

## การพัฒนาเครื่อง LED Based Near Infrared (NIR) Spectrometer สำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของแผ่นยางดิบ

### Development of LED Based Near Infrared (NIR) Spectrometer for Determination of Moisture Content in Raw Rubber Sheet

รณฤทธิ์ ฤทธิธรม<sup>1,2</sup> ดุสิต ธนเพทชาย<sup>3</sup> สุรีพร ณรงค์วงศ์วัฒนา<sup>1</sup> พันธิภา สิดาว<sup>1</sup> เพ็ญพิไล เพ็ญธิสาร<sup>1</sup> และ วิไลภรณ์ โห้วงสกุล<sup>1</sup>  
Ronnarit Rittiron<sup>1,2</sup>, Dusit Thanapatay<sup>3</sup>, Sureeporn Narongwongwattana<sup>1</sup>, Punthepa Sridaw<sup>1</sup>, Penpilai Penthisan<sup>1</sup>  
and Wilaiporn Ngowsakul<sup>1</sup>

#### Abstract

Para rubber, an important economic crop, nowadays selling price paid to farmers depends principally on moisture content inside the sheet. However, an examiner estimates the moisture content by naked eye and touching. The accuracy of estimation is not sufficient and may be unfair to farmer or trader. This research aims to construct a rapid, inexpensive and nondestructive analyzer for determination of moisture content in raw rubber sheet. The developed analyzer was based on Near Infrared (NIR) spectrometer using Light Emitting Diode (LED) in the wavelength 830, 890, 945 and 1450 nanometer as light source which is able to measure spectrum of raw rubber sheet in transmittance mode. The testing of the developed LED based NIR spectrometer gave good result. A calibration equation could predict the moisture content without significant difference between actual and NIR predicted values at 95% confidence level with Standard Error of Prediction (SEP) 0.32% db and Bias 0.05% db.

**Keywords:** LED based near infrared (NIR) spectrometer, moisture content, raw rubber sheet

#### บทคัดย่อ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ในปัจจุบันการซื้อขายแผ่นยางดิบ จะใช้ปริมาณความชื้นในแผ่นยางเป็นเกณฑ์ในการกำหนดราคา แต่ในทางปฏิบัติจะใช้สายตาและการสัมผัสจากผู้ที่มีความชำนาญในการประเมินคุณภาพ ซึ่งอาจไม่มีความแม่นยำมากพอ อาจก่อให้เกิดความไม่เป็นธรรมต่อทั้งผู้ประกอบการและเกษตรกร งานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างเครื่องวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในแผ่นยางดิบอย่างรวดเร็วและไม่ทำลาย โดยการสร้างและพัฒนาเครื่อง Near Infrared (NIR) spectrometer ขึ้นใหม่ให้มีราคาถูกลง โดยเลือกใช้แบบ Light Emitting Diode (LED) ที่มีความยาวคลื่น 830, 890, 945 และ 1450 นาโนเมตร ในระบบการวัดแบบส่องทะลุผ่าน เมื่อทำการทดสอบและสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยเทคนิค NIR แล้วได้ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนาย (SEP) = 0.32 %db และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย(Bias) = 0.05% db สามารถทำนายความชื้นได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่าจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

**คำสำคัญ:** เครื่อง LED based near infrared (NIR) spectrometer ความชื้น แผ่นยางดิบ

#### คำนำ

ในปัจจุบันการซื้อขายแผ่นยางดิบ ใช้ปริมาณความชื้นในแผ่นยางพาราเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดราคา แต่จะใช้สายตาและการสัมผัสของผู้ชำนาญการที่มีประสบการณ์ในการประเมินคุณภาพ ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดได้ Rittiron *et.al.*, 2009 ได้มีการนำ Near Infrared (NIR) Spectrometer แบบพกพาและระบบการวัดที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวัดเฉพาะแผ่นยางพารา มาใช้ในการวัดความชื้นในแผ่นยางดิบอย่างรวดเร็ว ให้ผลการสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายค่าความชื้นด้วยเทคนิค NIR ไม่แตกต่างจากค่าจริง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ตัวเครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา ที่มีจำหน่ายทั่วไป มีราคาที่สูงมาก เกษตรกรหรือผู้ประกอบการขนาดเล็กไม่สามารถซื้อเครื่องมาใช้ได้ คณะผู้วิจัยจึงมีความประสงค์จะพัฒนาเครื่อง NIR Spectrometer ที่มีราคาถูกลง มาใช้ในงานแผ่นยางดิบโดยเฉพาะ

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

<sup>2</sup> Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhonpathom 73140

<sup>3</sup> ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา, กรุงเทพฯ 10400

<sup>2</sup> Postharvest Technology Innovation Center, Commission on Higher Education, Bangkok 10400

<sup>3</sup> ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>3</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างเครื่อง NIR Spectrometer ที่มีราคาถูกสำหรับแผ่นยางดิบ และสร้างสมการเทียบมาตรฐานในการวัดปริมาณความชื้น เพื่อให้ผู้ประกอบการขนาดกลางและเล็กสามารถนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลาย

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### ตัวอย่าง

สุ่มตัวอย่างแผ่นยางดิบ 5 คุณภาพจากสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านอ่างศิระ จำกัด จังหวัดจันทบุรี โดยตัดเป็นแผ่นขนาด  $2 \times 3$  นิ้ว คุณภาพละ 13 แผ่น จนครบทุกคุณภาพ โดยแต่ละคุณภาพจะมีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน

#### การวัดสเปกตรัม

วัดสเปกตรัมของวัสดุอ้างอิง (Reference) และตัวอย่างแผ่นยางดิบ ด้วยเครื่อง LED based NIR Spectrometer (Figure 1) ที่สร้างขึ้น ซึ่งเป็นระบบการวัดแบบส่องทะลุผ่าน มีแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอด Light Emitting Diode (LED) ที่มีความยาวคลื่น 830, 890, 945 และ 1450 nanometer (Figure 2) โดยใส่แผ่นยางดิบและวัสดุอ้างอิงที่ช่องสำหรับใส่ตัวอย่าง

#### การวิเคราะห์ความชื้น

ตัดแผ่นยางดิบเป็นชิ้นเล็กๆ ให้มีน้ำหนักประมาณ 5 กรัม นำไปอบไล่ความชื้น โดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำออกจากตู้อบแล้ว ชั่งน้ำหนักหลังอบด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล แบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง (% dry basis)

#### การสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

สร้างความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนพลังงานย่าน Near infrared (NIR) กับปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์จากตู้อบลมร้อน ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) โดยอาศัยโปรแกรม Uncrumbler 9.8 (CAMO, Germany)



Figure 1 LED based NIR Spectrometer

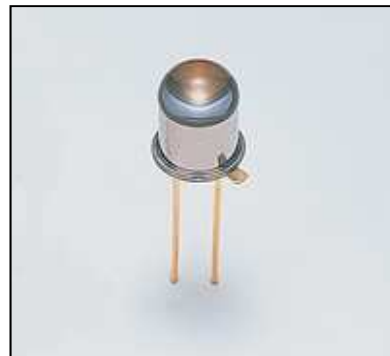


Figure 2 Light Emitting Diode (LED) used in LED based NIR Spectrometer

### ผล

จากการทดสอบการทำงานของเครื่อง พบว่าใน Main menu (Figure 3) ของเครื่องจะมีโหมดการทำงานหลักๆ อยู่ 2 โหมดเพื่อให้ผู้ใช้งานเลือกใช้งานตามที่ต้องการ คือโหมดการทดลอง (Experiment) สำหรับวัดสเปกตรัมของตัวอย่าง เพื่อใช้ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน และโหมดการวัดค่า (Measurement) สำหรับวิเคราะห์ความชื้นของแผ่นยางดิบอย่างอัตโนมัติ โดยในการทดลองนี้ใช้โหมด Experiment วัดค่าการดูดกลืนแสงจากวัสดุอ้างอิง และของแผ่นยางดิบ ข้อมูลค่าการดูดกลืนจะถูกบันทึกลงในการ์ดหน่วยความจำแบบ Secure Digital (SD) card ดัง Figure 4 ซึ่งสามารถเปิดดูข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft excel และจากการทดลองได้ทำการสุ่มตัวอย่างของแผ่นยางดิบทั้งหมด 65 แผ่น โดยสุ่มจากคุณภาพแผ่นยางดิบที่แตกต่างกัน คุณภาพละ 13 แผ่น แล้วทำการวัดสเปกตรัมของแผ่นยางดิบด้วยเครื่อง LED based NIR Spectrometer ลักษณะเส้นสเปกตรัมแสดงดัง Figure 5



Figure 3 Main Menu screen of LED based NIR spectrometer



Figure 4 Secure Digital (SD) card used for memory storage in LED based NIR spectrometer

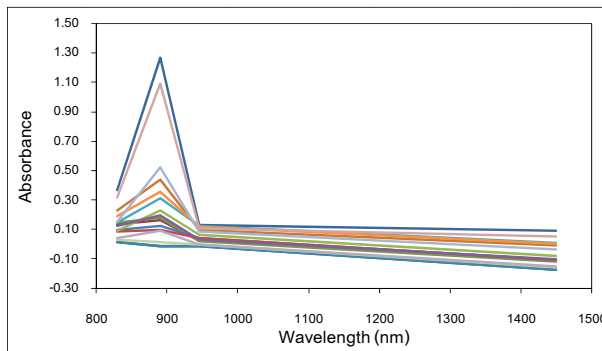


Figure 5 Original spectra of raw rubber sheet obtained from LED based NIR Spectrometer

จาก Figure 5 จะสามารถสังเกตเห็น peak การดูดกลืนของไอโซพรีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในยางแผ่นดิบที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 890 nm นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นมีการเลื่อนขึ้นกันของเส้นสเปกตรัม และมีการเลื่อนขึ้น (Baseline shift) ของเส้นสเปกตรัมเนื่องจากความหนาของแผ่นยางดิบที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อลดอิทธิพลความหนาที่เกิดขึ้น ก่อนการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน ตัวอย่างแผ่นยางดิบจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Calibration set ใช้ในการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน และกลุ่ม Validation set ใช้ในการทดสอบความแม่นยำ

ผลของการสร้างสมการเทียบมาตรฐานและทดสอบสมการเทียบมาตรฐานปริมาณความชื้นในแผ่นยางดิบภายหลังการตัด Outliers จากเส้นสเปกตรัมและค่าทางเคมีที่ผิดปกติ โดยปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Center and scale ให้ผลการสร้างสมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุดแสดงดัง scatter plots (Figure 6 a และ b)

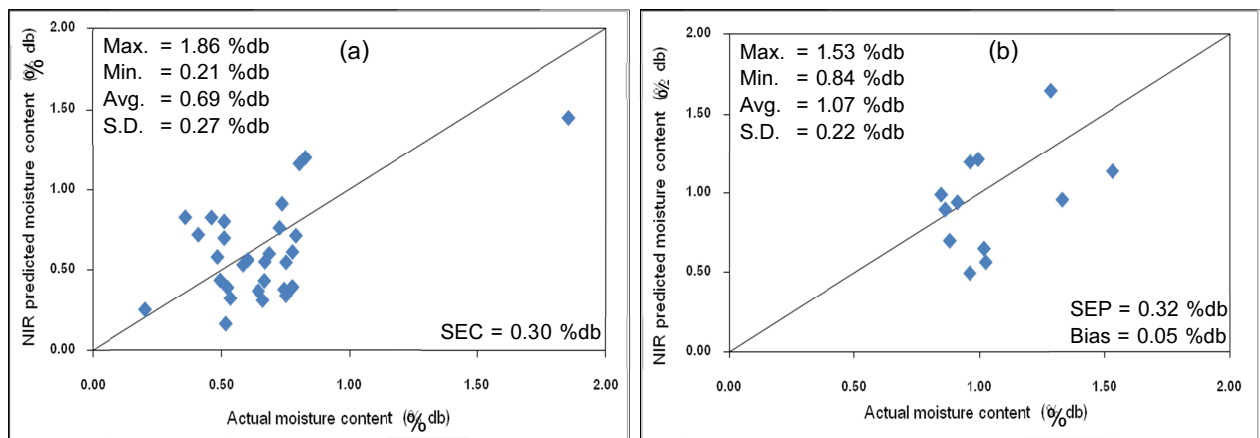


Figure 6 Scatter plots of actual moisture content and NIR predicted moisture content in (a) Calibration set and (b) Validation set

### วิจารณ์ผล

เนื่องจากเครื่อง LED based NIR spectrometer สามารถวัดความชื้นของยางแผ่นดิบได้เฉพาะบริเวณขอบแผ่นเท่านั้น ดังนั้นจึงมีการทดสอบการกระจายตัวของความชื้นตลอดทั้งแผ่นบนแผ่นยางดิบในแต่ละเกรด โดยการหาปริมาณความชื้นของแผ่นยางดิบแต่ละตำแหน่ง (Figure 7) ได้ค่าทางสถิติของความชื้นบนแผ่นยางดิบในแต่ละเกรดแสดงดัง Table 1

Table 1 Statistics value of moisture content in raw rubber sheet

parameter	Moisture content in various grade of raw rubber sheet (%)				
	1	2	3	4	5
Maximum	0.6707	0.8904	1.0576	0.8357	1.1574
Minimum	0.2555	0.6810	0.4299	0.3476	0.5440
Mean	0.4041	0.8023	0.6377	0.6263	0.7895
S.D.	0.0884	0.0655	0.1529	0.1206	0.1794
No. of sample	45	35	35	41	21

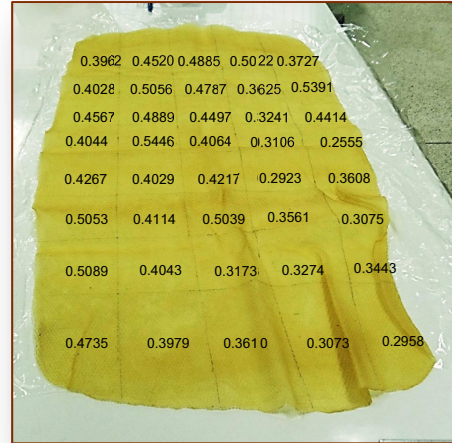


Figure 7 Moisture distributions on rubber sheet

จาก Table 1 พบว่า ค่า standard deviation (S.D.) ของความชื้นของแผ่นยางดิบในแต่ละเกรดมีค่าน้อย แสดงให้เห็นว่าแต่ละตำแหน่งบนแผ่นยางดิบมีปริมาณความชื้นแตกต่างกันน้อย และจากการทดสอบทางสถิติพบว่า ความชื้นเฉลี่ยในแต่ละสดมภ์ (column) ของแผ่นยางดิบ (Figure 7) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้น การวัดความชื้นของแผ่นยางบริเวณขอบแผ่นจึงสามารถใช้เป็นตัวแทนในการหาความชื้นของยางแผ่นดิบทั้งแผ่นได้

จากการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่อง LED based NIR spectrometer พบว่า เมื่อเปิดเครื่องทิ้งไว้ เครื่องจะใช้กระแสไฟฟ้า 36.33 mA และเมื่อทำการวัดตัวอย่างจะใช้กระแสไฟฟ้า 210 mA ดังนั้นหากแบตเตอรี่มีความจุไฟฟ้า 1000 mAH และหนึ่งรอบของการทำงานของเครื่องในการหาปริมาณความชื้นในแผ่นยางดิบ มีการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดคือ 210 mA เพราะฉะนั้น หากมีการใช้งานเครื่องตลอดเวลา จะสามารถใช้งานได้นานสุด 4.76 ชั่วโมง และเมื่อรอบการวัดตัวอย่างหนึ่งใช้เวลาในการวัด 41 วินาที เครื่องนี้จะสามารถใช้วัดตัวอย่างได้มากกว่า 1500 ตัวอย่าง

จาก Figure 6 a และ b จะเห็นได้ว่าค่าที่ทำนายปริมาณความชื้นอยู่ชิดเส้นทแยงมุม (target line) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงการทำนายที่ถูกต้อง และแม่นยำ โดยมีค่า Correlation coefficient (R) = 0.55, Standard Error of Calibration (SEC) = 0.33 %db, Standard Error of Prediction (SEP) = 0.32 %db และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) = 0.05 %db จะสังเกตเห็นว่าค่า R ที่ได้ไม่สูงมากนัก เนื่องจากช่วงพิสัยของความชื้นในแผ่นยางดิบที่ใช้ในการสร้างสมการแคบ อยู่ในช่วง 0.21-1.86 %db หากต้องการค่า R สูงกว่านี้ ต้องเตรียมเก็บตัวอย่างให้มีค่าความชื้นสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวิเคราะห์ Paired t-test พบว่า ค่าความชื้นที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR ไม่แตกต่างจากค่าจริงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### สรุป

จากการสร้างเครื่อง LED based NIR Spectrometer และสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อใช้ในการทำนายปริมาณความชื้นในแผ่นยางดิบ พบว่า สมการที่ได้สามารถทำนายปริมาณความชื้นได้ไม่แตกต่างจากค่าความชื้นจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเครื่อง LED based NIR Spectrometer สามารถเปิดใช้งานอย่างต่อเนื่องได้นานถึง 4.76 ชั่วโมง และสามารถวัดสเปคตรัมของแผ่นยางดิบได้มากกว่า 1500 ตัวอย่าง

### คำขอขอบคุณ

ผลการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรม ภายใต้โครงการวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนโครงการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

### เอกสารอ้างอิง

Rittiron, R., C. Tiammueng, J. Saehea and S. Sabchuangchote. 2009. Moisture content analyzer for raw rubber sheet by Handheld Near Infrared Spectrometer. Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference. 1079 -1085 pp