



การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยแบบรวดเร็วโดยใช้เทคนิค FT-NIRs และ DLP-NIRs  
The Determination of DRC in Cup Lump Natural Rubber rapidly using FT-NIRs and DLP-NIRs  
Techniques

พานุวัฒน์ ทรัพย์ปรง<sup>1\*</sup>, จุฬวณี ทุนป่า<sup>1</sup>, ศักดิ์รินทร์ ตรีสุนย์<sup>1</sup>, ประสิทธิ์ โสภ<sup>1</sup>

Panuwat Supprung<sup>1\*</sup>, Jurawadee Thunpa<sup>1</sup>, Saknarin Treesoon<sup>1</sup>, Prasit Sopa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ขอนแก่น, 40000

<sup>2</sup>Division of Postharvest and Processing Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, KhonKaen Campus, KhonKaen, 40000, Thailand

\*Corresponding author: Tel: +66-8-9861-7415, E-mail: panuwatph1@yahoo.com

### บทคัดย่อ

ยางก้อนถ้วยเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต้นยางพารา การกำหนดราคาขึ้นกับคุณภาพและปริมาณเนื้อยางแห้ง(DRC)ซึ่งต้องใช้เวลาและพลังงานสูงในการตรวจสอบ การตรวจวัดแบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่างจึงมีความจำเป็น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยแบบรวดเร็วโดยใช้เทคนิค FT-NIRs และ DLP-NIRs โดยตัวอย่างยางก้อนถ้วยที่ผ่านการผึ่งลมที่เวลาตั้งแต่ 0-6 วัน รวม 35 ตัวอย่าง ตัวอย่างถูกสแกนที่ผิวของ 3 ส่วนคือ ด้านบน กลาง และก้นยางก้อนถ้วย ส่วนละ 5 จุดด้วย FT-NIRs ที่ช่วงจำนวนคลื่น 4000-10000 ต่อเซนติเมตร และ DLP-NIRs ที่ความยาวคลื่น 900-1700 นาโนเมตร หาค่า DRC ด้วยการอบแห้งที่ 50 °C เวลา 72 ชม. การพัฒนาสมการค่าลิเบรชันโดยใช้ การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) ผลการวิจัยพบว่าค่า DRC ระหว่าง 46.23 ถึง 70.47 เปอร์เซ็นต์ การตรวจวัดที่ส่วนกลางยางก้อนถ้วยเหมาะสมที่สุด การใช้เทคนิค FT-NIRs และ DLP-NIRs ได้จำนวนแฟคเตอร์ ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (R<sup>2</sup>) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (SECV) คือ 8 0.94 1.33% และ 9 0.88 1.76% ตามลำดับ ในขณะที่ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEPV) และ ค่าความผิดพลาด (bias) คือ 1.45% และ 0.01% และ 1.88% และ 0.03% แสดงว่าการใช้เทคนิค FT-NIRs และ DLP-NIRs เป็นวิธีการที่ดีและมีความแม่นยำสูงในการวัดค่า DRC ยางก้อนถ้วย

คำสำคัญ: เนื้อยางแห้ง, ยางก้อนถ้วย, เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

### Abstract

Cup lump is a natural rubber product. Pricing depends on the quality and dry rubber content (DRC), which takes a long time and high energy consumption for evaluation. The rapid and non-destructive measuring is a necessary method. Therefore, objective of this research was to determine the DRC in the cup lump using FT-NIRs and DLP-NIRs techniques. Cup lump samples have been air-dried at 0-6 days include 35 samples. Samples were scanned at the surface of the three parts: the upper, central, and bottom, 5 points for each part with FT-NIRs at a wavenumber of 4000-10000 cm<sup>-1</sup> and DLP-NIRs at wavelengths of 900-1700 nm. DRC was determined by drying method at 50°C for 72 h. The development of calibration equation used partial least squares regression (PLSR) method. The results showed that the DRC values ranged from 46.23 to 70.47 %. Measurement of the center of the cup lump is the most appropriate. The results of measurement using FT-NIRs and DLP-NIRs showed that, the coefficient of determination (R<sup>2</sup>) and standard error of calibration (SECV) were 8 0.94 0. 1.33% and 9 0.88 1.76%, while the standard error of cross validation (SEPV) and bias is 1.45 0.01% and 1.88 0.03%. The results obtained suggested that the FT-NIRs and DLP-NIRs were a good and high accuracy technique for measuring DRC of cup lump.

Keywords: DRC, Cup lump, Near Infrared Spectroscopy

### 1 บทนำ

ประเทศไทยผลิตและส่งออกยางพาราเป็นอันดับต้นๆของโลก โดยผลิตรยางพาราได้ประมาณ 4.0-4.4 ล้านตันต่อปี ในปี 2559

มีการส่งออกประมาณ 3.2-3.4 ล้านตัน โดย 80% เป็นการส่งออกในลักษณะยางแท่ง ยางแผ่นรมควัน และน้ำยางข้น (สถาบันวิจัยยาง 2559) ประเทศไทยยังคงส่งออกยางที่เป็น

วัตถุดิบส่วนใหญ่ ภาครัฐมีนโยบายเพิ่มการแปรรูปยางและใช้ใน ประเทศให้มากขึ้นประมาณ 0.75 ถึง 1 ล้านตันในปี 2557 และ 2558 ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2557) การแปรรูปยางจะรับวัตถุดิบยางเกษตรกรในยางรูปแบบต่างๆ ได้แก่ น้ำยางดิบ ยางแผ่นดิบ ยางแผ่นรมควัน และยางก้อนถ้วย เป็นต้น และโดยประมาณ 50-53% คือยางก้อนถ้วย เนื่องจากผลิตได้ง่าย กรรมวิธีไม่ยุ่งยาก ต้นทุนต่ำกว่ายางแผ่นดิบ แต่ในการซื้อขายยาง ก้อนถ้วยจะขึ้นกับคุณภาพ และ ปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) ผู้ประกอบการผลิตยางแห้งที่รับซื้อยางก้อนถ้วยมักจะประสบ ปัญหาคุณภาพยางก้อนถ้วยที่ไม่ สม่่าเสมอได้แก่ การใช้สารจับตัว ยางที่ไม่ใช้กรดฟอร์มิก และการปลอมปนเศษไม้ เปลือกยาง และการปนเศษหิน ดิน และทรายเพื่อเพิ่มน้ำหนัก อีกทั้งในการ จำหน่ายยางก้อนถ้วยเกษตรกรจะถูกดราคะ 10-15%เสมอ เนื่องจากไม่มีเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์หา ปริมาณเนื้อยางแห้งอย่างรวดเร็ว จึงต้องใช้หลักการประเมินด้วย สายตาหรือหาปริมาณเนื้อยางแห้งด้วยการทำเป็นยางเครพก่อน ซึ่งต้องใช้เวลานานทำให้เกษตรกรเสียโอกาสในการต่อรองราคา (ณพรัตน์, 2560) อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาวิจัยนำเทคโนโลยี หรือเทคนิคตรวจสอบคุณภาพผลผลิตเกษตรกร น้ำยางดิบ แผ่นยางดิบ ยางก้อนถ้วยโดยไม่ทำลายตัวอย่างมาใช้มากขึ้น ได้แก่ การใช้ คลื่นแสง เป็นต้น

เทคนิคการใช้คลื่นแสงช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIRs) เป็นวิธีการหนึ่งที่กำลังพัฒนาในการวัดค่า หรือตรวจสอบคุณภาพและคุณลักษณะที่แตกต่างของชีวมวลมา นานกว่า 30 ปีมาแล้ว (Marten et al., 1985) คลื่นแสงช่วงอิน ฟราเรดย่านใกล้มีความยาวคลื่นแสงช่วง 750-2500 nm การ ดูดกลืนแสงเกิดจากการสั่นของพันธะ C-H O-H และ N-H ข้อมูล เหล่านี้จะแสดงออกมาในรูปเส้นสเปกตรัมและจะเป็นลักษณะ เฉพาะตัวของส่วนประกอบทางชีวภาพของวัสดุชีวภาพนั้นๆ (Marten et al., 1985) เทคนิค NIRs ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ อาหารและเครื่องดื่ม (Osborne et al., 1993 และ Williams, 2007) ใช้ในการหาปริมาณเนื้อยางพารา (Cornish et al., 2004) และมีการรับรองให้ใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์ ธัญพืชและ เมล็ดธัญพืชตามมาตรฐาน ISO 12099 (ISO 2010) สำหรับการ วิจัยด้านยางพารามีการใช้เทคนิค NIRs ในการวิเคราะห์ คุณภาพและปริมาณยางพารา (Kleine and Foster, 1990) Guilment and Bokobza (2001) รายงานการเปรียบเทียบการ ใช้คลื่นแสงช่วงรามาน (raman) อินฟราเรดกลาง (mid IR) และ อินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) ในการวิเคราะห์อัตราส่วนผสมของ ยางพาราในวัสดุโพลีเมอร์ และ การวิจัยการวัดการเปลี่ยนรูป เองกลระหว่างการฟอร์มตัวของแผ่นฟิล์มยางด้วย NMR (nuclear magnetic resonance) และ NIRs (Simon et al., 2011) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในยางแผ่นดิบด้วยเทคนิค ทรานส์เฟลกแดนซ์เนียร์อินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 700-1100nm พบว่าค่าที่ทำนายได้ไม่แตกต่างจากค่าจริงอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติที่ 95% (Rittiron and Seehalak, 2014) และ Suchat et.

al., (2015) รายงานการหาปริมาณความชื้นแบบรวดเร็วโดยใน ยางก้อนถ้วยธรรมชาติโดยใช้เทคนิค NIRs ที่ความยาวคลื่น 400- 1100nm พบว่า พบว่าค่าที่ทำนายได้ไม่แตกต่างจากค่าจริงอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 98% จะเห็นได้ว่ามีการใช้เทคนิค NIRs ใน การตรวจสอบคุณภาพยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางมากขึ้น

ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยการใช้เทคนิค FT-NIRs (fourier transform near infrared spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ ตัวอย่างจะถูกสแกนโดยคลื่นแสงช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ ในทุก ช่วงความยาวคลื่นที่สนใจในช่วงเวลาทั้งหมด (Supprung, et al., 2012) ซึ่งต่างจากเทคนิคเดิมที่เป็นแบบ Dispersive ซึ่งจะสแกน เฉพาะช่วงคลื่นแสงในขณะเวลาหนึ่งเท่านั้น และเทคนิค FT-NIRs จะมีข้อดีกล่าวคือ สามารถสแกนตัวอย่างได้รวดเร็ว มีค่า อัตราส่วนสัญญาณคลื่นต่อสัญญาณคลื่นแทรก (S/N) สูง มีความ แม่นยำและความเสถียรของคลื่นแสงสูงมาก และ ง่ายในการส่ง ถ่ายข้อมูลคำนวณคาลิเบรชัน (Manley et. al, 2002) แต่อย่างไร ก็ตามเครื่องจะมีขนาดใหญ่และราคาแพงมาก (Tarkosova and Copikova, 2000) อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีดิจิทัลในระบบคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) มีการพัฒนามากใน ปัจจุบัน ระบบ Digital Light Processing (DLP) เป็นอุปกรณ์ แสดงผลโดยใช้ เทคโนโลยี optical micro-electro-mechanical คือการใช้กระจกดิจิทัล (digital Micromirror) ทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสง และตรวจวัดแสงมีขนาดเล็กลง ต้นทุน ต่ำลงมาก

แม้ว่าจะมีการศึกษา วิจัย การใช้เทคนิค NIRs ในการ ตรวจสอบคุณภาพน้ำยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางมากขึ้น แต่การ ตรวจสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) ในประเทศไทยแทบยัง ไม่มีการศึกษาวิจัยเลย โดยเฉพาะการใช้เทคนิค DLP-NIRs ร่วมกับ เทคนิค FT-NIRs ซึ่งมีความแม่นยำสูง และสามารถ ตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการ หาปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยแบบรวดเร็วโดยใช้เทคนิค FT-NIRs และ DLP-NIRs ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ในการค้าขาย ยางก้อนถ้วย และการแปรรูปยางพาราและการตลาดยางพาราใน ภาวพร้อมต่อไปในอนาคต

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การเตรียมตัวอย่างยางก้อนถ้วย

นำน้ำยางดิบมาแบ่งใส่ถ้วยพลาสติกปริมาณ 400 ml เติมกรด ฟอร์มิก (formic acid) เข้มข้น 0.2% ปริมาณ 0.4% โดยปริมาตร กวนผสมให้เข้ากันจนยางเริ่มจับตัวเป็นก้อนปล่อยให้ทิ้งไว้ 30 นาที นำยางก้อนถ้วยออกจากถ้วยพลาสติกผึ่งลมที่อุณหภูมิห้องเป็น เวลา 0-6 วัน รวมตัวอย่าง 35 ก้อน

### 2.2 การตรวจวัดสเปกตรัม

เครื่อง FT-NIR spectrometer รุ่น NIR Flex N500 ผลิตโดย บริษัท Buchi Labortechnik, AG, Flawil ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์ พร้อมด้วยชุดบรรจุตัวอย่าง solid sample

holder (XL) ดัง Figure 1 โดยตรวจวัดแบบสะท้อนแสง (reflectance mode) ในช่วงจำนวนช่วงคลื่น (Wave number region) ต่อเซนติเมตร ตั้งแต่  $10000-4000\text{ cm}^{-1}$  ทุก  $16\text{ cm}^{-1}$  ของช่วงคลื่นแสงจะบันทึกค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดจำนวน 32 ครั้ง



Figure 1 FT-NIR spectrometer

เครื่อง DLP-NIR spectrometer ที่พัฒนาขึ้น (อยู่ระหว่างจดสิทธิบัตร) ดัง Figure 2 โดยตรวจวัดแบบสะท้อนแสง (reflectance mode) ในช่วงคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น (Wavelength region)  $900-1700\text{ nm}$



Figure 2 DLP-NIR spectrometer

ตัวอย่างยางก้อนถ้วยจะถูกสแกน 3 ส่วน คือ ส่วนหน้า (ปากถ้วย, F) ส่วนหลัง (ก้นถ้วย, B) และส่วนกลาง (กึ่งกลางภายในก้อนยาง, M) โดยตรวจวัดส่วนละ 5 ตำแหน่ง ดัง Figure 3

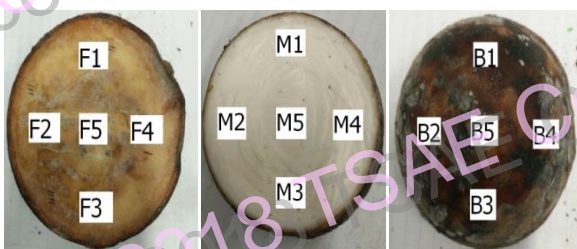


Figure 3 Scanning positions for the three parts of the cuplump are the front (F), the center (M) and the back (B).

### 2.3 การหาปริมาณเนื้อมายางแห้ง (DRC)

การหาปริมาณเนื้อมายางแห้ง (DRC) จากยางก้อนถ้วยใช้วิธีการอบแห้ง ที่  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 72 ชั่วโมง คำนวณการปริมาณความเนื้อมายางแห้ง

### 2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

เส้นสเปกตรัมของแต่ละส่วนของแต่ละตัวอย่างจะถูกเฉลี่ยจากการตรวจวัด 5 ซ้ำ ได้เส้นสเปกตรัมแต่ละส่วนของตัวอย่าง 35 เส้นสเปกตรัมรวม 105 เส้นสเปกตรัม การวิเคราะห์และสร้างสมการ Calibration โดยใช้ Partial least squares (PLS) regression และ Full cross validation ในการวิเคราะห์ข้อมูล ใช้โปรแกรม Unscrambler version 10.1 (Camo, Oslo, Norway)

### 3 ผลและวิจารณ์

#### 3.1 การตรวจวัดสเปกตรัมของตัวอย่าง

สเปกตรัมเริ่มต้นของทุกส่วนของทุกตัวอย่างในคุณสมบัติการดูดกลืนแสง (Absorbance) โดยการตรวจวัดด้วย เครื่อง FT-NIR spectrometer ในช่วงจำนวนช่วงคลื่น (Wave number region) ต่อเซนติเมตรตั้งแต่  $10000-4000\text{ cm}^{-1}$  แสดงใน Figure 4 และการตรวจวัดด้วย เครื่อง DLP-NIR spectrometer ในช่วงความยาวคลื่น (Wavelength region)  $900-1700\text{ nm}$  แสดงใน Figure 5

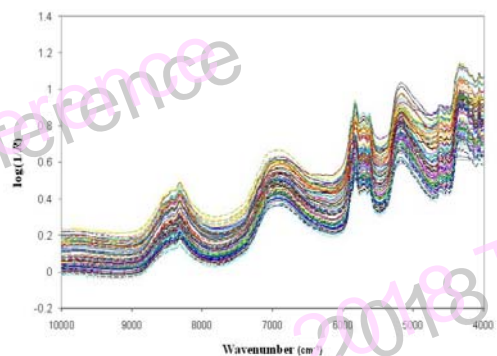


Figure 4 Original spectra of the samples with scanned by FT-NIR spectrometer

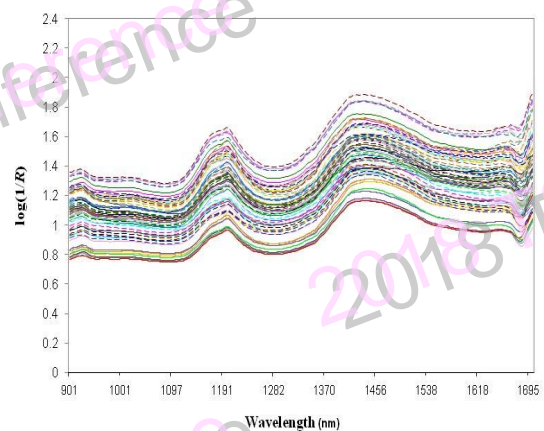


Figure 5 Original spectra of the samples with scanned by DLP-NIR spectrometer

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

จากผลการวิจัยจากสเปกตรัมเริ่มต้นของตัวอย่างทั้งหมด พบว่ามีการเลื่อนของเส้นสเปกตรัม (Base line) เนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นและปริมาณความชื้นที่ตำแหน่งที่ตรวจวัดของยางก้อนถ้วย ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยการผ่านคลื่นแสงของส้ม ซัทซุม่า (Satsuma oranges) ซึ่งศึกษาโดย Kawano et al (1993) ซึ่งเสนอแนะว่า การแก้ปัญหาคือการเลื่อนของเส้นสเปกตรัม (Base line) ได้โดยการทำเดอริเวทีฟลำดับที่สอง (Second derivative pretreatment) จากสเปกตรัมเริ่มต้นแสดงถึงช่วงการดูดกลืนคลื่นแสงที่สำคัญคือที่ความยาวคลื่น 1150-1240 nm หรือจำนวนคลื่นต่อเซนติเมตร 8695-8064  $\text{cm}^{-1}$  เป็นช่วงดูดกลืนแสงโอเวอร์โทนอันดับสองของพันธะ C-H เป็นโมเลกุลของสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) และ สารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compound) ในขณะที่ ที่ความยาวคลื่น 1650-1685 nm หรือจำนวนคลื่นต่อเซนติเมตร 6060-5934  $\text{cm}^{-1}$  เป็นช่วงดูดกลืนแสงโอเวอร์โทนอันดับสามของพันธะ C-H เป็นโมเลกุลของสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) เช่นกัน อย่างไรก็ตามที่ความยาวคลื่น 1030-1330 nm หรือจำนวนคลื่นต่อเซนติเมตร 9708-7518  $\text{cm}^{-1}$  เป็นช่วงดูดกลืนแสงโอเวอร์โทนอันดับสองของพันธะ O-H เป็นโมเลกุลของสารประกอบโพลิเมอร์ (polymer compound) ส่วนน้ำ (water) จะแสดงการดูดแสงที่ความยาวคลื่น 1450 nm หรือ จำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร 6869  $\text{cm}^{-1}$  เป็นช่วงดูดกลืนแสงโอเวอร์โทนอันดับหนึ่งของพันธะ O-H (Osborne et al.,1993 และ Williams, 2007)

(polymer compound) ส่วนน้ำ (water) จะแสดงการดูดแสงที่ความยาวคลื่น 1450 nm หรือ จำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร 6869  $\text{cm}^{-1}$  เป็นช่วงดูดกลืนแสงโอเวอร์โทนอันดับหนึ่งของพันธะ O-H (Osborne et al.,1993 และ Williams, 2007) นอกจากนั้นช่วงการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น

1685 -1720 nm หรือที่จำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร 5934-5813  $\text{cm}^{-1}$  และที่ความยาวคลื่น 2290 -2336 nm หรือที่จำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร 4366 - 4280  $\text{cm}^{-1}$  เป็นช่วงดูดกลืนแสงโอเวอร์โทนอันดับหนึ่ง และ คอมบิเนชันของพันธะ C-H เป็นโมเลกุลของยางธรรมชาติ สอดคล้องกับรายงานของ Marinho and Monterio (2000); Guilment and Bokobza (2001) และ Cornish et al. (2004)

### 3.2 การหาช่วงดูดกลืนคลื่นแสงและการปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสม

PLSR calibration ถูกนำมาพัฒนาเพื่อหาช่วงดูดกลืนคลื่นแสงและการปรับแต่งสเปกตรัมที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยจะหาโดยการกำหนดช่วงคลื่นแสงต่างๆกัน และหาผลของ PLSR calibration ที่เหมาะสมที่สุดจากสเปกตรัมเริ่มต้น เป็นการใช้คลื่นแสงทั้งหมด คือ จำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตรช่วง 10000 – 4000  $\text{cm}^{-1}$  สำหรับเครื่องตรวจวัดแบบ FT-NIR และ ที่ความยาวคลื่น 900 - 1700 nm เนื่องจากในช่วงการดูดกลืนแสงนี้เส้นสเปกตรัมได้แสดงลักษณะสำคัญของส่วนประกอบหลักในตัวอย่าง ประกอบกับผลของการคำนวณ PLSR calibration สำหรับการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยโดยการตรวจวัดในส่วนหน้า (ปากถ้วย, F) ส่วนหลัง (ก้นถ้วย, B) และส่วนกลาง (กึ่งกลางภายในก้อนยาง, M) โดยพิจารณาจากค่า SEP (Standard error of prediction) และ ค่า Bias พบว่า จะมีค่า SEP และค่า Bias น้อยที่สุดแสดงผลคำนวณใน Table 1

จาก Table 1 ผลการใช้วิธีการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) ผลการวิจัยพบว่าการตรวจวัดหาปริมาณ DRC ในยางก้อนถ้วยที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน ได้ค่า DRC ระหว่าง 46.23 ถึง 70.47 เปอร์เซ็นต์ และการตรวจวัด

Table 1 PLSR calibration results for predicting DRC in cup lump natural rubber using original spectra measured with FT-NIR Spectromerter (10000-4000 $\text{cm}^{-1}$ ) and DLP-NIR Spectromerter (900-1700nm).

Spectromerter	Sample part	Factor (F)	Parameter (unit)			
			R <sup>2</sup>	SECV (%)	SEPV (%)	Bias (%)
FT-NIR	Front	8	0.92	1.48	1.65	0.01
	Midle	8	0.94	1.33	1.45	0.01
	Back	10	0.86	1.68	2.15	0.04
DLP-NIR	Front	9	0.86	1.87	2.28	0.05
	Midle	9	0.88	1.76	1.88	0.03
	Back	11	0.82	2.12	2.74	0.08

หมายเหตุ เมื่อ F: Number of factors used in the calibration equation.

R: Multiple correlation coefficients.

SECV: Standard error of calibration.

SEPV: Bias-corrected standard error of prediction.

Bias: The average of difference between actual value and NIR-value

จาก Table 1 ผลการใช้วิธีการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) ผลการวิจัยพบว่าการตรวจวัดหาปริมาณ DRC ในยางก้อนถ้วยที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน ได้ค่า DRC ระหว่าง 46.23 ถึง 70.47 เปอร์เซ็นต์ และการตรวจวัดโดยใช้เทคนิค FT-NIRs และ DLP-NIRs ที่ส่วนกลางยางก้อนถ้วยเหมาะสมที่สุด ได้จำนวนแพคเตอร์ ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา ( $R^2$ ) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (SECV) คือ 8 0.94 1.33% และ 9 0.88 1.76% ตามลำดับ ในขณะที่ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEPV) และ ค่าความผิดพลาด (bias) คือ 1.45% และ 0.01% และ 1.88% และ 0.03% ตามลำดับ

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายปริมาณ DRC ในยางก้อนถ้วยที่เก็บเป็นเวลา 0-6 วัน ที่ส่วนกลางยางก้อนถ้วย โดยใช้สเปคตรัมเริ่มต้น และสมการ Calibration ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตรวจวัดด้วยเทคนิค FT-NIRs ที่ช่วงจำนวนคลื่นแสง 10000 – 4000  $\text{cm}^{-1}$  ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายของชุดข้อมูลคาร์ิบเรชัน (calibration) และ วาลิเดชัน (validation) ดัง Figure 6 ในทำนองเดียวกัน Figure 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายของชุดข้อมูลคาร์ิบเรชัน (calibration) และ วาลิเดชัน (validation) สำหรับการตรวจวัดด้วยเทคนิค DLP-NIRs ที่ช่วงความยาวคลื่นแสง 900 – 1700nm

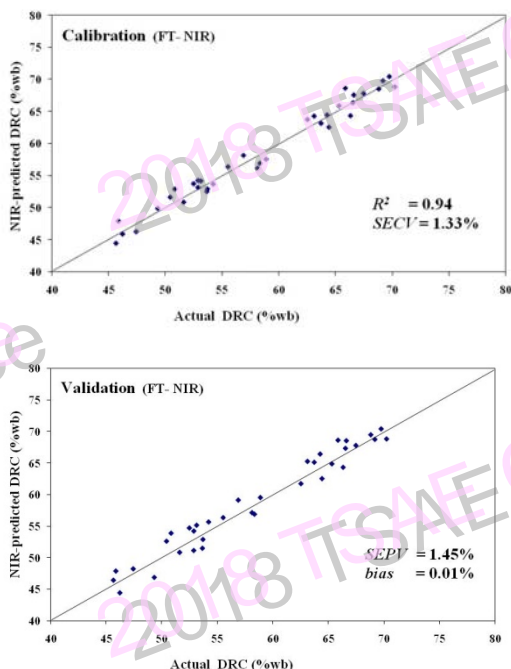


Figure 6 Scatter plot of DRC in cup lump comparing the model estimates with the actual values of calibration and validation, measuring with FT-NIR spectrometer

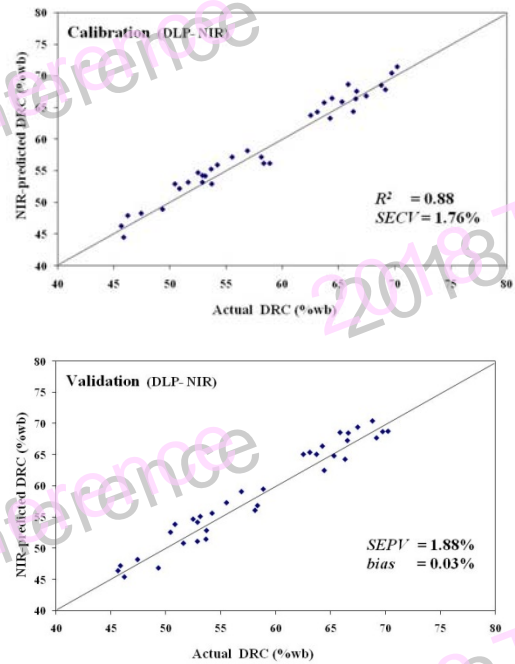


Figure 7 Scatter plot of DRC in cup lump comparing the model estimates with the actual values of calibration and validation, measuring with DLP-NIR spectrometer

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายของชุดข้อมูลคาร์ิบเรชัน (calibration) และ วาลิเดชัน (validation) จากการตรวจวัดด้วยทั้งสองเครื่องมือพบว่าการตรวจวัดด้วยเทคนิค FT-NIRs ที่ช่วงจำนวนคลื่นแสง 10000 – 4000  $\text{cm}^{-1}$  มีความแม่นยำมากกว่าการตรวจวัดด้วยเทคนิค DLP-NIRs ที่ช่วงความยาวคลื่นแสง 900 – 1700nm และแสดงให้เห็นว่า การพัฒนาระบบการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยแบบรวดเร็วโดยใช้เทคนิค FT-NIRs และ DLP-NIRs โดยไม่ทำลายด้วยคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้แบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มมีความเหมาะสม แม่นยำ และพัฒนาใช้ได้ใน การตรวจสอบได้จริง

#### 4 สรุป

การพัฒนาระบบการตรวจสอบมีความแม่นยำถูกต้องสูงโดยไม่ทำลายตัวอย่างด้วยคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้แบบเทคนิค FT-NIRs และ DLP-NIRs สำหรับการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยกำหนดจำนวนคลื่นแสงอินฟราเรดย่านใกล้ต่อเซนติเมตร 10000 – 4000  $\text{cm}^{-1}$  และที่ช่วงความยาวคลื่นแสง 900 – 1700 nm โดยใช้สเปคตรัมเริ่มต้น โดยการคำนวณวิธี PLSR calibration สามารถใช้ในการทำนายที่มีความเหมาะสม แม่นยำ และสามารถพัฒนาผลงานวิจัยนี้ในหาปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่างรวดเร็ว ป้องกันความเสียหายในกระบวนการแปรรูปยางพารา ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านการค้า การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

## 5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยและตรวจสอบสินค้าแบบไม่ทำลาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่นที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ และทุนสนับสนุนงานวิจัย

## 6 เอกสารอ้างอิง

ณพรัตน์ วิจิตรชลชัย. 2560. หลักปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับหลักการผลัดยางก้อนถ้วย. ฝ่ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง การยางแห่งประเทศไทย

สถาบันวิจัยยาง. 2559. สถิติยางประเทศไทย กรมวิชาการเกษตร

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ วารสารเศรษฐกิจการเกษตร ปีที่ 60 ฉบับที่ 686

Cornish, K., Myers, M.D., Kelley, S.S. 2004. Latex quantification in nonhomogeneous and purified latex samples from various plant species using near infrared reflectance spectroscopy. *Ind. Crop. Prod.* 19, 283-296.

Guilment, J., Bokobza, I. 2001. Determination of polybutadiene microstructures and styrenebutadiene copolymer composition by vibrational techniques combined with chemometric treatments. *Vibrat. Spectrosc.* 26, 133-149.

ISO 2010. Animal feeding stuffs cereals and milled cereal products – Guidelines for the application of near infrared spectrometry. ISO 12099 1<sup>st</sup> ed.

Kawano, S., Fujiwara, T., Iwamoto, M. 1993. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 62 (2), 465.

Kleine, L. G., Foster, M.A. 1990. Chemometric NIR calibration for guayule analysis. In: Naqui, H.H., Estilai, A., Ting, J.P. (Eds.), *Proceeding of the first international conference on new industrial crops and products*, October 8-12, 1990 Riverside CA.

Manley, M.L., Van Zyl, Osborne, B.G. 2002. *J. Near Infrared Spectrosc.* 10, 71-76

Marinho, J.R.D., Monterio, E.E.C. 2000. Analysis natural cis and trans- polyisoprene mixtures by near infrared spectrophotometry. *Polyn. Test* 19, 667-672.

Marten, G., Shenk, J., Barton, III. F. 1985. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRs): Analysis of Forage quality. USDA. Agriculture Research Service. Handbook No. 643.

Osborne, B.G., Fearn, T., Hindle, P.H. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK

Rittiron, R., Seehaluk, W. 2014. Moisture content in raw rubber sheet analyzed by transmittance near infrared spectroscopy. *J. of Innovative Optical Health Sciences.* 7(4): 1350068-1-6.

Simon, F., Kunkel, S., Oehler H., Lellinger D., Spahn P., Alig I. 2011. Investigation of deformation mechanisms during latex film formation by combination of unilateral NMR and near infrared measurements. *Progress in Organic Coatings.* 70, 230-239.

Suchat, S., Theanjumol, P., Karrila, S. 2015. Rapid moisture determination for cup lump natural rubber by near infrared spectroscopy. *Industrial Crops and Products.* 76: 772-778.

Supprung, P., Ratre, S., Petchsing, C., Trisuvanawat, W. 2012. Prediction of insect damaged rough rice contamination using FT NIRs and NIR hyperspectral imaging. *The 3<sup>rd</sup> Asian NIR symposium*, 14-18 May 2012, Bangkok, Thailand.

Tarkosova, J., Copikova, J. (2000). *J. Near Infrared Spectrosc.* 8, 251-257

Williams, P. 2007. in *Near Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*, Ed by Y. Ozaki, W. Fred McClure and A.A. Christy. Wiley Interscience, A John Wiley & Sons, Inc., USA. p. 165