

การหาปริมาณเนื้อยางแห้งของยางก้อนถ้วย ด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Dry Rubber Content Determination of Cup Lump Natural Rubber 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 Puttipatkajorn*

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen,

Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

Amornrit Puttipatkajorn

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen,

Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตยางธรรมชาติ ซึ่งมีส่วนแบ่งตลาดประมาณ 35 % ของผลผลิตทั้งหมด ยางธรรมชาติถูกนำมาใช้กับหลาย ๆ ผลิตภัณฑ์ที่มียางเป็นองค์ประกอบ ไม่ว่าจะเป็นใช้ยางธรรมชาติอย่างเดียว หรือนำมาใช้ร่วมกับวัสดุประเภทอื่น ยางก้อนถ้วยเป็นยางธรรมชาติที่ผลิตมาจากน้ำยางสด โดยทำให้จับตัวเป็นก้อนในถ้วยและเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยางแท่ง (STR 20) มูลค่าของยางก้อนถ้วยจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับน้ำหนักของเนื้อยางแห้งที่มีอยู่ ปัจจุบันยังไม่มีวิธีหรือเครื่องมือวัดที่ประเมินปริมาณเนื้อยางแห้งได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 nm โดยการนำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มาผ่าเป็น 2 ส่วน และวัดค่าสเปกตรัมบนผิวของตัวอย่าง การปรับแต่งค่าสเปกตรัมด้วยวิธี SNV, 1st derivative และ 2nd derivative จะนำมาใช้เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากภายนอกและการกระเจิงของแสง ข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดที่ได้รับการปรับแต่งแล้วจะนำไปสร้างแบบจำลองด้วยวิธีถดถอยของกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares regression, PLSR) เพื่อใช้ทำนายเนื้อยางแห้ง ผลการทดลองพบว่าแบบจำลองที่ปรับแต่งค่าสเปกตรัมด้วยวิธี 1st derivative ที่

*ผู้รับผิดชอบบทความ : fengadp@ku.ac.th

ช่วงความยาวคลื่น 1,000-1,600 nm ให้ผลการทำนายดีที่สุด โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) เท่ากับ 0.978 ค่าความผิดพลาดของการทำนาย (root mean square error of prediction, RMSEP) เท่ากับ 1.616 และส่วนเหลือของการเบี่ยงเบนจากการทำนาย (residual prediction deviation, RPD) เท่ากับ 6.546 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นให้ผลการทำนายที่มีความแม่นยำสูงและมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ทำนายปริมาณเนื้อยางแห้งของยางก้อนถ้วยได้จริง

คำสำคัญ : ปริมาณเนื้อยางแห้ง; ยางพาราก้อนถ้วย; เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Abstract

Thailand is one of the leading producers of natural rubber with about 35 % market share. The natural rubber is used extensively in many rubber products either alone or in combination with other materials. The cup lump rubber is made of latex and coagulated in the collection cup. The cup lump rubber is a raw material for producing block rubber called STR 20 for use in rubber industry. The price of cup lump rubber mainly depends on amount of dry rubber content. Nowadays no method or instrument can evaluate the amount of dry rubber content rapidly and precisely. Thus, the purpose of this research is to predict dry rubber content of cup lump rubber using compact near infrared spectrometer in wavelength region of 900-1,700 nm. In order to acquire spectrum, a sample was cut equally into two sections to reveal measurement points on interior surface. The pretreatment methods such as SNV, the 1st derivative and the 2nd derivative were applied to deal with problems associated with noise, light-scattering and external effects prior to implement the regression analysis. The preprocessed spectra were modeled by partial least squares regression (PLSR), which was used for predicting dry rubber content. The experiments revealed that the model based on the 1st derivative at wavelength range of 1,000- 1,600 nm presented the best prediction results as represented by coefficient of determination (R^2) of 0.978, root mean square error of prediction (RMSEP) of 1.616 and residual prediction deviation (RPD) of 6.546 respectively. Therefore, it was concluded that the developed model achieved high accuracy of dry rubber content prediction and no doubt of utilizing it in the field.

Keywords: dry rubber content; cup lump rubber; near-infrared spectroscopy

1. บทนำ

ยางพารานับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย และสามารถผลิตยางพาราได้มากกว่า 3 ล้านตันต่อปี เมื่อพิจารณาจากสัดส่วนประเภทยางแปรรูปตั้งต้นที่ผลิตได้ โดยผลิตยางแท่งได้มากที่สุด

รองลงมาเป็นยางแผ่นรมควัน ยางน้ำข้น ยางผสม และยางประเภทอื่น ๆ ตามลำดับ [1] ปัจจุบันเกษตรกรหันมาผลิตยางก้อนถ้วยเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนและเป็นที่ต้องการของโรงงานผลิตยางแท่งมากกว่าขี้ยาง เพราะว่ายางก้อนถ้วยสะอาด

และมีสิ่งเจือปนปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับขี้ยางจึงเหมาะที่จะนำไปผลิตยางแท่งมากกว่า ยางก้อนถ้วยจะซื้อขายกันโดยการชั่งน้ำหนักและพิจารณาถึงปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความชื้นของยางก้อนถ้วย โดยถ้ายางก้อนถ้วยมีความชื้นสูง ราคาต่อกิโลกรัมของยางก้อนถ้วยก็จะต่ำลงเพราะมีปริมาณเนื้อยางแห้งต่ำเมื่อเทียบกับน้ำหนัก ดังนั้นการขายยางก้อนถ้วยจึงจำเป็นต้องทราบวิธีหาปริมาณเนื้อยางแห้งที่ถูกต้องและแม่นยำ ในทางปฏิบัติการกำหนดราคาของยางก้อนถ้วย ผู้ประเมินหรือพ่อค้าคนกลางจะประเมินปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยด้วยสายตาและการสัมผัส โดยดูจากสีของยางก้อนถ้วย จำนวนชั้นของยางก้อนถ้วย และการสัมผัสโดยการบีบ เพื่อดูความหนาแน่นของเนื้อยาง โดยยังไม่มีวิธีการหรือเครื่องมือที่น่าเชื่อถือในการวัดปริมาณเนื้อยางแห้ง ทำให้เกษตรกรชาวสวนยางมีโอกาสโดนเอาเปรียบจากพ่อค้าคนกลางได้ สถาบันวิจัยยางของกรมวิชาการเกษตรแนะนำการผลิตยางก้อนถ้วยและใช้เป็นแนวทางให้เกษตรกรปฏิบัติ โดยมีข้อกำหนดหลัก ๆ คือ ยางก้อนถ้วยที่ดีจะต้องเป็นยางที่กรีดแล้วปล่อยให้น้ำยางจับตัวในถ้วยโดยใช้น้ำกรดหรือปล่อยให้จับตัวตามธรรมชาติ กรดที่ใช้เป็นกรด พอร์มิกหรือกรดอะซิติก ยางก้อนถ้วยที่ผลิตได้ต้องสะอาด ไม่มีสิ่งปลอมปนหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ เช่น เปลือกไม้ เศษหิน ดิน ทราย และอื่น ๆ รวมทั้งต้องมีสีตามธรรมชาติ และมีน้ำหนักประมาณ 80-500 กรัม มีเนื้อยางแห้งประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ยางก้อนถ้วยที่เหมาะสมต่อการซื้อขายควรมีอายุไม่เกิน 4 วัน มีความชื้นประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากเกษตรกรสามารถผลิตยางก้อนถ้วยให้ได้มาตรฐานที่แนะนำนี้ จะทำให้เกษตรกรขายได้ในราคาสูง และมีผลดีต่อการผลิตยางแท่งเพื่อการส่งออกด้วย เพราะจะทำให้คุณภาพยางแท่งสูงขึ้น [2]

ปัจจุบันการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy, NIRS) ถือเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ได้รับการยอมรับและถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพผลิตผลด้านการเกษตรและอาหารเป็นจำนวนมาก [3-5] แสงอินฟราเรดย่านใกล้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 700-2,500 nm เมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านออกมาจากตัวอย่างจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น [6] การดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้จะสัมพันธ์กับการสั่นเชิงโมเลกุลของพันธะ C-H, O-H และ N-H ดังนั้นการวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้จึงมีความสัมพันธ์ทางอ้อมกับองค์ประกอบอินทรีย์ของตัวอย่างนั้น ๆ จากการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพยางพาราในหลายรูปแบบเช่น เช่น รวีพันธ์ [7] ศึกษาการใช้สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (1100-2,500 nm) เพื่อวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำยางสดและน้ำยางข้นแบบไม่ทำลาย โดยการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares regression, PLSR) เพื่อทำนายค่าความหนืดซึ่งพบว่าสามารถทำนายค่าความหนืดของน้ำยางสดและน้ำยางข้นได้อย่างแม่นยำ โดยความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลต่อแบบจำลองอยู่ที่ความยาวคลื่น 1,705, 1,715, 2,280, 2,290 และ 2,310 nm ซึ่งสัมพันธ์กับ CH_3 , CH_3 , CH_3 , amino acid และ CH_2 ตามลำดับ ผดุงสิทธิ์ และวสุ [8] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการทำนายปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยเลือกใช้ช่วงความยาวคลื่น 1,063-1,333 และ 1,639-1,732 nm การทดลองได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิโดยควบคุม

อุณหภูมิไว้ที่ 10, 20, 30 และ 40 °C ตามลำดับ พบว่าแบบจำลอง PLSR สามารถทำนายปริมาณเนื้ออย่างแห้งได้อย่างแม่นยำด้วยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างค่าจริงและค่าทำนาย (bias) เท่ากับ -0.00309 % และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพิสูจน์แบบไขว้ (RMSECV) เท่ากับ 0.331 โดยอุณหภูมิไม่มีอิทธิพลต่อผลการทำนาย

Sirisomboon และคณะ [9] ใช้เทคโนโลยีเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ปริมาณเนื้ออย่างแห้งในน้ำยางโดยการวัดที่ต้นยางพาราโดยตรง โดยใช้ NIR gun (Fantec, Japan) ที่ความยาวคลื่น 590-1,090 nm และ NIR spectrometer (Soma opt., Japan) ที่ความยาวคลื่น 1,500-2,500 nm เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณเนื้ออย่างแห้งโดยใช้แบบจำลอง PLSR ผลที่ได้ คือ แบบจำลองสามารถทำนายปริมาณเนื้ออย่างแห้งจากการวัดที่ต้นยางพาราทั้ง 2 ช่วงความยาวคลื่น มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.1166 และ 0.1789 มีค่า RMSECV เท่ากับ 5.99 และ 5.78 % ซึ่งพบว่ามีความแม่นยำน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การวัดที่น้ำยางพาราด้วย portable spectrometer (Avantes, Netherlands) โดยใช้ความยาวคลื่น 370-1,085 nm ซึ่งให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.9741 ค่า RMSECV เท่ากับ 1.09 % ซึ่งมีความแม่นยำสูงกว่า นอกจากนี้ Rittiron และ Seehalak [10] ได้นำสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงความยาวคลื่น 700-1,050 nm มาวัดปริมาณความชื้นในแผ่นยางพาราดิบโดยใช้เครื่องแบบพกพา ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (multiple linear regression) ที่เหมาะสมที่สุดได้จากสเปกตรัมที่มีการปรับด้วยเทคนิคอนุพันธ์อันดับที่สอง โดยสามารถวัดปริมาณความชื้นในยางพาราแผ่นเดียวได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (standard error of predict-

tion, SEP) และค่า Bias เท่ากับ 0.32 และ 0.05 %db ตามลำดับ

Suchata และคณะ [11] ได้ศึกษาการทำปริมาณความชื้นของยางก้อนถ้วยแบบรวดเร็วโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ที่ช่วงความยาวคลื่น 400-1,100 nm ด้วยวิธีการวัดแบบสะท้อนกลับและพัฒนาแบบจำลอง PLSR เพื่อทำนายปริมาณความชื้นของยางก้อนถ้วย พบว่าแบบจำลองให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.98 ค่า SEP เท่ากับ 1.48 % และ bias เท่ากับ 0.02 % ตามลำดับ

งานวิจัยดังกล่าวข้างต้น พบว่าการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถจะประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ยางพาราได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่าง แต่เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่มีราคาสูงและเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำไปใช้จริงในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานวิจัยที่ทดลองหาปริมาณเนื้ออย่างแห้งจากยางก้อนถ้วยในช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 nm ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองโดยใช้วิธี partial least square regression ในการวัดปริมาณเนื้ออย่างแห้งของยางก้อนถ้วยด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพา (compact near infrared spectrometer) ซึ่งมีราคาไม่แพง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมยางก้อนถ้วยและการหาเปอร์เซ็นต์เนื้ออย่างแห้ง

ยางก้อนถ้วยจะต้องเตรียมจากน้ำยางพาราสด ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงได้เตรียมยางก้อนถ้วย ณ สวนยางพาราจังหวัดชลบุรี โดยใช้น้ำยางพาราจากต้นยางพาราสายพันธุ์ PRIM 600 น้ำยางพาราที่กรี๊ดได้แต่ละต้นจะถูกนำมารวมกันในถังขนาด 60 ลิตร เพื่อใช้สำหรับเตรียมยางก้อนถ้วยต่อไป และเพื่อที่จะหาเปอร์เซ็นต์เนื้ออย่างแห้ง (% DRC) ของยางก้อนถ้วย

จะต้องทราบปริมาณเนื้อเยื่อของน้ำยางพาราที่ใช้เตรียมยางก้อนถ้วยก่อน โดยการนำน้ำยางพาราเหลวในภาชนะทดลองให้มีความหนาประมาณ 2 mm และเติมกรดฟอร์มิกเจือจางซึ่งเตรียมจากกรดฟอร์มิกเข้มข้น 90 % ในอัตราส่วน 10 ซีซี ต่อน้ำ 90 ซีซี ลงไปเพื่อให้ให้น้ำยางพาราจับตัวเป็นก้อนและชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง เพื่อให้ยางพาราแห้งและนำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาสัดส่วนเนื้อเยื่อของน้ำยางพาราซึ่ง คือ อัตราส่วนน้ำหนักยางหลังอบต่อน้ำหนักยางก่อนอบ โดยจะทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาสัดส่วนเนื้อเยื่อแห้งเฉลี่ย ซึ่งพบว่ามีความใกล้เคียงกับการเตรียมยางก้อนถ้วยเริ่มด้วยการทำความสะอาดถ้วยรองรับน้ำยางพารา เหน้ำยางพาราลงในถ้วยปริมาณ 3 ส่วน 4 ของปริมาตรถ้วย ชั่งน้ำหนักเพื่อหา

น้ำหนักของน้ำยางพาราที่ใช้และคำนวณหาปริมาณเนื้อเยื่อแห้งดังสมการที่ 1 (ปริมาณเนื้อเยื่อแห้ง = $0.4375 \times$ น้ำหนักน้ำยางพารา) ใส่กรดฟอร์มิกเจือจางเพื่อให้ยางจับตัวเป็นก้อน ปล่อยให้แห้งภายใต้แสงแดดเป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 9 และ 12 วัน โดยในแต่ละช่วงเวลาของการทดลองจะหา % DRC ของยางก้อนถ้วยจากสมการที่ 2 [$\% \text{DRC} = (\text{ปริมาณเนื้อเยื่อแห้ง} \times 100) \div \text{น้ำหนักยางก้อนถ้วย}$]

การทดลองนี้จะใช้ยางก้อนถ้วยทั้งหมด 120 ก้อน และแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ กลุ่มพัฒนาแบบจำลอง (calibration set) จำนวน 90 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบแบบจำลอง (validation set) จำนวน 30 ตัวอย่าง ตารางที่ 1 แสดงช่วงของค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อเยื่อแห้งและค่าเฉลี่ยของยางก้อนถ้วยในแต่ละช่วงเวลาของทั้งกลุ่มพัฒนาและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง

ตารางที่ 1 เปอร์เซนต์เนื้อเยื่อแห้งของยางก้อนถ้วยที่ใช้สำหรับการทดลอง

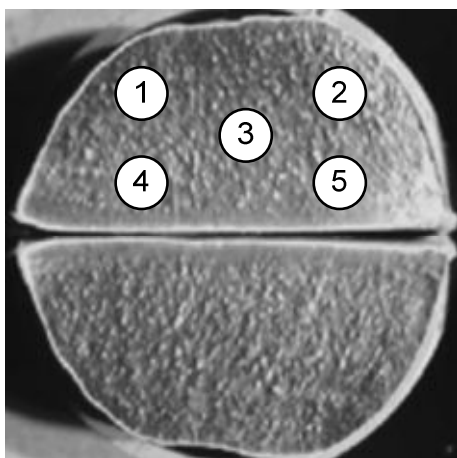
เวลา (days)	จำนวนตัวอย่าง		เปอร์เซนต์เนื้อเยื่อแห้ง (%)		ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	Calibration	Validation	Calibration	Validation	Calibration	Validation
1	15	5	58.78-61.52	59.64-65.84	59.94 $\pm$ 0.70	61.11 $\pm$ 2.66
3	15	5	64.26-72.11	63.64-81.20	67.12 $\pm$ 2.15	69.12 $\pm$ 6.97
5	15	5	72.61-85.69	74.95-86.22	78.62 $\pm$ 4.30	80.97 $\pm$ 5.18
7	15	5	78.46-93.26	77.53-85.67	85.35 $\pm$ 4.28	81.32 $\pm$ 3.14
9	15	5	77.81-89.53	86.10-90.29	85.20 $\pm$ 2.97	87.87 $\pm$ 1.54
12	15	5	79.57-92.25	90.37-90.88	89.27 $\pm$ 2.95	90.65 $\pm$ 0.20

2.2. การเก็บข้อมูลและการปรับแต่งสเปกตรัม

การเก็บข้อมูลสเปกตรัมของยางก้อนถ้วยจะใช้ compact near infrared spectrometer (DLP NIRscan Nano EVM) ซึ่งมีขนาดเล็กเพียง 58 x 62 x 36 mm ทำงานในช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 nm มีความละเอียด 5 nm ด้วยวิธีการวัดแบบสะท้อนกลับ

เพราะว่าความชื้นภายในยางก้อนถ้วยอาจจะมีค่าไม่เท่ากันทั้งก้อน ดังนั้นการเก็บข้อมูลสเปกตรัมจะทำการผ่าแบ่งครึ่งตัวอย่างยางก้อนถ้วยและกำหนดตำแหน่งเก็บข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 1 นำข้อมูลสเปกตรัมทั้ง 5 ตำแหน่ง มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นตัวแทนสเปกตรัมของตัวอย่าง หลังจากได้สเปกตรัมเฉลี่ยของตัวอย่างแล้ว สเปกตรัมทั้งหมดจะ

ถูกปรับแต่งก่อนถูกนำไปใช้พัฒนาแบบจำลองเพื่อลดผลการกระเจิงของแสงที่แตกต่างกัน และสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในสเปกตรัม สเปกตรัมจะถูกปรับแต่งด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน 3 วิธี ได้แก่ standard normal variation (SNV) หรืออนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (1^{st} derivative) หรืออนุพันธ์อันดับที่สอง (2^{nd} derivative) [12] หรือนำแต่ละวิธีมาใช้ร่วมกันสำหรับการศึกษานี้จะใช้วิธี SNV ร่วมกับ 1^{st} และ 2^{nd} derivative เพื่อหาว่าวิธีการใดจะให้ผลลัพธ์ของการทำนายดีที่สุดเมื่อนำไปพัฒนาแบบจำลอง



รูปที่ 1 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลสเปกตรัมเมื่อผ่าอย่างกึ่งกลางออกเป็นสองซีก

2.3 แบบจำลองเชิงเส้นสำหรับทำนายเปอร์เซ็นต์เนื้อเยื่อของยางกอนถ้วย

สำหรับการศึกษานี้จะเลือกใช้แบบจำลองเชิงเส้นที่เรียกว่าการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares regression, PLSR) [13] สำหรับทำนายเปอร์เซ็นต์เนื้อเยื่อของยางกอนถ้วย เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีในงานด้านสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จึงเป็นแบบจำลองที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง

ต้นแบบของแบบจำลอง PLSR แสดงดังสมการที่ 3 ($y = bX + e$) โดยแบบจำลอง PLSR จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัม (X) และสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมี (y) เมื่อ b คือ สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (regression coefficients) และ e คือ ส่วนเหลือของแบบจำลอง (model residual)

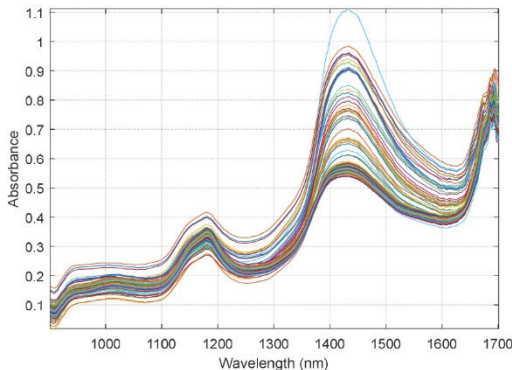
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองได้ใช้ตัวอย่างยางกอนถ้วยจากกลุ่มพัฒนาแบบจำลองจำนวน 90 ตัวอย่าง สำหรับการพัฒนาแบบจำลอง PLSR การสร้างแบบจำลอง PLSR จะต้องเลือกจำนวนองค์ประกอบ (latent variable, LV) ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง ซึ่งการหาจำนวนองค์ประกอบที่เหมาะสมของแบบจำลองจะใช้วิธี cross validation ซึ่งวิธีนี้จะแบ่งข้อมูลแบบสุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกสำหรับสร้างแบบจำลอง ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งใช้สำหรับทดสอบแบบจำลอง วิธีการนี้จะกำหนดจำนวนองค์ประกอบให้กับแบบจำลองเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งและพิจารณาว่าที่องค์ประกอบใดจะทำให้ได้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (mean square error, MSE) ต่ำที่สุด องค์ประกอบนั้นจะถูกเลือกเป็นจำนวนองค์ประกอบที่เหมาะสมของแบบจำลอง (ตารางที่ 2)

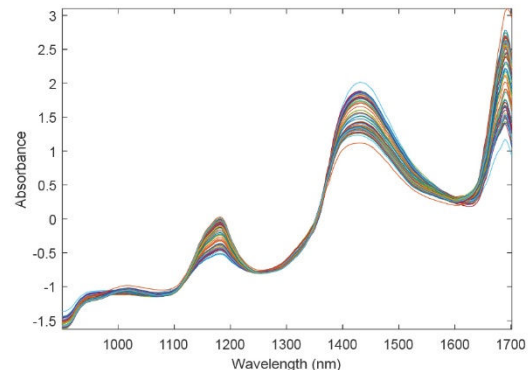
การพิจารณาสเปกตรัมเฉลี่ยของยางกอนถ้วยในกลุ่มพัฒนาแบบจำลอง เมื่อถูกปรับแต่งข้อมูลด้วย SNV (รูปที่ 2b) พบว่าที่ความยาวคลื่นประมาณ 1,200 nm ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบที่สำคัญของยางพาราซึ่งประกอบด้วยพันธะ C-H คือ โพลีไอโซพรีน [9] และที่ความยาวคลื่นประมาณ 1,400-1,600 nm ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงของน้ำซึ่งประกอบด้วยพันธะ O-H [6] มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อความชื้นของยางกอนถ้วยเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้นอกจากจะใช้ข้อมูลสเปกตรัมเต็มช่วงความยาวคลื่นคือ 900-1,700 nm ในการ

พัฒนาแบบจำลองแล้ว ยังจะสร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1,000-1,600 nm ซึ่งใช้ข้อมูลสเปกตรัมน้อยลงแต่ยังครอบคลุมความยาวคลื่น 1,200 และ 1,400-1,600 nm ซึ่งเป็นช่วงที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบของยางพารา และเนื่องจาก

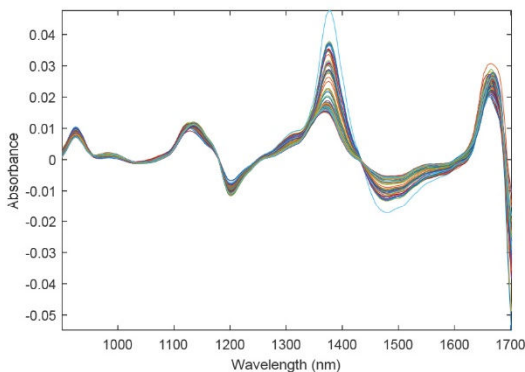
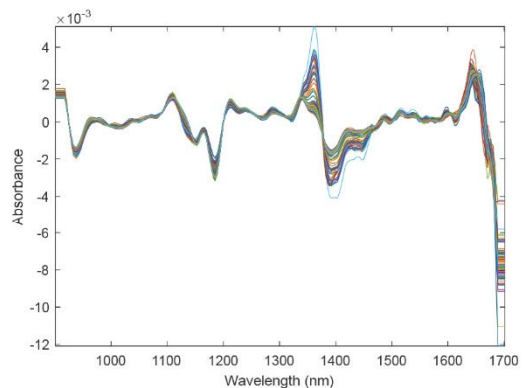
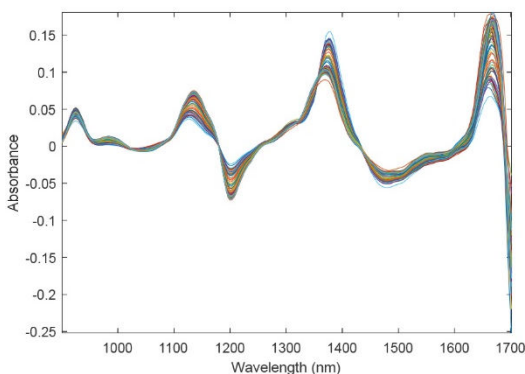
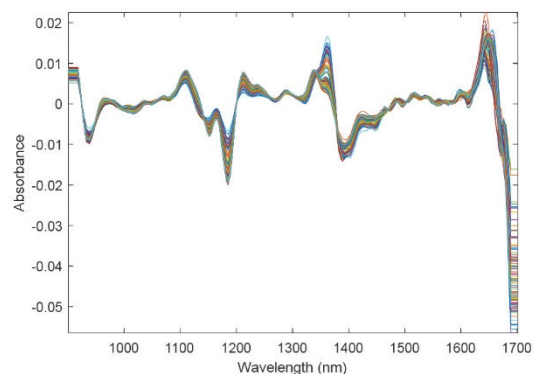
การทดลองได้นำสเปกตรัมเฉลี่ยของยางก้อนถ้วยมาปรับแต่งก่อนนำไปสร้างแบบจำลอง (รูปที่ 2) ดังนั้นในแต่ละช่วงความยาวคลื่นจะต้องสร้างแบบจำลองเท่ากับ 6 แบบจำลอง



(a) สเปกตรัมเริ่มต้น



(b) การปรับแต่งสเปกตรัมด้วย SNV

(c) การปรับแต่งสเปกตรัมด้วย 1st derivative(d) การปรับแต่งสเปกตรัมด้วย 2nd derivative(e) การปรับแต่งสเปกตรัมด้วย SNV + 1st derivative(f) การปรับสเปกตรัมแต่งด้วย SNV + 2nd derivative

รูปที่ 2 สเปกตรัมเริ่มต้นและการปรับแต่งสเปกตรัมวิธีต่าง ๆ ของกลุ่มพัฒนาแบบจำลอง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความสามารถการทำนายของแบบจำลองที่สเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธีต่าง ๆ ของทั้งสองช่วงความยาวคลื่น

Wavelength range (nm)	Spectra pretreatment	LV	Calibration set			Validation set		
			R ²	RMSEC	RPD	R ²	RMSEP	RPD
1,000-1,600	None	15	0.996	0.678	16.352	0.975	1.711	6.306
	SNV	14	0.996	0.672	16.506	0.976	1.703	6.451
	1 st derivative	12	0.995	0.807	13.737	0.978	1.616	6.546
	2 nd derivative	6	0.986	1.312	8.408	0.952	2.383	4.287
	SNV + 1 st derivative	10	0.994	0.837	13.236	0.971	1.857	5.714
	SNV + 2 nd derivative	8	0.992	0.996	11.110	0.947	2.504	4.190
900-1,700	None	16	0.992	0.996	11.471	0.950	2.445	4.354
	SNV	5	0.986	1.297	8.505	0.964	2.077	5.006
	1 st derivative	13	0.992	0.957	11.564	0.963	2.103	4.928
	2 nd derivative	12	0.987	1.272	8.678	0.950	2.443	4.301
	SNV + 1 st derivative	10	0.992	1.019	10.861	0.964	2.071	5.072
	SNV + 2 nd derivative	12	0.992	1.005	11.011	0.965	2.038	5.076

หมายเหตุ : $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}$; $RMSEC$ or $RMSEP = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$; $RPD = \frac{SD}{RMSEP} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}}$;

$n, y_i, \hat{y}_i, y_m$ แทนจำนวนตัวอย่าง ค่าอ้างอิง ค่าจากการทำนายของตัวอย่างที่ i และค่าเฉลี่ยของค่าอ้างอิงของกลุ่มพัฒนาหรือกลุ่มทดสอบแบบจำลอง ตามลำดับ

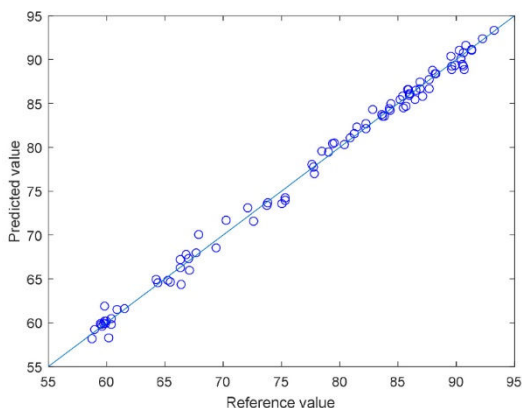
การทดสอบแบบจำลองจะใช้ข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยจากยางก้อนถ้วยทั้งกลุ่มพัฒนาแบบจำลองจำนวน 90 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบแบบจำลองจำนวน 30 ตัวอย่าง ความสามารถในการทำนายเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งของแบบจำลองถูกเปรียบเทียบด้วยค่า R^2 , $RMSEC$, $RMSEP$ และ RPD แสดงดังตารางที่ 2

ผลการทำนายเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งของแบบจำลองในแต่ละช่วงความยาวคลื่นพบว่า สำหรับช่วงความยาวคลื่น 1,000-1,600 nm แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลสเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธี 1st derivative ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดด้วยค่า $RMSEP$ เท่ากับ 1.616 และมีค่า RPD เท่ากับ 6.546 และสำหรับช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 nm แบบจำลองที่ใช้ข้อมูล

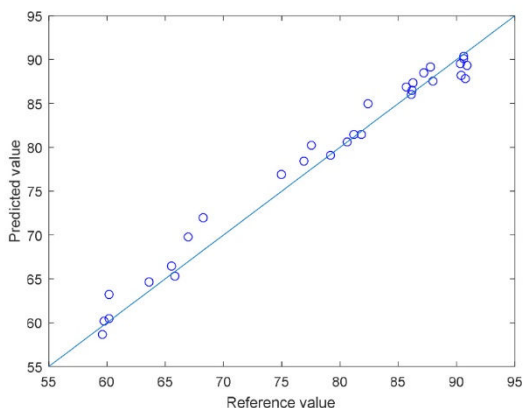
สเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธี SNV ร่วมกับ 2nd derivative ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดด้วยค่า $RMSEP$ เท่ากับ 2.038 และมีค่า RPD เท่ากับ 5.076 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบบจำลองทั้งสองให้ค่า RPD มากกว่า 5 แสดงว่าเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูง [14] โดยแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1,000-1,600 nm จะให้ผลการทำนายที่ดีกว่าในช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 nm เป็นเพราะว่าในช่วงความยาวคลื่น 1,000-1,600 nm เป็นช่วงความยาวคลื่นที่องค์ประกอบของยางก้อนถ้วย คือ น้ำและยางธรรมชาติดูดกลืนคลื่นแสงได้ดี รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งจริง (reference value) และเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งที่ทำนายจากแบบจำลอง (predicted value) ของแบบจำลองที่ดี

ที่สุดในแต่ละช่วงความยาวคลื่นสำหรับทั้งกลุ่มพัฒนาและทดสอบแบบจำลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1,000-1,600

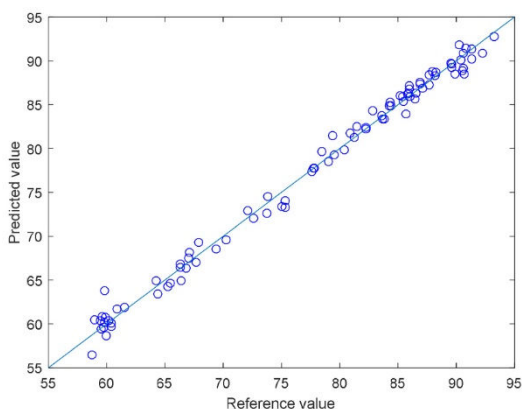
nm และมีการปรับแต่งข้อมูลด้วย 1^{st} derivative จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายดีกว่าทั้งกลุ่มพัฒนาและทดสอบแบบจำลอง



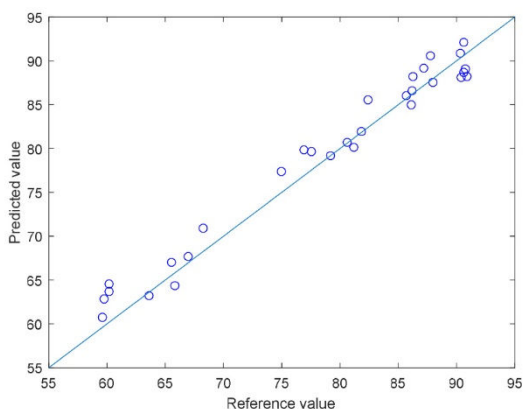
(a) กลุ่มพัฒนาแบบจำลองเมื่อปรับแต่งสเปกตรัมด้วย 1^{st} derivative สำหรับช่วงความยาวคลื่น 1,000-1,600 nm



(b) กลุ่มทดสอบแบบจำลองเมื่อปรับแต่งสเปกตรัมด้วย 1^{st} derivative สำหรับช่วงความยาวคลื่น 1,000-1,600 nm



(c) กลุ่มพัฒนาแบบจำลองเมื่อปรับแต่งสเปกตรัมด้วย SNV + 2^{nd} derivative สำหรับช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 nm



(d) กลุ่มทดสอบแบบจำลองเมื่อปรับแต่งสเปกตรัมด้วย SNV + 2^{nd} derivative สำหรับช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 nm

รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่าอ้างอิงและค่าทำนายเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งของแบบจำลองที่ดีที่สุดของแต่ละช่วงความยาวคลื่นทั้งกลุ่มพัฒนาและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองพบว่าการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ สามารถหาค่าปริมาณเนื้อ

ยางแห้งของยางก้อนถ้วยได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องด้วยสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ขนาดเล็กที่มีราคาประหยัด และมีประสิทธิภาพสูงไม่แตกต่างจาก

อุปกรณ์ที่มีราคาแพง นอกจากนั้นยังพบอีกว่าช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัดค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยคือช่วงคลื่น 1,000-1,600 nm ซึ่งครอบคลุมการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบที่สำคัญของยางพารา คือ โพลีไอโซพรีนและน้ำ จากการทดลองใช้วิธีปรับแต่งสเปกตรัมหลาย ๆ วิธีพบว่าวิธีปรับแต่งสเปกตรัมแต่ละวิธีจะให้ผลที่แตกต่างกัน แต่สำหรับงานวิจัยนี้พบว่าวิธี 1st derivative เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหาปริมาณเนื้อยางแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมอาหาร และนิสิตภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ช่วยเหลือในการทดลอง และขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี

6. รายการอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย, แหล่งที่มา : http://www.rubberthai.com/statistic/stat_index.htm, 7 มีนาคม 2559.
- [2] พีรเดช ทองอำไพ, เครื่องมือเก็บยางก้อนถ้วย สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน), แหล่งที่มา : http://www.arda.or.th/easy_knowledge/easy-articles-etail.php?id=236, 7 มีนาคม 2559.
- [3] Davies, A. M. and Grant, A., 1987, Review: Near-infra-red analysis of food, Int. J. Food Sci. Technol. 22: 191-207.
- [4] Gunasekaran, S. and Irudayaraj, J., 2001, Optical methods: Visible NIR and FTIR

spectroscopy, p. 45, In Nondestructive Food Evaluation, Techniques to Analyze Properties and Quality, Marcel Dekker Inc., New York.

- [5] Maneewan, W. , Limpiti, S. and Theanjumpol, P., 2009, The application of near infrared reflectance spectroscopy to determine the moisture and protein content in soybean seeds, The fourteenth International Conference of NIR Spectroscopy, Amari Watergate Hotel, Bangkok.
- [6] Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P.H., 1993, Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis, pp. 29-141, Longman Science & Technology, USA.
- [7] รวิพันธ์ ชาวบ้านกร่าง, 2553, การวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับห้องปฏิบัติการในโรงงานด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 76 น.
- [8] ผดุงสิทธิ์ อาศัยพานิชย์ และวสุ อุดมเพทายกุล, 2557, การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสดด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีโดยไม่มีอิทธิพลจากอุณหภูมิของตัวอย่าง, การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52, กรุงเทพฯ, 392 น.
- [9] 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 Spectroscopy 21: 81-88.
- [10] Rittiron, R. and Seehalak, W. , 2014, Moisture content in raw rubber sheet analyzed by transflectance near infrared spectroscopy, J. Innov. Opt. Health Sci. 7: 1350068.
- [11] Suchata, S., Theanjumpolb, P. and Karrila, S., 2015, Rapid moisture determination for cup lump natural rubber by near infrared spectroscopy, Indust. Crops Prod. 76: 772-780.
- [12] Savitzky, A. and Golay, M. J. , 1964, Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures, Anal. Chem. 36: 1627-1639.
- [13] Martens, H. and Naes, T. , 1989, Multivariate Calibration, John Wiley & Sons Inc., New York, 504 p.
- [14] 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.