

การพัฒนาอุปกรณ์แบบพกพาเพื่อหาปริมาณความชื้น ของยางพาราแผ่นดิบด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Development of Portable Device for Moisture Content Determination of Para Rubber Sheet Based on Near Infrared Spectroscopy

อมรเดช พุทธิพิพัฒน์ขจร

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

อมรฤทธิ์ พุทธิพิพัฒน์ขจร*

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Amorndej Puttipipatkajorn

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen,

Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom 73140

Amornrit Puttipipatkajorn*

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen,

Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom 73140

บทคัดย่อ

ยางพาราแผ่นดิบเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากยางพาราธรรมชาติชนิดหนึ่งซึ่งถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นในอุตสาหกรรมแปรรูปยางพาราหลายประเภท ยางพาราแผ่นดิบที่มีคุณภาพจะต้อง สะอาด ไม่มีฟองอากาศ มีสีสวย สม่ำเสมอตลอดแผ่น และมีค่าความชื้นตามค่ามาตรฐานที่กำหนด ปัจจุบันการประเมินคุณภาพยางพาราแผ่นดิบอาศัยการสังเกตจากผู้ชำนาญการเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความชื้นของยางพาราแผ่นดิบ เพื่อช่วยให้การประเมินคุณภาพยางพาราแผ่นดิบถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น การวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การพัฒนาและออกแบบเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพาที่ทำงานร่วมกับโทรศัพท์มือถือสำหรับใช้งานในช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 นาโนเมตร และการพัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนายค่าความชื้นของยางพาราแผ่นดิบด้วยวิธีถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares regression, PLSR) ที่มีการปรับแต่งข้อมูล

สเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน 3 วิธี คือ การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (standard normal variate, SNV) อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (1^{st} derivative) และอนุพันธ์อันดับที่สอง (2^{nd} derivative) ผลการทดลองพบว่าแบบจำลองที่ปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งให้ผลการทำนายดีที่สุด โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) 0.977 ค่าความผิดพลาดของการทำนาย (root mean square error of prediction, RMSEP) 0.227 %db และส่วนเหลือของการเบี่ยงเบนจากการทำนาย (residual prediction deviation, RPD) 6.576 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ยางพาราแผ่นดิบ; ความชื้น; สเปกโตรมิเตอร์แบบพกพา; เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Abstract

Para rubber sheet is one of the primary products of natural rubber, which used in various rubber industries. High quality Para rubber sheet must be clean without air bubble, consistency of beautiful color, and has a moisture content in line with an accepted standard value. Nowadays, Para rubber quality needs to be evaluated by the experts only. Therefore, this research aims to develop a portable device for moisture content determination of Para rubber sheet, leading to more accurate quality evaluation comparing to the traditional method. The research composed of 2 parts, i.e. the development of portable spectrometer in the range of 900-1700 nm worked with smart phone, and the development of prediction model for moisture content determination using partial least squares regression (PLSR) with 3 different spectra pretreatment methods (standard normal variate (SNV), the 1^{st} derivative, and the 2^{nd} derivative). The experiments revealed that the model based on the 1^{st} derivative presented the best prediction results as represented by coefficient of determination (R^2) of 0.977, root mean square error for prediction (RMSEP) of 0.227 %db, and residual prediction deviation (RPD) of 6.576, respectively.

Keywords: Para rubber sheet; moisture content; portable spectrometer; near-infrared spectroscopy

1. บทนำ

ยางพาราเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย และนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมยางพารา ได้แก่ ถุงมือยาง ล้อ ยางรถยนต์ ผลิตภัณฑ์ที่มียางเป็นองค์ประกอบ เป็นต้น ยางพาราแผ่นดิบถือเป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นที่สำคัญสำหรับแปรรูปในอุตสาหกรรมยางพาราชนิดหนึ่ง ดังนั้นชาวสวนยางพาราส่วนใหญ่จึงนิยมผลิตยางพารา

แผ่นดิบเพื่อจำหน่ายมากกว่าการผลิตยางพาราในรูปแบบอื่น ๆ การผลิตยางพาราแผ่นดิบให้มีคุณภาพสูงจึงมีความสำคัญและเป็นตัวกำหนดราคาที่ชาวสวนยางจะได้รับ ปัจจุบันมีการกำหนดมาตรฐานยางพาราแผ่นดิบที่มีคุณภาพลำดับที่ 1 เอาไว้เพื่อประโยชน์ในการซื้อขายของเกษตรกรชาวสวนยางดังนี้ แผ่นยางต้องมีความสะอาดและปราศจากฟองอากาศตลอดแผ่น มีความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 1.5 % มีความยืดหยุ่นดี

และมีลายดอกเด่นชัดตลอดแผ่น แผ่นยางบางมีความหนาของแผ่นยางไม่เกิน 3 มิลลิเมตร เนื้อยางแห้งไม่มีสี สวยสม่ำเสมอตลอดแผ่น ลักษณะสีเหลืองทองหรือเหลืองอ่อนไม่มีสีคล้ำหรือรอยดำดำ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่น 0.8-1.2 กิโลกรัม แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 38-46 เซนติเมตรและยาว 80-90 เซนติเมตร ส่วนยางพาราแผ่นดิบคุณภาพลำดับที่ 2-4 ก็จะมีสมบัติในแต่ละข้อด้อยลงตามลำดับ [1]

ปัจจุบันพบว่า การตรวจสอบคุณภาพยางพาราแผ่นดิบถูกประเมินด้วยสายตาและการสัมผัสของผู้ชำนาญการ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประเมินค่าความชื้นของยางพาราแผ่นดิบให้ได้ค่าที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องวัดค่าความชื้นยางพาราแผ่นดิบเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยประเมินคุณภาพที่มีความแม่นยำและถูกต้องมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถลดการนำเข้าอุปกรณ์วัดราคาแพงจากต่างประเทศ การศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy, NIRS) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ได้รับการยอมรับ และนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านการเกษตรและอาหารเป็นจำนวนมาก [2] รวมถึงการนำไปใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพยางพาราในหลายรูปแบบ เช่น Suchata และคณะ [3] ศึกษาการหาปริมาณความชื้นของยางก้อนถ้วยแบบรวดเร็วโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในช่วงความยาวคลื่น 400-1,100 นาโนเมตร ด้วยวิธีการวัดแบบสะท้อนกลับ และพัฒนาแบบจำลองการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) เพื่อทำนายปริมาณความชื้นของยางก้อนถ้วย พบว่าแบบจำลองให้ค่า R^2 0.98 ค่า SEP 1.48 % และ bias 0.02 %

รวพันธ์ [4] ศึกษาการใช้สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงความยาวคลื่น 1,100-2,500

นาโนเมตร เพื่อวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำยางสดและน้ำยางข้น ด้วยแบบจำลองการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) เพื่อทำนายค่าความหนืด ซึ่งพบว่าสามารถทำนายค่าความหนืดของน้ำยางสดและน้ำยางข้นอย่างแม่นยำ

Sirisomboon และคณะ [5] ศึกษาการนำ portable spectrometer (Avantes, Netherland) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดแบบพกพาในช่วงความยาวคลื่น 370-1,085 นาโนเมตร ไปใช้วิเคราะห์หาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางและสร้างแบบจำลอง PLSR สำหรับการวิเคราะห์ ผลที่ได้ คือ แบบจำลองสามารถทำนายปริมาณเนื้อยางแห้งอย่างถูกต้อง โดยให้ค่า R^2 0.9741 ค่า RMSECV 1.09 % ตามลำดับ

รณฤทธิ์ และคณะ [6] พัฒนาเครื่อง LED based near infrared spectrometer เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้นยางพาราแผ่นดิบด้วยหลักการแบบส่องทะลุผ่านโดยใช้หลอดเปล่งแสง (light emitting diode, LED) ที่ความยาวคลื่น 830, 890, 945 และ 1,450 นาโนเมตร ผลการทดสอบพบว่าสามารถวัดปริมาณความชื้นยางพาราแผ่นดิบได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (standard error of prediction, SEP) และค่า bias 0.32 %db และ 0.05 %db ตามลำดับ

นอกจากวิธีวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ดังที่กล่าวมาแล้ว ชูศักดิ์ และคณะ [7] ได้พัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นยางพาราแผ่นดิบด้วยการวัดสมบัติทางไฟฟ้า เช่น การวัดค่าความจุไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า และนำไปทำนายปริมาณความชื้นโดยพบว่าปริมาณความชื้นสัมพันธ์กับค่าความจุไฟฟ้าในรูปเอ็กโพเนนเชียล ($R^2 = 0.78$) และให้ความถูกต้องมากกว่าค่าความต้านทานไฟฟ้า

งานวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่าการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถนำไปใช้

ประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ยางพาราได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้อง ลดความผิดพลาดจากการประเมินคุณภาพ ด้วยวิธีเดิม แต่เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่มีราคาสูงจึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำไปใช้จริง ทำให้ผู้ประกอบการขนาดเล็กหรือเกษตรกรชาวสวนยางไม่สามารถเข้าถึงเครื่องมือนี้ได้ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการพัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นยางพาราแผ่นดิบราคาถูกทั้งแบบที่ใช้หลอดเปล่งแสง (LED) ที่ความยาวคลื่น 830, 890, 945 และ 1,450 นาโนเมตร หรือแบบใช้การวัดทางไฟฟ้าแล้วก็ตาม แต่เครื่องมือดังกล่าวก็ยังให้ความถูกต้องไม่สูงมากนัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพาประสิทธิภาพสูงแต่มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อื่นในช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 นาโนเมตร โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่ออกแบบมีหลักการทำงานแบบสะท้อนกลับ และมีจุดเด่นที่สามารถควบคุมผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Android นอกจากนี้ยังได้พัฒนาแบบจำลองโดยใช้วิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) เพื่อวัดปริมาณความชื้นยางพาราแผ่นดิบ โดยแบบจำลองที่ได้จะนำไปใช้ร่วมกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพาที่ออกแบบไว้

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การออกแบบสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพา

สเปกโตรมิเตอร์แบบพกพา (รูปที่ 1) ออกแบบให้มีรูปแบบการวัดแบบสะท้อนกลับ (reflectance mode) มีช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 นาโนเมตร มีความละเอียด 5 นาโนเมตร มีขนาด $6.5 \times 17.0 \times 4.5$ เซนติเมตร ภายในบรรจุ DLP nirscan nano ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญ คือ เกรตติงเลี้ยวเบน (diffraction grating) ทำหน้าที่แยกแสงที่ผ่านเข้ามาออกเป็นหลาย ๆ ความยาวคลื่นในทิศทาง

ต่าง ๆ กันและเดินทางไปตกกระทบกับกระจกอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก (digital micro mirror device, DMD) ซึ่งทำหน้าที่สะท้อนความยาวคลื่นที่ละความยาวคลื่นจากน้อยไปมากเพื่อตกกระทบบนเซ็นเซอร์รับแสงชนิด indium gallium arsenide (InGaAs) ทำให้ได้เส้นสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 นาโนเมตร มีหลอดเปล่งแสง (light emitting diode, LED) กำเนิดแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ มีปุ่มกดสำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ดังนี้ คือ ปุ่มรีเซ็ตการทำงานของอุปกรณ์ (reset button) ปุ่มกดเพื่อออกจากสภาวะหลับใหล (wake button) และปุ่มกดเพื่อสั่งให้อุปกรณ์อ่านสเปกตรัมจากตัวอย่างหรือใช้เพื่อเชื่อมต่อกับ smart phone หรือ tablet ด้วยสัญญาณ bluetooth อุปกรณ์ออกแบบให้ทำงานโดยใช้แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาด 3.7V 1,800 มิลลิแอมป์ ชั่วโมง เครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพานี้ออกแบบให้ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ android เพื่อแสดงผลและควบคุมการใช้งานบนอุปกรณ์ smart phone หรือ tablet โดยเชื่อมต่อผ่าน bluetooth low energy (BLE) เวอร์ชัน 4.0 ซึ่งควบคุมการทำงานโดย TI bluetopia stack ที่อยู่ภายในหน่วยประมวลผลขนาดเล็กของ DLP nirscan nano

2.2 การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการวัดค่าความชื้นของยางพาราแผ่นดิบ

แอปพลิเคชันสำหรับการวัดค่าความชื้นของยางพาราแผ่นดิบพัฒนาบนระบบปฏิบัติการ android studio 2.3.3 โดยอาศัย KST SDK ทำงานร่วมกับ DLP spectrum library ซึ่งเป็นที่รวบรวมคำสั่งภาษาซี สำหรับการส่งงานอุปกรณ์ผ่านแอปพลิเคชัน ได้แก่ การคำนวณความเข้มแสงสะท้อนกลับ (reflectance intensity) หรือความเข้มแสงที่ถูกดูดกลืน (absorbance intensity) จากการสแกนในแต่ละ

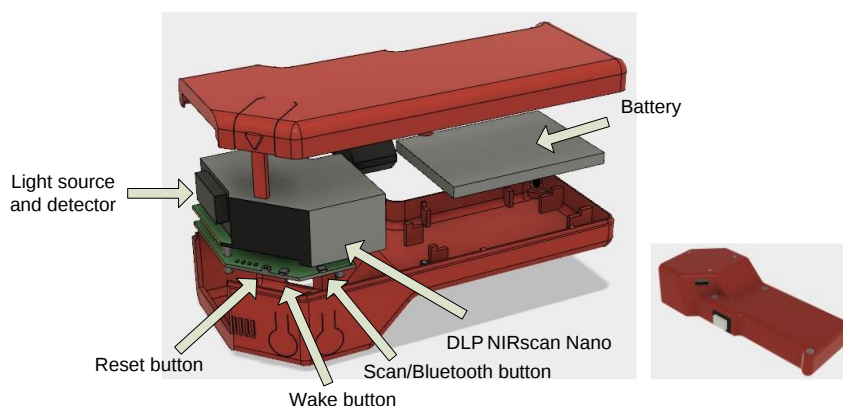


Figure 1 Components of spectrometer

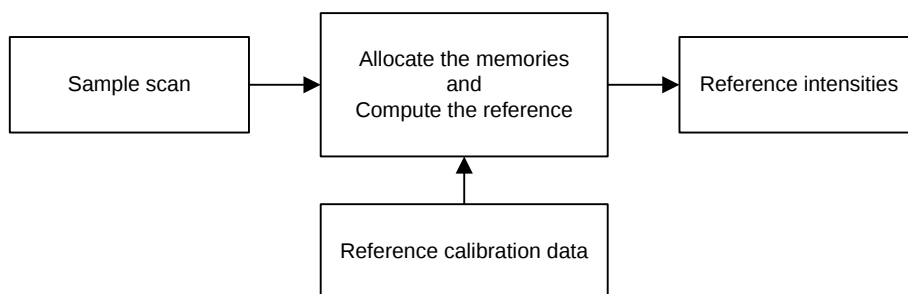


Figure 2 Reference intensity calculation

ครั้ง และการคำนวณความเข้มแสงอ้างอิง (reference intensity) ของแต่ละความยาวคลื่น เป็นต้น โดยความเข้มแสงอ้างอิงคำนวณได้จากข้อมูลที่ใช้สอบเทียบอ้างอิง (reference calibration data) ซึ่งเก็บอยู่ภายใน DLP nirscan nano และตัวอย่างที่ต้องการใช้เป็นค่าอ้างอิง (sample scan) แสดงดังรูปที่ 2

สำหรับการคำนวณความเข้มแสงสะท้อนกลับจะต้องนำความเข้มแสงอ้างอิงจากขั้นตอนก่อนหน้านี้มาคำนวณร่วมกับความเข้มแสงที่ได้จากตัวอย่าง (สมการที่ 1) ส่วนการคำนวณความเข้มแสงที่ถูกดูดกลืนคำนวณได้จากค่าลบของลอการิทึมฐานสิบของความเข้มแสงสะท้อนกลับ (สมการที่ 2) และนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปแสดงผลในแอปพลิเคชันต่อไป

$$\text{Reflectance} = \text{Sample/Reference} \quad (1)$$

$$\text{Absorbance} = -\log_{10} (\text{Reflectance}) \quad (2)$$

แอปพลิเคชันถูกออกแบบให้ทำงาน 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะปรากฏขึ้นมาเมื่อเปิดแอปพลิเคชัน โดยส่วนนี้จะทำหน้าที่เชื่อมต่อสเปกโตรมิเตอร์เข้ากับ smart phone ผ่าน bluetooth โดยกดปุ่ม CONNECT (รูปที่ 3a) เมื่อเชื่อมต่อสำเร็จจะนำไปสู่ส่วนที่สอง คือ ส่วนประมวลผลและแสดงผลการทำนายความชื้นของยางพาราแผ่นดิบ โดยส่งงานผ่านปุ่ม SCAN บนหน้าจอแอปพลิเคชัน เมื่อส่งงานสำเร็จข้อมูลสเปกตรัมที่อ่านได้จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์จะถูกส่งกลับมายังแอปพลิเคชันเพื่อคำนวณค่าความเข้มแสงที่ถูกดูดกลืนและทำนายปริมาณความชื้นของยางพาราแผ่นดิบด้วยแบบจำลอง PLSR พร้อมแสดงผลบนหน้าจอ (รูปที่ 3b)

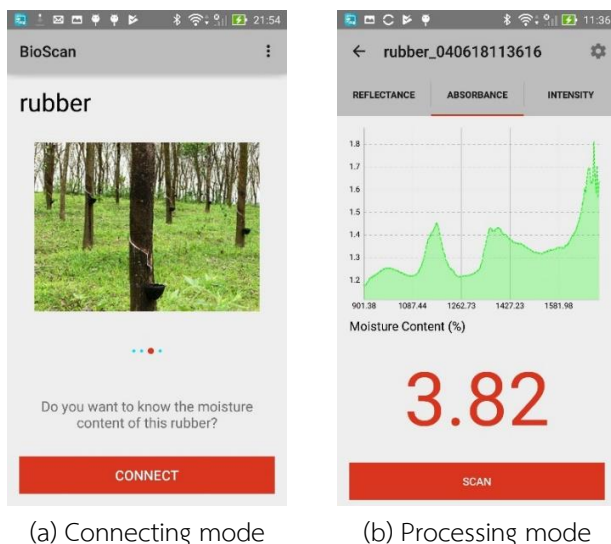


Figure 3 Application design for moisture content determination of Para rubber sheet

2.3 การเตรียมยางพาราแผ่นดิบและการหาความชื้นของยางพาราแผ่นดิบ

ยางพาราแผ่นดิบที่ใช้ในการทดลองถูกเตรียมจากเกษตรกรสวนยางจังหวัดชลบุรี โดยเลือกยางพาราแผ่นดิบที่มีความชื้นแตกต่างกัน เนื่องจากยางพาราแผ่นดิบที่ได้จากเกษตรกรมีขนาดใหญ่ ดังนั้นก่อนนำมาใช้ในการทดลองจะลดขนาดให้เหลือ 5x5 เซนติเมตร สำหรับการทดลองจะใช้ตัวอย่างยางพาราแผ่นดิบทั้งหมด 300 ตัวอย่าง ความชื้นของยางพาราแผ่นดิบสามารถหาได้โดยการนำยางพาราแผ่นดิบไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดยเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งหาได้จากความแตกต่างของน้ำหนักยางพาราแผ่นดิบก่อนและหลังอบคุณด้วยหนึ่งร้อยและหารด้วยน้ำหนักยางพาราแผ่นดิบหลังอบ

2.4 การเก็บข้อมูลและการปรับแต่งสเปกตรัม

เนื่องจากยางพาราแผ่นดิบจะถูกขึ้นลายด้วยการใช้ลูกกลิ้งขณะรีดให้เป็นแผ่น ดังนั้นยางพาราแผ่นดิบจะมีพื้นผิวที่ไม่เรียบ ทำให้การสะท้อนกลับของแสงจากแผ่นยางพาราไม่เหมือนกันในแต่ละตำแหน่งของแผ่นยาง ดังนั้นถ้าเก็บข้อมูลสเปกตรัมของ

ยางพาราแผ่นดิบเพียงตำแหน่งเดียวอาจจะทำให้ได้ข้อมูลสเปกตรัมที่คลาดเคลื่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเก็บข้อมูลสเปกตรัมจากตัวอย่างยางพาราแผ่นดิบจำนวน 4 ตำแหน่ง (รูปที่ 4a) และนำสเปกตรัมทั้ง 4 เส้น (รูปที่ 4b) ไปปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี standard normal variate (SNV) (รูปที่ 4c) เพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงแสงที่ต่างกัน จากนั้นจึงนำสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งข้อมูลแล้วมาหาค่าเฉลี่ย (รูปที่ 4d) เพื่อใช้เป็นตัวแทนสเปกตรัมของยางพาราแผ่นดิบแผ่นนั้น ๆ เก็บข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีการข้างต้นจากตัวอย่างทั้งหมดและก่อนที่จะนำสเปกตรัมของตัวอย่างไปใช้พัฒนาแบบจำลอง สเปกตรัมทั้งหมดจะต้องปรับแต่งเพื่อลดผลการกระเจิงของแสงที่แตกต่างกันระหว่างตัวอย่างและสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในสเปกตรัม โดยสเปกตรัมจะถูกปรับแต่งด้วยวิธีการต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ SNV หรืออนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (1st derivative) หรืออนุพันธ์อันดับที่สอง (2nd derivative) เพื่อหาว่าวิธีการใดจะให้ผลลัพธ์ของการทำนายดีที่สุดเมื่อนำไปพัฒนาแบบจำลอง ขั้นตอนการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมและการพัฒนาแบบจำลอง PLSR ทำโดยใช้โปรแกรม MATLAB และ statistics and machine learning toolbox

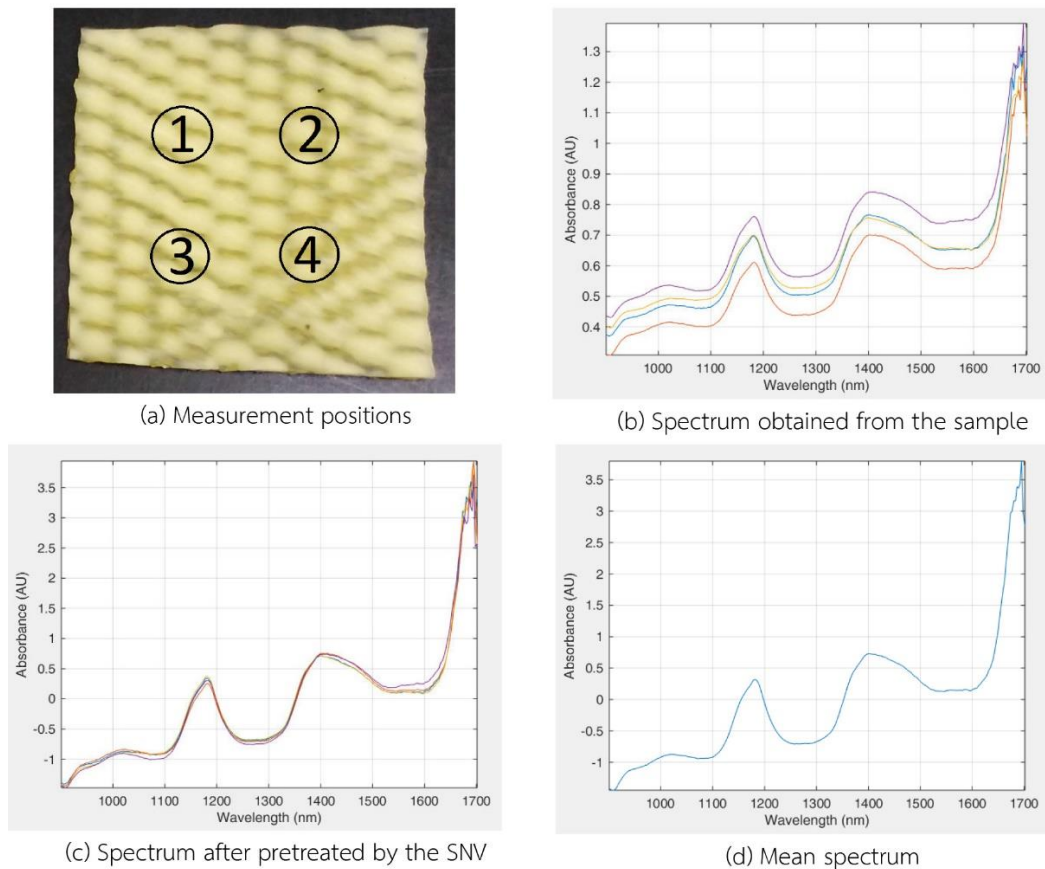


Figure 4 Spectrum acquisition procedure

2.5 แบบจำลองเชิงเส้นสำหรับทำนายความชื้นของยางพาราแผ่นดิบ

สำหรับการศึกษานี้จะเลือกใช้แบบจำลองเชิงเส้นที่เรียกว่าการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares regression, PLSR) [8] เพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งของยางพาราแผ่นดิบ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีในงานด้านสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จึงเป็นแบบจำลองที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางโดยต้นแบบของแบบจำลอง PLSR แสดงดังสมการที่ 3

$$Y = bX + e \quad (3)$$

แบบจำลอง PLSR จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัม (X) และ สมบัติทางกายภาพ

หรือทางเคมี (Y) เมื่อ b คือ สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (regression coefficients) และ e คือ ส่วนเหลือของแบบจำลอง (model residual)

สำหรับการทดลองได้ใช้ตัวอย่างยางพาราแผ่นดิบจากกลุ่มพัฒนาแบบจำลอง 200 ตัวอย่างสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง PLSR การสร้างแบบจำลอง PLSR จะต้องเลือกจำนวนองค์ประกอบ (latent variable, LV) ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง ซึ่งการหาจำนวนองค์ประกอบที่เหมาะสมของแบบจำลองจะใช้วิธี cross validation ซึ่งวิธีนี้จะแบ่งข้อมูลแบบสุ่มออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกสำหรับสร้างแบบจำลอง ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งใช้สำหรับทดสอบแบบจำลอง วิธีการนี้จะกำหนดจำนวนองค์ประกอบให้กับแบบ

จำลองเพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง และพิจารณาว่าที่องค์ประกอบใดจะทำให้ได้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (mean square error, MSE) ต่ำที่สุด องค์ประกอบนั้นจะถูกเลือกเป็นจำนวนองค์ประกอบที่เหมาะสมของแบบจำลอง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

เมื่อนำตัวอย่างยางพาราแผ่นดิบ 300 ตัวอย่าง ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มพัฒนาแบบจำลอง (calibration set) จำนวน 200 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบแบบจำลอง (validation set) จำนวน 100 ตัวอย่าง เก็บข้อมูลสเปกตรัมด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพาที่ออกแบบ จากนั้นนำไปหาปริมาณความชื้น ซึ่งแสดงช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่าเฉลี่ยความชื้นของยางพาราแผ่นดิบของทั้งกลุ่มพัฒนาและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง (ตารางที่ 1)

นำสเปกตรัมเฉลี่ยของตัวอย่าง 200 ตัวอย่าง จากกลุ่มพัฒนาแบบจำลองมาปรับแต่งสเปกตรัมด้วย

วิธี SNV อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งและอนุพันธ์อันดับที่สอง พัฒนาแบบจำลอง PLSR จำนวน 4 แบบจำลอง ที่สอดคล้องกับวิธีการปรับแต่งข้อมูล ผลการทำนายความชื้นของยางพาราแผ่นดิบของแบบจำลองทั้ง 4 แบบจำลอง ทั้งกลุ่มพัฒนาแบบจำลอง 200 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบแบบจำลอง 100 ตัวอย่าง เปรียบเทียบความสามารถในการทำนายของแบบจำลองด้วยค่า R^2 , RMSEC, RMSEP และ RPD (ตารางที่ 2)

$$\text{ขณะที่ } R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}$$

$$\text{RMSEC or RMSEP} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \text{ และ}$$

$$\text{RPD} = \frac{SD}{RMSEP} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}}$$

โดย $n, y_i, \hat{y}_i, y_m$ แทนจำนวนตัวอย่าง ค่าอ้างอิง ค่าจากการทำนายของตัวอย่างที่ i และค่าเฉลี่ยของค่าอ้างอิงของกลุ่มพัฒนาหรือกลุ่มทดสอบแบบจำลองตามลำดับ

Table 1 Moisture content of Para rubber sheet

Sample sets	No. of samples	Dry basis (%db)	Averages ± standard deviations
Calibration set	200	0.24-4.87	2.06±1.48
Validation set	100	0.24-4.81	2.00±1.50

Table 2 Statistical comparison of different spectra pretreatment methods

Calibration model	Spectra pretreatments	LV	Calibration set			Validation set		
			R^2	RMSEC	RPD	R^2	RMSEP	RPD
PLSR	None	20	0.986	0.176	8.373	0.977	0.229	6.555
	SNV	20	0.986	0.175	8.405	0.976	0.230	6.508
	1 st derivative	16	0.986	0.177	8.312	0.977	0.227	6.576
	2 nd derivative	14	0.981	0.206	7.131	0.969	0.263	5.559

ผลการทำนายความชื้นของยางพาราแผ่นดิบด้วยแบบจำลอง PLSR พบว่าแบบจำลองที่ข้อมูล

สเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1 ให้ผลการทำนายดีที่สุดด้วยค่า R^2 0.977 ค่า RMSEP 0.227

%db และมีค่า RPD สูงถึง 6.576 แสดงว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการทำนายที่ดี [9] และเมื่อเปรียบเทียบกับ การหาความชื้นยางพาราแผ่นดิบโดยการวัดสมบัติทางไฟฟ้า [7] ซึ่งให้ค่า R^2 เพียง 0.78 ดังนั้นการทำนายความชื้นยางพาราแผ่นดิบด้วยวิธีสเปกโทรสโกปีจึงเป็นวิธีการหาความชื้นทางอ้อมที่รวดเร็วและความแม่นยำสูง รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นจริง (reference value) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ทำนายจากแบบจำลอง (predicted value) ของแบบจำลองที่ข้อมูลสเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นจริงและปริมาณความชื้นที่ถูกทำนายที่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันและยังแสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของแบบจำลองอีกด้วย ถึงแม้ว่าแบบจำลองที่ถูกปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1 จะให้ผลการทำนายที่ดีที่สุด แต่ผลการทดลองพบว่าสเปกตรัมที่ไม่ถูกปรับแต่งก็ให้ผลการทำนายแม่นยำใกล้เคียงกับการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1 ด้วยค่า RMSEP เท่ากับ 0.229 %db ดังนั้นแบบจำลองที่ไม่ถูกปรับแต่งสเปกตรัมอาจถูกพิจารณานำมาใช้แทนแบบจำลองที่ถูกปรับแต่งด้วยวิธี

อนุพันธ์อันดับที่ 1 เนื่องจากการลดขั้นตอนในการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม

การพิจารณาสเปกตรัมเฉลี่ยของตัวอย่างยางพาราแผ่นดิบที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน (รูปที่ 6) พบว่าสเปกตรัมเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อความชื้นของยางพาราแผ่นดิบเปลี่ยนแปลงไป โดยที่ความยาวคลื่นประมาณ 1,100-1,225 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบที่สำคัญของยางพาราซึ่งประกอบด้วยพันธะ CH และ CH_3 คือพอลิไอโซพรีน [10] และที่ความยาวคลื่นประมาณ 1,400-1,600 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงของน้ำซึ่งประกอบด้วยพันธะ O-H [11] และพันธะ CH และ CH_3 ของพอลิไอโซพรีน แต่จากข้อมูลสเปกตรัมรูปที่ 6 พบว่าในช่วงความยาวคลื่น 1,400-1,600 นาโนเมตร น้ำจะมีอิทธิพลมากกว่าพอลิไอโซพรีน เพราะหาเมื่อปริมาณความชื้นในตัวอย่งลดลงพบว่าจะมีค่าการดูดกลืนแสงลดต่ำลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของแบบจำลอง (รูปที่ 7) ซึ่งพบว่าที่ความยาวคลื่น 1,447 นาโนเมตร (ตรงกับการดูดกลืนแสงของน้ำ) จะมีอิทธิพลต่อการทำนายความชื้นมาก

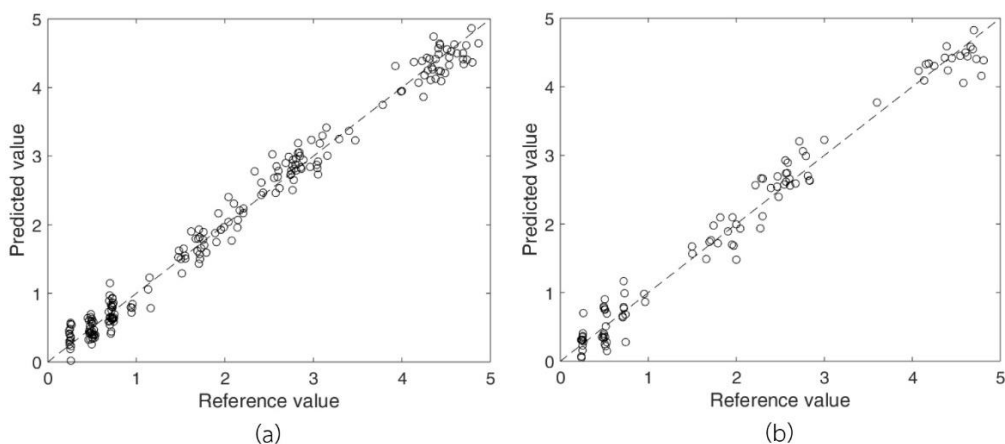


Figure 5 Scatter plot of predicted value and reference moisture content using the 1st derivative (a) calibration set (b) validation set.

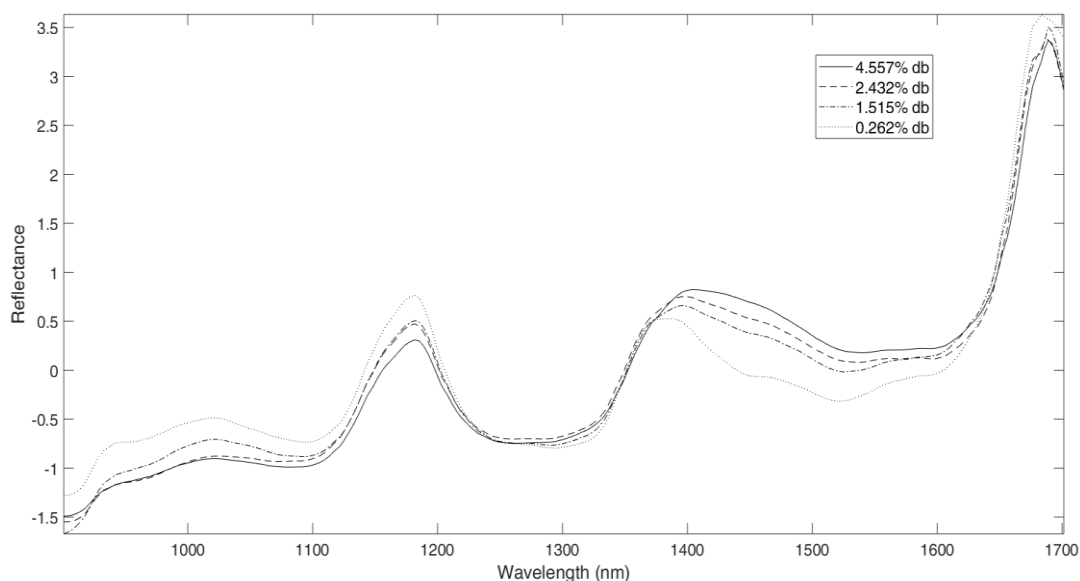


Figure 6 Mean spectra of Para rubber sheet at different moisture contents

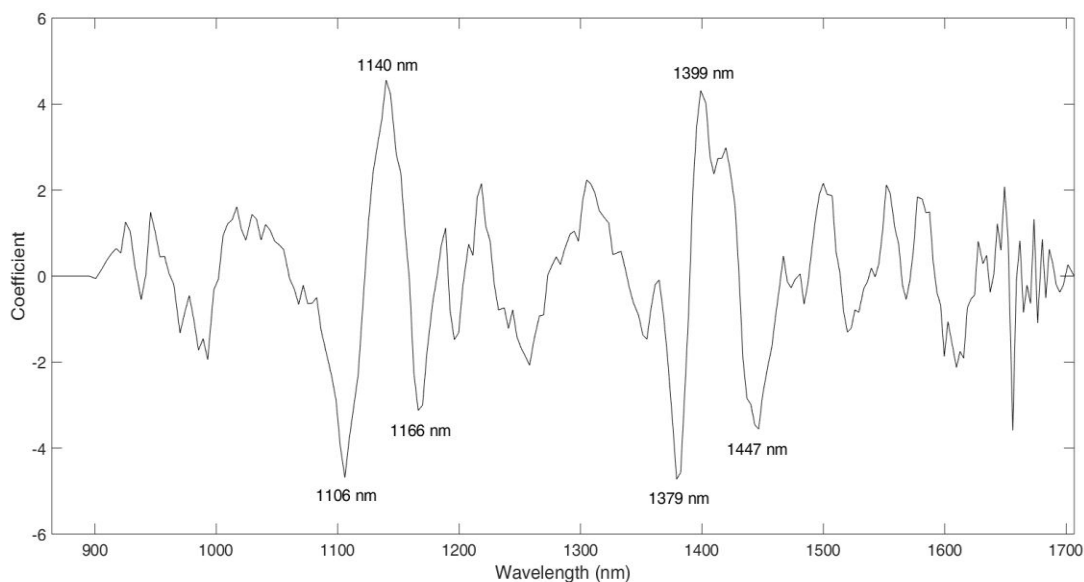


Figure 7 Regression coefficients of NIR-based PLSR model

นอกจากนั้นยังพบว่าที่ความยาวคลื่น 1,106, 1,140, 1,166, 1,379, 1,399 และ 1,447 นาโนเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่าที่ความยาวคลื่นอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ความยาวคลื่น 1,106, 1,140, 1,166, 1,379 และ 1,399 นาโนเมตร จะเกี่ยวข้องกับการสั่นของ

พันธะ CH_3 , CH , CH , CH_3 และ CH_3 ตามลำดับ ส่วนที่ความยาวคลื่น 1,447 นาโนเมตร เกี่ยวข้องกับการสั่นของพันธะ O-H ทำให้ที่ความยาวคลื่นเหล่านี้มีอิทธิพลต่อแบบจำลองในการทำนายปริมาณความชื้นของยางพาราแผ่นดิบ

4. สรุป

มีงานวิจัยจำนวนมากประสบความสำเร็จในการใช้สเปกโตรมิเตอร์ร่วมกับเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อทำนายสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร แต่มักประสบปัญหาการนำไปใช้ประโยชน์จริงเนื่องจากอุปกรณ์เหล่านั้นมักมีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสำหรับการเคลื่อนย้าย และที่สำคัญมีราคาสูงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน งานวิจัยนี้ได้พัฒนาสเปกโตรมิเตอร์ที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาและสามารถพกพาได้สะดวก ที่สำคัญมีราคาถูกกว่าสเปกโตรมิเตอร์ที่ทำงานในช่วงความยาวคลื่นใกล้เคียงกันค่อนข้างมาก และมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง การทดลองได้ใช้สเปกโตรมิเตอร์แบบพกพาที่ออกแบบหาปริมาณความชื้นของยางพาราแผ่นดิบด้วยแบบจำลอง PLSR พบว่าสเปกตรัมที่ถูกปรับแต่งด้วยอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งให้ผลลัพธ์การทำนายปริมาณความชื้นของยางพาราแผ่นดิบถูกต้อง 80.27 % ที่ค่า RMSEP 0.227 %db และค่า RPD 6.576 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับแต่งสเปกตรัมวิธีการอื่น ผลการทดลองที่ได้ทำให้มั่นใจได้ว่าจะสามารถนำสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพาที่พัฒนาไปใช้ประเมินราคาการซื้อขายยางพาราแผ่นดิบเพื่อสร้างความยุติธรรมให้แก่เกษตรกรชาวสวนยางพารา อย่างไรก็ตาม ในอนาคตจะขยายการทดสอบกับตัวอย่างยางพาราแผ่นดิบให้ครอบคลุมในทุกภูมิภาคของประเทศ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการใช้สเปกโตรมิเตอร์แบบพกพาที่พัฒนาขึ้นร่วมกับเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยแบบจำลอง PLSR จะให้ผลการทำนายที่ถูกต้องเช่นเดียวกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนิสิตภาควิชาวิศวกรรมอาหารและวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ช่วยเหลือในการทดลอง

และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. References

- [1] Rubber Research Institute, Rubber Authority of Thailand, Available Source: http://km.rubber.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=4350:2012-06-05-03-56-20, June 5, 2555. (in Thai)
- [2] Davies, A. M. and Grant, A., 1987, Review: Near-infra-red analysis of food, Int. J. Food Sci. Technol. 22: 191-207.
- [3] Suchata, S., Theanjumpolb, P. and Karrila, S., 2015, Rapid moisture determination for cup lump natural rubber by near infrared spectroscopy, J. Ind. Crop Prod. 76: 772-780.
- [4] Chowbankrang, R., 2010, Nondestructive Evaluation of Viscosity of Field Latex and Concentrated Latex for Factory Laboratory by Near Infrared Spectroscopic Technique, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 76 p. (in Thai)
- [5] Sirisomboon, P., Kaewkuptong, A. and Williams, P., 2013, Feasibility study on the evaluation of the dry rubber content of field and concentrated latex of Para rubber by diffuse reflectance near infrared spectroscopy, J. Near Infrared Spec. 21: 81-88.

- [6] Rittiron, R., Thanapatai, D., Narongwong wattana, S., Sridao, P., Penthisarn, P. and Ngowsakul, V., 2012, Development of LED based near infrared spectrometer for dry rubber content determination of Para rubber sheet, Agric. Sci. J. 43(3): 63-66. (in Thai)
- [7] Chuavapradit, C., Chaisrichonlatarn, P. and Hnusawat, S., 2012, A study on the correlation between the moisture and electric properties of rubber sheet, 13th Thai Society of Agricultural Engineering International Conference on Agricultural Engineering, Chiang Mai, 553 p. (in Thai)
- [8] Martens, H. and Naes, T., 1989, Multi variate Calibration, John Wiley & Sons Inc., New York, 504 p.
- [9] Chang, C.W., Laird, D.A., Mausbach, M.J. and Hurburgh, J.C.R., 2001, Near-infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analysis of soil properties, Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 480-490.
- [10] Rittiron, R. and Seehalak, W., 2014, Moisture content in raw rubber sheet analyzed by transreflectance near infrared spectroscopy, J. Innov. Opt. Health Sci. 7: 1350068.
- [11] Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P.H., 1993, Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis, Longman Science & Technology, Harlow.