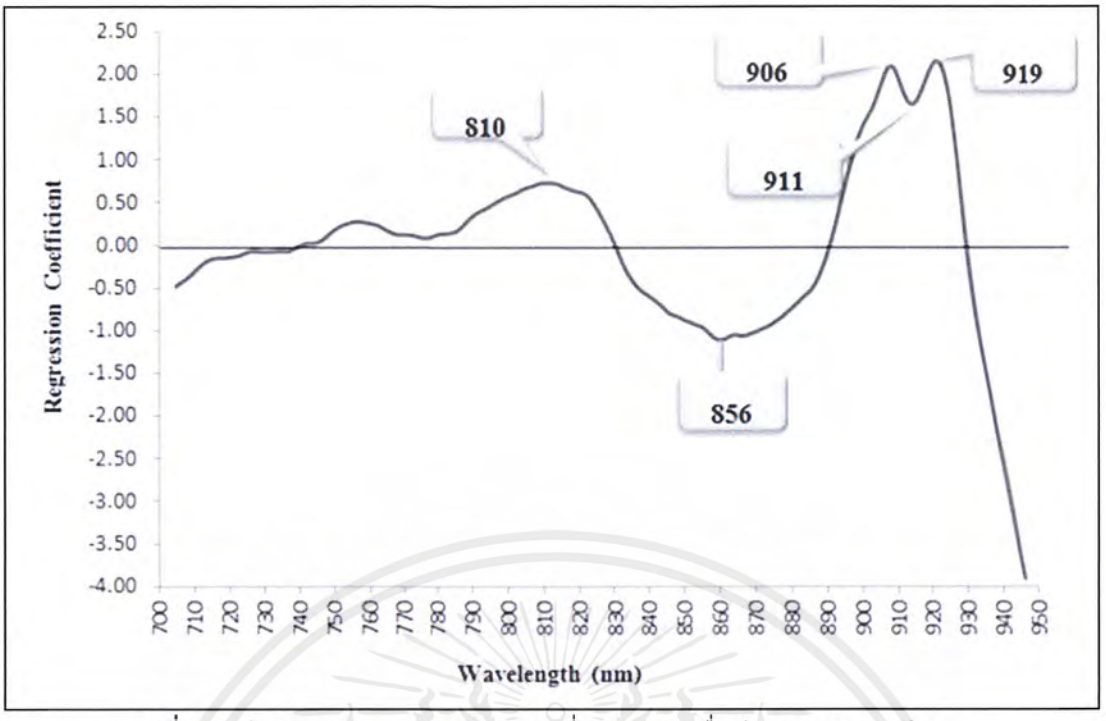


รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงด้วยวิธีมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

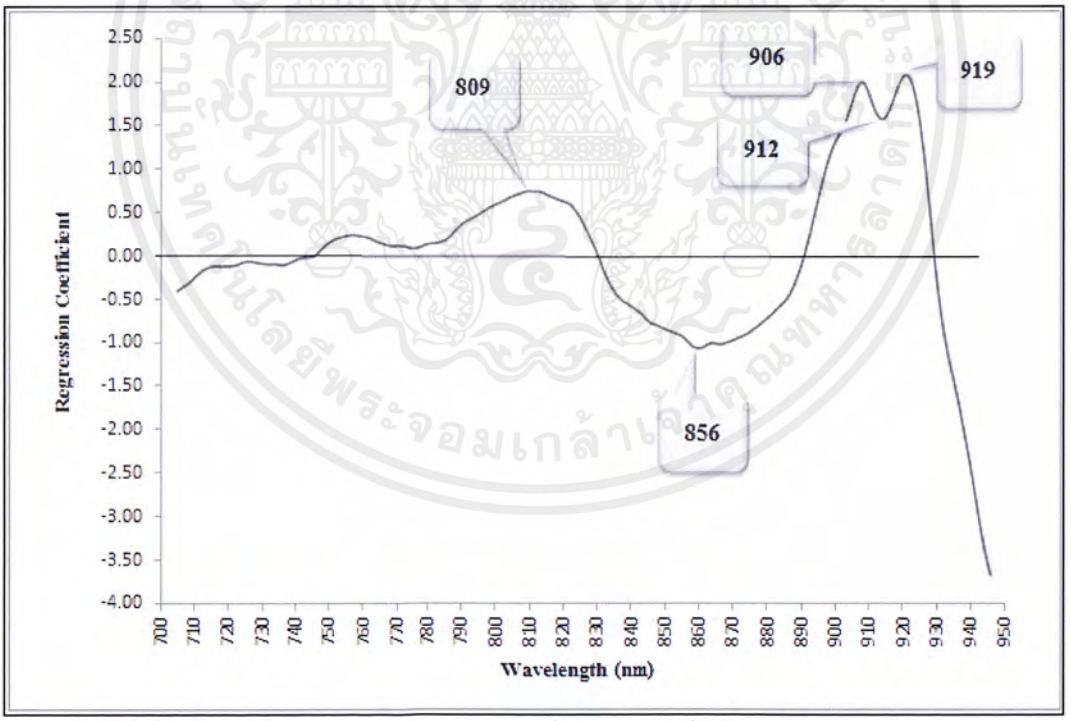


รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงด้วยวิธีมาตรฐานกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ค่า Regression coefficient ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของแบบจำลองเพื่อวัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา



รูปที่ 4.6 ค่า Regression coefficient ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของแบบจำลองเพื่อวัดปริมาณของของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพารา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างน้ำยางสดและข้น

Parameter	Calibration Set					Prediction Set				
	N	Mean	Max	Min	SD	N	Mean	Max	Min	SD
DRC	197	42.5855	61.5272	25.0900	12.7848	83	42.8656	61.2700	27.5900	12.7551
TSC	197	44.9679	62.8834	27.7200	12.1933	83	45.1268	62.8061	29.8000	12.2139

ตารางที่ 4.2 ผลของการทำ PLS regression สำหรับปริมาณเนื้อยางแห้ง(%DRC) ของน้ำยางสดและน้ำยางข้น

Pretreatment	PCs	Calibration set			Prediction set		
		r	SEC	Bias	R	SEP	Bias
Raw spectra	5	0.9924	1.5737	2.130×10^{-7}	0.9934	1.4676	-0.3062
Smoothing (17 points)	4	0.9935	1.4558	3.679×10^{-7}	0.9945	1.3414	-0.2522
Smoothing (17 points) + 1st derivative (11 points)	1	0.9942	1.3702	4.260×10^{-7}	0.9952	1.2586	-0.1386
Smoothing (17 points) + 1st derivative (21 points)	1	0.9944	1.3525	5.228×10^{-7}	0.9953	1.2405	-0.1685
Smoothing (17 points) + 2nd derivative (11 points)	4	0.9912	1.6941	5.131×10^{-7}	0.9905	1.7503	-0.0513
Smoothing (17 points) + 2nd derivative (21 points)	3	0.9925	1.5664	9.682×10^{-8}	0.9911	1.7108	-0.2521
Smoothing (17 points) + Standard Normal Variate (SNV)	2	0.9942	1.3792	0.0000	0.9941	1.3809	-0.1283
Smoothing (17 points) + Multiplicative Scatter Correction (MSC)	2	0.9949	1.2878	9.682×10^{-8}	0.9952	1.2502	-0.0979
Smoothing (17 points) + Mean Normalization	2	0.9871	2.0445	2.905×10^{-7}	0.9875	2.0189	-0.5037
Smoothing (17 points) + Maximum Normalization	4	0.9940	1.3953	1.026×10^{-6}	0.9935	1.4563	-0.2310
Smoothing (17 points) + Range Normalization	**4**	**0.9960**	**1.1399**	**$2.130\times10^{-}$**	**0.9960**	**1.1902**	**0.0322**
Smoothing (17 points) + baseline	3	0.9933	1.4787	8.520×10^{-7}	0.9927	1.5440	-0.3396

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลของการทำ PLS regression สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมด(%TSC) ของน้ำยางสดและน้ำยางข้น

Pretreatment	PCs	Calibration set			Prediction set		
		r	SEC	Bias	R	SEP	Bias
Raw spectra	5	0.9962	1.0609	2.130×10^{-1}	0.9956	1.1505	0.0342
Smoothing (17 points)	4	0.9919	1.5493	3.486×10^{-1}	0.9921	1.5358	-0.1476
Smoothing (17 points) + 1st derivative (11 points)	1	0.9925	1.4868	3.679×10^{-1}	0.9924	1.5003	-0.0240
Smoothing (17 points) + 1st derivative (21 points)	1	0.9927	1.4717	3.001×10^{-1}	0.9926	1.4820	-0.0526
Smoothing (17 points) + 2nd derivative (11 points)	4	0.9921	1.5274	1.743×10^{-1}	0.9889	1.8247	-0.0227
Smoothing (17 points) + 2nd derivative (21 points)	2	0.9884	1.8510	5.906×10^{-1}	0.9884	1.8870	0.0325
Smoothing (17 points) + Standard Normal Variate (SNV)	2	0.9924	1.5027	4.938×10^{-1}	0.9920	1.5423	-0.0120
Smoothing (17 points) + Multiplicative Scatter Correction (MSC)	2	0.9931	1.4305	5.228×10^{-1}	0.9930	1.4444	0.0166
Smoothing (17 points) + Mean Normalization	2	0.9838	2.1854	5.228×10^{-1}	0.9830	2.2546	-0.3747
Smoothing (17 points) + Maximum Normalization	4	0.9919	1.5510	2.033×10^{-1}	0.9904	1.6942	-1.1016
Smoothing (17 points) + Range Normalization	**4**	**0.9946**	**1.2643**	$\mathbf{3.776\times10^{-1}}$	**0.9940**	**1.3611**	**0.1456**
Smoothing (17 points) + baseline offset	3	0.9929	1.4547	0.0000	0.9915	1.6056	-0.2173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลและสร้างแบบจำลองในการทำนายความสัมพันธ์ระหว่าง การดูดกลืนแสงกับปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราสดและข้น พบว่าแบบจำลองในการทำนายปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราที่สร้างจากสเปกตรัมที่ผ่านการ Smoothing ร่วมกับ Range Normalization ให้การทำนายได้ดีและแม่นยำมากที่สุด ที่ช่วงความยาวคลื่น 700-950 nm โดยมีค่า Slope, Offset, Correlation coefficient (r), Standard error of prediction (SEP), และ Bias สำหรับการทำนายปริมาณเนื้อยางแห้ง คือ 1.0154, -0.6286, 0.9960, 1.190% และ 0.0322% ตามลำดับ และสำหรับการทำนายค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด คือ 1.0084, -0.2332, 0.9940, 1.3611% และ 0.1456% ตามลำดับ และเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีสามารถวัดพารามิเตอร์ดังกล่าวภายในเวลาน้อยกว่า 5 นาที ซึ่งทำได้ง่ายและไม่ต้องใช้สารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2541, "วิธีการทดสอบน้ำยางข้น", เอกสารวิชาการ

[2] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2541, "การผลิตยางธรรมชาติ (Natural Rubber Productions)", ภาควิชาเทคโนโลยียาง และพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[3] กรมพัฒนาที่ดิน, "การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะใกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำรวจและแระเมินผลผลิตยางพารา", กรุงเทพฯ, สำนักสำรวจที่ดินและการวางแผนการใช้ที่ดิน

[4] บุญชัย ตระกูลมหาชัย, 2544, "วิธีการผลิตน้ำยางข้น", [online], เข้าถึงได้จาก : http://www.tsitr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?il=77&iz=2

[5] กรมวิชาการเกษตร, 2550, ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ "การแปรรูปและการใช้ประโยชน์ ส่วนประกอบของน้ำยาง", [online], เข้าถึงได้จาก : http://ait.nisit.kps.ku.ac.th/dbecononicfieldcrop/maincrop/pararubber/mainpararubber1.htm.

[6] จักรีเลื่อนรวม, 2550, "การรักษาสภาพน้ำยางสด", [online], เข้าถึงได้จาก : http://sheare.spu.ac.th/blog/zno/868

[7] วิธีการผลิตน้ำยางข้นของไทย, [online], เข้าถึงได้จาก : http://www.yangpara.com/plant/rubbermethod.htm#med1

[8] บริษัทไทยรับเบอร์ลาแท็กซ์คอปอเรชัน (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), 2554, QCE-10 ISO126:2005 Natural rubber latex concentrate – Determination of dry rubber content, เอกสารประจำห้องปฏิบัติการ

[9] บริษัทไทยรับเบอร์ลาแท็กซ์คอปอเรชัน (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), 2554, QCW-02 วิธีการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบสำหรับห้องปฏิบัติการ, เอกสารประจำห้องปฏิบัติการ

[10] บริษัทไทยรับเบอร์ลาแท็กซ์คอปอเรชัน (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), 2554, QCW-69 การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบสำหรับห้องปฏิบัติการ, เอกสารประจำห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] บริษัทไทยรับเบอร์ลาแท็กซ์คอปอเรชัน (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), 2554, QCP-10-02 การรายผลการทดสอบ, เอกสารประจำห้องปฏิบัติการ

[12] พรรณทิพย์ ห่อศรีสัมพันธ์, 2547, "NIR Spectroscopy เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สารอินทรีย์", [online], เข้าถึงได้จาก : http://www.thaiscience.com/lab_vol/p31/nir/asp.2004

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

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

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

[16] รวิพันธ์ ชาวบ้านกร่าง, 2553, "การวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับห้องปฏิบัติการในโรงงานด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเก้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

[18] วิศรุต บุญช่วย, 2553, "การตรวจสอบความหวานของแตงโมพร้อมบริโภคโดยไม่ทำลายที่เก็บเกี่ยวในฤดูฝน ด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเก้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราสด

(วัดโดยวิธีของโรงงาน)

น้ำยางสด	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC)
FL1	35.32	31.59
FL2	34.13	31.87
FL3	30.55	28.04
FL4	35.51	32.57
FL5	38.51	35.99
FL6	37.37	34.78
FL7	31.84	29.44
FL8	29.80	27.59
FL9	34.07	31.66
FL10	33.60	30.89
FL11	29.93	27.54
FL12	39.80	37.22
FL13	39.17	36.44
FL14	34.17	31.64
FL15	32.94	30.08
FL16	37.34	34.43
FL17	39.42	36.94
FL18	41.27	38.36
FL19	36.91	34.47
FL20	35.53	33.12
FL21	35.95	33.30
FL22	42.52	39.44
FL23	40.14	37.53
FL24	33.60	30.71
FL25	40.04	37.82
FL26	40.83	38.36
FL27	34.74	30.41
FL28	27.72	25.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยางสด	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC)
FL29	45.70	43.19
FL30	34.06	30.91
FL31	38.72	35.94
FL32	43.53	40.33
FL33	32.16	29.62
FL34	38.42	36.00
FL35	31.69	29.06
FL36	33.87	30.82
FL37	31.72	29.15
FL38	38.33	35.88
FL39	36.35	34.25
FL40	40.15	37.53
FL41	40.51	37.66
FL42	38.80	35.58
FL43	36.34	33.29
FL44	31.16	28.57
FL45	33.89	31.06
FL46	30.94	27.95
FL47	35.09	32.47
FL48	35.87	32.51
FL49	30.73	27.68
FL50	36.22	33.48
FL51	35.84	33.08
FL52	34.73	31.41
FL53	35.97	33.45
FL54	32.67	29.69
FL55	35.80	32.75
FL56	35.82	32.76
FL57	35.97	32.58
FL58	35.64	32.78
FL59	36.17	33.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยางสด	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC)
FL60	36.13	33.00
FL61	36.48	33.81
FL62	35.29	33.09
FL63	35.33	32.57
FL64	31.75	29.20
FL65	36.36	33.43
FL66	35.02	31.99
FL67	34.85	32.34
FL68	34.23	32.53
FL69	34.22	31.75
FL70	35.41	32.45
FL71	31.93	28.95
FL72	37.03	34.38
FL73	39.21	36.46
FL74	43.59	40.64
FL75	38.32	36.40
FL76	37.30	34.92
FL77	29.07	26.63
FL78	40.88	36.19
FL79	33.86	31.32
FL80	33.34	31.26
FL81	39.08	36.21
FL82	29.33	26.76
FL83	33.78	31.33
FL84	36.70	33.29
FL85	34.23	31.13
FL86	37.51	35.09
FL87	37.48	35.22
FL88	36.15	33.21
FL89	34.29	31.06
FL90	37.54	34.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยางสด	ปริมาณขององแข็งทั้งหมด (% TSC)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC)
FL91	39.11	36.04
FL92	40.46	37.86
FL93	34.65	31.41
FL94	34.22	31.33
FL95	31.40	27.87
FL96	29.45	26.35
FL97	36.37	33.28
FL98	29.55	26.45
FL99	36.95	33.79
FL100	34.77	31.60
FL101	34.16	30.54
FL102	37.64	34.06
FL103	34.20	30.28
FL104	34.34	30.32
FL105	39.11	36.35
FL106	38.32	36.24
FL107	38.05	35.48
FL108	38.06	35.70
FL109	39.15	36.41
FL110	34.64	32.18
FL111	40.40	37.84
FL112	38.04	35.49
FL113	33.98	31.19
FL114	34.09	31.51
FL115	38.12	34.97
FL116	50.73	47.11
FL117	51.77	48.62
FL118	47.27	44.78
FL119	40.91	38.27
FL120	38.73	35.90
FL121	34.36	31.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยางสด	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC)
FL122	48.02	44.66
FL123	33.50	30.62
FL124	32.76	30.19
FL125	36.75	33.73
FL126	32.27	28.71
FL127	32.79	29.85
FL128	29.25	25.44
FL129	34.69	31.22
FL130	39.04	35.85
FL131	42.92	40.37
FL132	35.57	32.55
FL133	37.01	33.40
FL134	35.09	32.14
FL135	36.65	33.63
FL136	36.74	33.45
FL137	35.98	32.56
FL138	33.96	31.25
FL139	34.43	32.44
FL140	33.60	30.91
FL141	36.39	33.33
FL142	38.60	35.29
FL143	37.07	33.64
FL144	35.36	32.59
FL145	34.81	31.68
FL146	48.48	45.28
FL147	36.23	32.97
FL148	48.43	45.33
FL149	35.73	31.94
FL150	36.66	33.40
FL151	35.32	32.01
FL152	39.29	36.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยางสด	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC)
FL153	32.44	28.94
FL154	37.60	34.35
FL155	32.42	29.87
FL156	32.75	29.98
FL157	35.36	32.75
FL158	36.24	32.63
FL159	31.77	29.12
FL160	44.76	42.16
FL161	37.35	34.24
FL162	33.09	29.68
FL163	41.86	34.11
FL164	39.08	35.38
FL165	40.40	36.59
FL166	47.47	44.30
FL167	31.51	28.62
FL168	35.06	32.44
FL169	35.25	31.89
FL170	38.19	35.09
FL171	34.56	32.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราข้น

(วัดโดยวิธีของโรงงาน)

น้ำยางข้น	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC)
CL1	61.5218	60.0866
CL2	61.5032	60.0515
CL3	61.6515	60.0528
CL4	61.8113	60.1824
CL5	61.6287	60.1557
CL6	61.7489	60.2018
CL7	61.8123	60.1627
CL8	61.7986	60.2743
CL9	61.8832	60.3209
CL10	61.5836	60.0557
CL11	61.7905	60.1728
CL12	61.7679	60.2042
CL13	61.7455	60.2595
CL14	61.6989	60.1503
CL15	61.6661	60.1029
CL16	62.0370	60.2671
CL17	61.8174	60.0760
CL18	61.8701	60.1466
CL19	61.6665	60.2380
CL20	61.8174	60.0760
CL21	61.2203	59.7816
CL22	61.8537	60.2616
CL23	61.6812	60.1712
CL24	61.7050	60.1309
CL25	61.7678	60.1769
CL26	61.8390	60.1607
CL27	61.5621	60.0800
CL28	61.8182	60.2494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยางข้น	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC)
CL29	61.8384	60.3117
CL30	61.8026	60.2145
CL31	61.7646	60.1648
CL32	61.6490	60.0550
CL33	61.6563	60.0325
CL34	61.8547	60.0982
CL35	61.6958	60.1159
CL36	62.0757	60.2051
CL37	61.1817	59.3909
CL38	62.1519	60.2505
CL39	62.0867	60.6317
CL40	62.3737	60.2745
CL41	62.3704	60.6293
CL42	62.6552	61.1161
CL43	61.6533	59.9705
CL44	62.7385	61.0706
CL45	62.5389	60.8970
CL46	62.2701	60.6441
CL47	62.5582	60.9414
CL48	61.6721	59.9328
CL49	62.0304	60.3374
CL50	61.9907	60.3196
CL51	62.7974	61.0739
CL52	61.7079	60.1937
CL53	61.8514	60.3253
CL54	61.8059	60.1689
CL55	61.6576	60.1449
CL56	62.8834	61.5272
CL57	61.6298	60.0043
CL58	61.8096	60.1153
CL59	62.4853	60.9563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยางข้น	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC)
CL60	61.8429	60.3409
CL61	61.6437	60.0818
CL62	61.7755	60.2422
CL63	61.9356	60.4885
CL64	61.9649	60.4434
CL65	61.54	60.16
CL66	62.23	60.64
CL67	61.70	60.24
CL68	62.30	60.90
CL69	61.79	60.29
CL70	62.75	61.27
CL71	61.73	60.30
CL72	62.19	60.81
CL73	62.41	61.08
CL74	62.10	60.75
CL75	62.42	60.94
CL76	62.10	60.57
CL77	62.13	60.77
CL78	62.23	60.91
CL79	61.9735	60.2218
CL80	61.7315	60.4014
CL81	61.8492	60.1735
CL82	61.9202	60.2804
CL83	62.8061	61.2080
CL84	61.9550	60.3569
CL85	61.9314	60.2187
CL86	61.7577	60.0997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางพาราข้น (ปรับระดับความเข้มข้น)

(วัดโดยวิธีของโรงงาน)

น้ำยางปรับระดับความเข้มข้น	ระดับความเข้มข้น	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC)	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC)
CLA1	55 % DRC	56.4349	54.9571
CLA2	50 % DRC	50.6672	49.3989
CLA3	45 % DRC	45.1144	45.0287
CLA4	40 % DRC	40.0530	38.8472
CLA5	35 % DRC	34.6420	33.6753
CLA6	55 % DRC	56.1909	54.7005
CLA7	50 % DRC	50.9540	49.7414
CLA8	45 % DRC	44.6555	43.4235
CLA9	40 % DRC	39.9563	38.9021
CLA10	35 % DRC	34.6205	33.7608
CLA11	55 % DRC	56.6013	55.1648
CLA12	50 % DRC	51.3793	50.0491
CLA13	45 % DRC	45.9083	44.7116
CLA14	40 % DRC	40.3713	39.2830
CLA15	35 % DRC	35.6013	34.6232
CLA16	55 % DRC	55.4637	54.5614
CLA17	50 % DRC	50.6956	49.3794
CLA18	45 % DRC	44.6531	44.2809
CLA19	40 % DRC	40.6631	39.5999
CLA20	35 % DRC	35.1222	34.1626
CLA21	55 % DRC	56.0259	54.5510
CLA22	50 % DRC	50.4769	49.2300
CLA23	45 % DRC	45.7833	44.5403
CLA24	40 % DRC	39.8897	38.9356
CLA25	35 % DRC	34.6183	33.7890

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้