

วิธีการทดสอบคุณภาพของกล้วยหอมทองโดยวิธีไม่ทำลายตัวอย่าง

Cavendish quality testing by using a non-destructive method

ธนชาติ ศรีเปารยะ^{1*}, อภิเดช บูรณวงศ์¹, คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์¹
Thanachart Sripaurya^{1*}, Apidet Booranawong¹, Kanadit Chetpattananondh¹

Received: 13 October 2019 ; Revised: 2 March 2020 ; Accepted: 30 March 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษาความเป็นไปได้ของการออกแบบ NIR Spectral Sensor Model AS7263 เพื่อมาทำการทดสอบและวิเคราะห์สเปกตรัมของแสงที่มาทดสอบกล้วยหอมทองอย่างเหมาะสม โดยทำการวัดค่าการสะท้อนกลับของแสงจากกล้วยหอมทอง 30 ลูกด้วยเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมา ขั้นตอนการทดลองงานวิจัยนี้ได้ใช้ NIR Spectral Sensor มาเป็นตัวประกอบสำคัญในการที่ประดิษฐ์ขึ้นมาทดสอบกับผลไม้คือกล้วยหอมทอง NIR Spectral Sensor Model AS7263 นี้มีความยาวคลื่น 6 ย่านคือ 610nm, 680nm, 730nm, 760nm, 810nm และ 860nm ในแต่ละความยาวคลื่นจะให้ค่าทางสเปกตรัมที่แตกต่างกัน ค่าทางสเปกตรัมของกล้วยหอมที่ได้จะนำมาวิเคราะห์เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Brix *refractometer*

จากผลการทดลองพบค่าทางสเปกตรัมในแต่ละความยาวคลื่นมีความเป็นไปได้ในการแยกระดับสีและทำนายค่าความหวานของกล้วยหอมทองได้ โดยผลการทดลองของแต่ละสเปกตรัมมีความสัมพันธ์ที่ดีและสอดคล้องกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดความหวาน Brix *refractometer*

คำสำคัญ: การวัดคุณภาพผลไม้แบบไม่ทำลาย คุณภาพของผลไม้ ไกล์อินฟราเรด

Abstract

This research presents a feasibility study of the NIR Spectral Sensor AS7263 for banana quality testing by analyzing the reflective optical spectrum. 30 Bananas were tested with the fabricated optical reflective NIR portable device. In this experiment, a NIR Spectral Sensor was developed to be a non-destructive testing device of the fruit. The NIR Spectral Sensor Model AS7263 has 6 wavelengths, 610nm, 680nm, 730nm, 760nm, 810nm and 860nm. Each wavelength provides different reflective intensity values with different banana skins. This reflective value of the different bananas can be analyzed and calibrated with a standard Brix *refractometer*.

From the experimental results, spectral values of each wavelength are possible to separate the color levels and predict the sweetness of Kluai Hom Thong. The results of each spectrum are good and consistent with the values obtained from the Brix *refractometer*.

Keywords: Non-destructive fruit quality measurement, fruit Quality, NIR

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

¹ Department of Electrical, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai Campus, Songkhla 90110

* Corresponding Author E-mail Address: thanachart.sripaurya@gmail.com

บทนำ

ณ เวลานั้น ประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมที่อาศัย การส่งออกผลผลิตทางการเกษตรหรือผลไม้มาขายชนิด เพื่อนำรายได้เข้าสู่ประเทศ เช่นทุเรียน มังคุด กัลย ซึ่งผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าวมียอดการส่งออกอันดับต้น ๆ ของประเทศสามารถส่งออกไปยังประเทศต่าง ๆ เช่น จีน เวียดนาม มาเลเซีย อินโดนีเซีย เป็นต้น ข้อมูลจากอธิบดีกรมเจรจา การค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ในปี 2561 กล่าวว่า ประเทศไทยจีนได้นำเข้าผลไม้จากประเทศไทยเป็นอันดับ 1 มีมูลค่ากว่า 2,021 ล้านดอลลาร์สหรัฐ¹ จึงขอให้เกษตรกรและผู้ส่งออกไทยให้ความสำคัญกับการรักษาคุณภาพมาตรฐาน ในการเพาะปลูก และการผลิตสินค้าผลไม้สดให้สอดคล้องกับ มาตรฐานสากล

ในภาคการเกษตรมูลค่าของผลไม้โดยปกติใช้วิธีการ ดูความสมบูรณ์ลักษณะภายนอกของผลไม้ เช่น ขนาด น้ำหนัก เป็นต้น เกษตรกรไม่สามารถกำหนดราคาผลไม้ได้ แม้ว่า ผลไม้ดี มีคุณภาพสูงก็ตามเนื่องจากไม่มีเครื่องมือทดสอบหรือ เปรียบเทียบที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลไม้ จากปัญหาเหล่านี้ ทำให้มีผลกระทบต่อเกษตรกรและผู้ส่งออกผลไม้ไทยทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากผลไม้ถูก ส่งออกไปต่างประเทศ ลูกค้าอาจจะไม่พอใจในคุณภาพของ ผลไม้และผลไม้อาจจะถูกตีกลับประเทศก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย²

จากขีดจำกัดและปัญหาข้างต้นจึงเกิดแนวคิด ในการหาวิธีในการทดสอบคุณภาพของผลไม้โดยวิธีแบบไม่ ทำลายตัวอย่าง ข้อดีคือใช้เวลาในการทดสอบรวดเร็วและผลไม้ ที่ผ่านการทดสอบยังคงสภาพรูปทรงเดิม และเพื่อให้เกษตรกร สามารถใช้เครื่องมือนี้ในการทดสอบและสามารถรู้ถึงคุณภาพ ของผลไม้ได้อีกวิธีหนึ่ง หลายๆ งานวิจัยได้พูดถึงเทคนิค NIRs เช่น งานวิจัยของ M.Azfar Din และคณะ กล่าวถึงการทดสอบ หาค่าความหวานของกล้วย 2 ชนิด โดยใช้ความถี่ 2 MHz และ 4 MHz ผลที่ได้รับคือความถี่ 4 MHz ได้ผลความหวาน ที่ดีกับกล้วยขนาดเล็กและความถี่ 2 Mhz ได้ผลความหวานที่ ดีกับกล้วยขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับเครื่องวัดความหวาน (Brix Refractometer) ปัญหาของบทความนี้คือจะต้องมีการวาง ตำแหน่งของกล้วยให้อยู่กึ่งกลางเครื่องวัดพอดีเพื่อให้มีค่า ความผิดพลาดน้อยที่สุดและอีกปัญหาที่กล้วยต้องมีขนาด ตามที่กำหนดเท่านั้นถึงจะได้ค่าความหวานใกล้เคียงกับ เครื่องวัดความหวาน³ งานวิจัยของ Amos Mizrach ได้กล่าวถึง การใช้คลื่นความถี่เสียงเพื่อตรวจสอบอายุและปริมาณน้ำตาล ของผลไม้พลัม โดยใช้วิธีการวัดการลดทอนคลื่นเสียงในเนื้อเยื่อ ผลไม้โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการสัมผัสกับเปลือกผลไม้ และระยะเวลา 78 ชั่วโมงในขั้นตอนของการเก็บรักษา ค่าความ

แน่นของเนื้อและปริมาณน้ำตาลจะลดลงตามอายุการเก็บ รักษา แสดงให้เห็นว่าคลื่นอัลตราโซนิกอาจจะใช้เป็นเทคนิค ที่ไม่ทำลายตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความแน่นของเนื้อพลัม และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลที่ลดลงได้ งานวิจัยของ Baharuddin Mustapha และคณะ นำเสนอการ ใช้เซ็นเซอร์อัลตราซาวด์และอินฟราเรดเพื่อวัดระยะทางใน การพัฒนาระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางสำหรับผู้สูงอายุและคน ที่มีความบกพร่องทางสายตา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกและอินฟราเรดมีลักษณะแตกต่างกัน ในแง่ของการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออก อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ ให้ลักษณะการส่งออกเชิงเส้น ในขณะที่อินฟราเรดแสดง ลักษณะการส่งออกที่ไม่เป็นเชิงเส้น เซ็นเซอร์ทั้งสองสามารถ ตรวจจับอุปสรรคในระยะทางที่ใช้งานได้โดยมีเปอร์เซ็นต์ความ ถูกต้องระหว่าง 95% ถึง 99% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Ultrasonic Sensor และ IR Sensor สามารถสร้างระบบการ วัดระยะทางที่เชื่อถือได้แม้จะมีสีและวัสดุที่แตกต่างกัน⁴ และ มีงานวิจัยที่ใช้เทคนิค NIR spectroscopic ในการตรวจสอบ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และตรวจสอบความเป็นกรด (Titratable) โดยทำการทดสอบในผลไม้สามชนิดที่มีลักษณะ แตกต่างกัน คือ เสาวรส มะเขือเทศและเอพริคอต ผลการ ทำนายการทดลองของโมเดล PLS ที่มีสเปกตรัมที่แตกต่าง กันและใช้วิธีการปรับสภาพก่อนตรวจสอบจากการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติภายนอกของผลไม้มีผลต่อผลลัพธ์ โดยตรง กล่าวคือเสาวรสมะเขือเทศจะมีค่าความสัมพันธ์ ที่ต่ำเนื่องจากผิวของผลหนาและมีลักษณะภายในไม่สม่ำเสมอ และมีปริมาณน้ำสูงทำให้เกิดความสัมพันธ์ที่ไม่ดี ส่วนผลการ ทำนายที่ดีและมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือเอพริคอตซึ่งเป็น ผลไม้ที่มีผิวของผลบางๆ และเป็นเนื้อเดียวกัน⁵ และงานวิจัย ของ Ayman Ibrahim และคณะ ได้กล่าวสรุปสั้นๆ คือ ใน การจำแนกประเภทข้าวสาลีและการกำหนดมูลค่าการตลาด จำเป็นต้องใช้วิธีการแบบไม่ทำลายตัวอย่าง เทคนิคอินฟราเรด เป็นเทคนิคแบบที่ไม่ทำลายตัวอย่างและวิธีการประเมิน ความแข็งของเมล็ดข้าวสาลีโดยใช้ NIRs มีข้อผิดพลาดที่ต่ำ SEP=3.92 N ค่าสัมประสิทธิ์ในการทำนายสูง R2P≈0.91 และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายต่ำ RPD≈3.35 เมื่อเทียบกับเครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์ "อินสตรอน" ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายนั้นเพียงพอที่จะใช้ เทคนิค NIRs เป็นวิธีการที่ไม่ทำลายตัวอย่างเพื่อประเมิน ความแข็งของข้าวสาลีชนิดต่างๆ⁶ งานวิจัยของ Els Bobelyn และคณะ ได้กล่าวถึงการศึกษาความถูกต้องของแบบจำลอง การสอบเทียบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรด (NIR) สำหรับตรวจ สอบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้(SSC) และความแน่นเนื้อ ของแอปเปิ้ลโดยศึกษาจากชุดข้อมูลสเปกตรัมขนาดใหญ่ จาก สายพันธุ์ต้นกำเนิดเวลาการเก็บรักษาและฤดูกาลที่แตกต่าง

กัน จากผลการวิเคราะห์ FANOVA สรุปได้ว่าผลของพันธุ์เวลาเริ่มต้นและอายุการเก็บรักษาของสเปกตรัม NIR นั้นมีความสำคัญทั้งหมด สายพันธุ์และสภาพการเก็บรักษาโดยทั่วไป ค่า RMSEP สำหรับการทำนายของ SSC อยู่ในช่วง 0.6-0.8 °Brix ในงานวิจัยนี้ความแปรปรวนข้อมูลของฤดูกาลและต้นกำเนิดสายพันธุ์ต่างๆ และสภาพการเก็บรักษาถูกนำมาใช้ในการสอบเทียบของชุดข้อมูลทั้งหมด และการวิเคราะห์โดยใช้ FANOVA (ANOVA) ผลของความแปรปรวนทางชีวภาพต่อสเปกตรัมที่วัดได้ถูกสำรวจเพิ่มเติมพบว่าต้นกำเนิด (ทางภูมิศาสตร์และตามฤดูกาล) พันธุ์และอายุการเก็บรักษามีผลต่อสเปกตรัมอย่างมีนัยสำคัญที่ 970, 1170 และ 1450 nm ซึ่งมีผลที่ชัดเจนที่เกี่ยวกับความแตกต่างในการดูดซึมน้ำ ดังนั้นปริมาณน้ำในแอปเปิ้ลหนึ่งสัปดาห์ของอายุการเก็บรักษาพบว่าการลดการดูดกลืนแสงเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำในช่วงอายุการเก็บรักษา⁷ มีบทความที่จำลองการสอบเทียบสำหรับกลุ่มความยาวคลื่นในย่าน NIRs ในช่วงความยาวคลื่น 299-1100 nm สำหรับการทำนาย TSS, DM, pH และ ABR ของกล้วยโดยใช้วิธีการถดถอยแบบ PLS และ MLR เพื่อการส่งผ่านและอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง สอง และสาม การทดสอบโดยใช้การตรวจสอบความถูกต้อง PLS คาดการณ์หรือทำนายค่า TSS และ DM ในช่วงความยาวคลื่น 955.235-981.879 และ 1,063.248-1089.407 nm ตามลำดับ การทำนายค่า pH แม่นยำยิ่งขึ้นจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 927.927-954.690 nm แบบจำลองการสอบเทียบที่พัฒนาขึ้นจะมีประโยชน์ในการออกแบบเครื่องมือสำหรับผลการทดลองที่รวดเร็วตาม TSS, DM และ pH⁸

มีบทความที่ศึกษาเพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ทางเคมี(ปริมาณของแข็งที่ละลายได้) และทางกายภาพ (ความแน่น) ของกล้วยหอมที่ปลูกในท้องถิ่นโดยสเปกโทรสโกปีใกล้อินฟราเรด NIR spectra ในช่วงความยาวคลื่น 680-2500 nm ได้มาจากกล้วยหอมทั้งหมด 408 ลูก ซึ่งมีดัชนีสถานะความสุกที่แตกต่างกัน นำเทคนิคทางเคมีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการสอบเทียบเพื่อทำนายความแม่นยำและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมผลการวิจัยพบว่า NIR สเปกโทรสโกปี มีความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายคุณภาพของกล้วยหอม ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R²) สำหรับความแม่นยำและโมเดลการสอบเทียบ SSC ที่ดัชนีความสุกแตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.78 ถึง 0.86 และ 0.75 ถึง 0.96 ตามลำดับ⁹ และงานวิจัยของ Septi Tri Wahyuni และคณะ ได้กล่าวถึงการศึกษาเกี่ยวกับการวัดความชื้นในผลไม้โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพ Visual-NIR งานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบผลการทำนายของปริมาณความชื้น ข้อมูลที่วัดหรือทดสอบได้ด้วยโมเดล PCR มีความผิดพลาดในระหว่างการทำนายเท่ากับ 0.58% และค่าความสัมพันธ์สัมประสิทธิ์

R² เท่ากับ 0.79 ในส่วนโมเดล PLSR ระบบการทำนายมีค่า RMSE 0.25% และ R² 0.96 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอสามารถทำนายความชื้นของกล้วยได้และสามารถคัดแยกคุณภาพของกล้วยในเชิงอุตสาหกรรมได้¹⁰

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิควิธีการทดสอบคุณภาพของกล้วยหอมทองแบบไม่ทำลายตัวอย่างและศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบค่าต่างๆ ที่ต้องการโดยวิธีทางสเปกตรัมโดยใช้ NIRs Spectral Sensor อีกทั้งสามารถนำข้อมูลที่ได้ออกจากการตรวจวัดมาใช้ในการคัดแยกคุณภาพของผลไม้ได้โดยมีวิธีการทดสอบกับกล้วยหอมทองที่มีสถานะระดับความสุกดิบที่แตกต่างกันมาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความหวานของผลไม้ที่มีมาตรฐานรุ่น PENPRO และเมื่อมีการพัฒนางานวิจัยเพิ่มเติม ชาวสวนผลไม้สามารถนำเทคนิควิธีการนี้ไปใช้ในการทดสอบคุณภาพของผลไม้ก่อนการเก็บเกี่ยวและข้อมูลที่ได้ออกจากการทดสอบค่าต่างๆ ทางสเปกตรัม (NIRs Spectral Sensor) สามารถนำไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมในผลไม้ชนิดอื่นๆ ได้

ทฤษฎีและหลักการ NIRs

Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นการใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ Near Infrared ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 700-2500 nm ในการตรวจสอบคุณภาพตัวอย่าง โดยวิธีการที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive method) อาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่ทำการทดสอบ เป็นวิธีการที่ให้ผลแม่นยำ รวดเร็ว และเป็นเทคนิคที่ใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศและใช้ในหลายกลุ่มอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น¹¹

หลักการของเทคนิค NIRs ในทางปฏิบัติเมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังวัตถุหรือตัวกลางจะมีแสงบางส่วนที่จะถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (fluorescence or phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง (scattered) ดัง Figure 1¹²

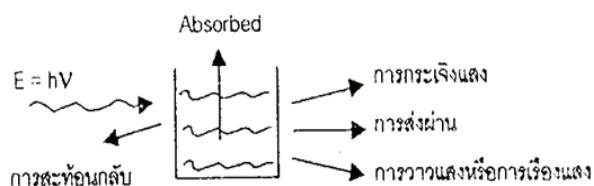


Figure 1 The action of electromagnetic waves on various substances

ปริมาณความเข้มข้นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นและความหนาของของตัวกลางหรือสารละลายที่ลำแสงส่องผ่านจึงต้องรวมกฎทั้งสองเข้าด้วยกันเรียกว่า กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต¹²

กฎของแลมเบิร์ต(Lambert's law) กล่าวว่า “เมื่อแสงสีเดียว (monochromatic light) คือ แสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว (homogeneous) เป็นสัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้ โดยไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงเริ่มต้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”

กฎของเบียร์ (Beer's law) กล่าวว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียวสัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc$$

เนื่องจาก T (Transmittance) เท่ากับ

$$T = \frac{I}{I_0}$$

เพราะฉะนั้น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc$$

$$A = \log \frac{1}{T}$$

I=ความเข้มของแสงความยาวคลื่นเดียวที่ส่งผ่านออกมา

ϵ =สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง ปกติเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นและอุณหภูมิ

I_0 =ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลางเมื่อ $b=0$

b =ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

c =ความเข้มข้นของสารในหน่วย โมล/ลิตร

A=ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

พันธะโมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะมีการจัดเรียงโครงสร้างที่แตกต่างกันทำให้มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นแตกต่างกัน¹²

ระเบียบวิธีวิจัย

ศึกษาคูณสมบัติและหลักการทํางานพื้นฐานของ NIRs

ข้อดี ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่าง ไม่ต้องใช้สารเคมีในการทดสอบและใช้งานได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะสาขาหรือเฉพาะทาง

ข้อจำกัด เนื่องจาก NIR ใช้หลักการดูดกลืนแสง จึงไม่สามารถตรวจวัดตัวกลางที่เป็นโลหะได้

ศึกษาคูณลักษณะของกล้วยหอม

ระยะเวลาในการให้ผลผลิตของกล้วยหอม หลังจากการปลูกแล้ว 10 เดือน จะเริ่มเก็บเกี่ยวเครือได้ โดยมีระยะปลูกถึงแทงปลี 7 เดือน และหลังจากแทงปลีจนเก็บเครือได้มีระยะเวลา 70 วัน โดย 1 เครือ จะมีหวี 8 หวี และ 1 หวี มี 15 ลูก หลังจากตัดปลีแล้ว 70 วัน จะเริ่มเก็บเกี่ยวเครือได้

ระยะการสุกของกล้วยหอม¹³

ระยะที่ 1 เปลือกเขียว (ดิบ 100%) ผลแข็ง ผิวสีเขียว

ระยะที่ 2 เปลือกเขียว (ดิบ 95%) เริ่มสุก ผิวเป็นสีเหลือง (5%)

ระยะที่ 3 เปลือกเขียว (ดิบ 70%) เริ่มสุก ผิวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้น (30%)

ระยะที่ 4 เปลือกเขียว (ดิบ 30%) เริ่มสุกผิวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้น (70%)

ระยะที่ 5 เปลือกเหลือง มีการสุกมาก (95%) ปลายยังเป็นสีเขียว (ดิบ 5%)

ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลืองมีการสุกเต็มที่ (100%)

ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ที่มีกลิ่นหอม)

ระยะที่ 8 ผิวสีเหลือง มีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป มีกลิ่นคล้ายแอลกอฮอล์)

จัดหาอุปกรณ์สร้างชุดต้นแบบ

จัดหาอุปกรณ์เพื่อสร้างชุดต้นแบบตาม Figure 3 เพื่อใช้ในการทดสอบคุณภาพของกล้วยหอมทองตามสถานะที่แตกต่างกันและแก้ไขชุดต้นแบบให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

ทดลองและสรุปผลการทดลอง

ทดลองและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากอุปกรณ์ต้นแบบ NIR และนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐาน ในงานวิจัยนี้ใช้ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 เป็นตัวเปรียบเทียบ

ขั้นตอนของการวิจัย

ออกแบบ Flow Chart การทำงานของอุปกรณ์สำหรับทดลองคุณภาพของกล้วยหอมทอง ตาม Figure 2

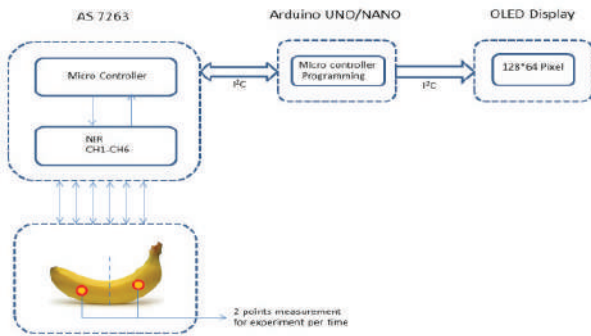


Figure 2 Flow Chart of equipment for experimentation

จาก Figure 2 การทำงานของอุปกรณ์สำหรับทดลองมีหลักการการทำงานพื้นฐานคือเมื่อฉายแสงไปยังกล้วยหอมทองตามตำแหน่งที่ทำการทดสอบ ลำแสงจะตกกระทบกับผิวกล้วยและมีการดูดกลืนแสงบางส่วนในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ทั้ง 6 ช่วงความยาวคลื่น ตั้งแต่ 610 nm-860 nm และมีลำแสงบางส่วนที่ถูกดูดกลืนไม่หมดสะท้อนกลับมายังตัว NIR ผ่านตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจำค่าที่ส่งออกไปเทียบกับค่าที่ได้รับกลับมาในแต่ละความยาวคลื่น ผลที่ได้จาก NIR Spectral Sensor Model AS7263 นำมาประมวลผลและดึงข้อมูลมาใช้แสดงผลและเพื่อสร้างสมการในการทำนายในขั้นตอนถัดไปจากหลักการทำงานข้างต้นที่กล่าวไว้ในงานวิจัยนี้ได้สร้างชุดต้นแบบตาม Figure 3 (a) และเพื่อให้สามารถทดสอบคุณภาพของกล้วยหอมที่มีความแม่นยำยิ่งขึ้นโดยใช้ชุดซัพพอร์ตรองรับอีกชุดหนึ่ง ตาม Figure 3 (b)

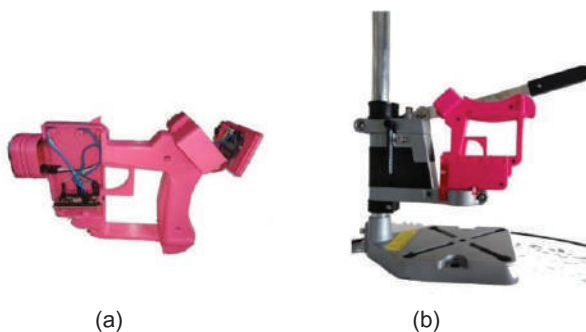


Figure 3 Prototypes for use in experiments

จัดหากกล้วยหอมทอง

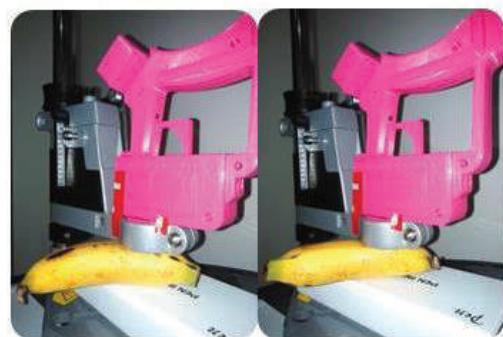
กล้วยหอมที่นำมาทดสอบจะมีอายุระยะหลังปลูกลงถึงแทงปลี 7 เดือน และหลังจากแทงปลีจนเก็บเกี่ยว 70 วัน โดย 1 หวี มี 15 ลูก ซึ่งเป็นช่วงที่กล้วยหอมทองแก่เต็มที่ อยู่ในระยะการสุกของกล้วยหอมระยะที่ 1 คือเปลือกเขียว (ดิบ 100%) ลักษณะของผลจะแข็งไม่มีการสุกและจะทำการทดลองจนกว่ากล้วยหอมทองจะเปลี่ยนสถานะเป็นกล้วยสุก ดัง Figure 4



Figure 4 The ripening of the banana experiment

วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองการวัดสถานะของกล้วยหอมทองด้วยการวิเคราะห์ผลทางสเปกตรัมนี้ มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำให้เกิดสัญญาณที่นำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสเปกตรัมของกล้วยหอมทอง และนำค่าทางสเปกตรัมที่ได้เข้าสู่การประมวลผลเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730



(a) Using Prototypes NIR



(b) Using PEN PRO Cat.No.3730

Figure 5 Experimental methods of prototype and PEN PRO devices

การทดสอบชุดอุปกรณ์ต้นแบบในงานวิจัยนี้ได้เลือกตัวอย่างกล้วยหอมทองแก่ที่มีอายุหลังจากแทงปลี 70 วัน เพื่อใช้ในการทดลองทั้งหมด 4 หวี แต่แต่ละหวีจะอยู่ในเครือเดียวกันทั้งหมด มีรายละเอียดดังนี้ หวีที่ 1-4 มีจำนวนลูกหวีละ 15 ลูก เลือกกล้วยจากหวีที่ 1-3 ออกหวีละ 10 ลูก รวม 30 ลูก สำหรับใช้ทดลองกับ Prototypes NIR และหวีที่ 1-3 ที่เหลืออีกหวีละ 5 ลูก นำมารวมกับหวีที่ 4 อีก 15 ลูก รวมเป็น 30 ลูก สำหรับใช้ทดลองกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730

โดย Prototypes NIR จะทำการทดสอบบริเวณผิวของกล้วยและในแต่ละลูกจะทำการทดสอบสองครั้ง (หัว-ท้าย) ดัง Figure 5 (a) และตัว Prototypes NIR มีระยะห่างระหว่างผิวกล้วยอยู่ที่ 10 มิลลิเมตร หรือ 1 เซนติเมตร และเพื่อให้เห็นจุดการทดสอบบริเวณผิวของกล้วยและในแต่ละลูก หัว-ท้ายชัดเจนยิ่งขึ้นสามารถดูได้ดังใน Figure 6

ในส่วนของวิธีการใช้ PENPRO Cat.No.3730 จะใช้ทำการทดสอบบริเวณหน้าตัดกึ่งกลางของกล้วยโดยวิธีการทาบกับเนื้อกล้วยไม่มีระยะห่างระหว่างผิวกล้วย ดัง Figure 5 (b) และในการทดสอบในแต่ละครั้งใช้เวลา 30 วินาทีเพื่อให้ได้ค่าการทดลองที่แม่นยำและคงที่ที่สุดแล้วจึงทำการบันทึกค่าลงในตารางผลการทดลองที่ 1

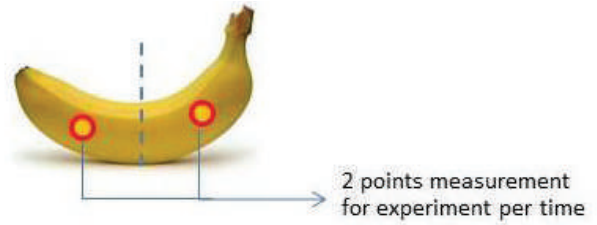


Figure 6 The position of banana tested by NIR

ในส่วนของห้องที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 4 เมตร x 4 เมตร x 3 เมตร กำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 29 °C ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) (RH) 80% แสงภายในห้องทดลองมีความส่องสว่าง 250 ลักซ์ (Lux)

ผลการทดลอง

สร้างสมการ (Calibration Set)

ผลการทดลองที่ทดลองได้จะแสดงที่หน่วยแสดงผลดัง Figure 7 ค่าที่ได้จากการทดลองกล้วยหอมทอง 30 ลูก ในแต่ละความยาวคลื่นจะนำมาหาค่าเฉลี่ยให้เหลือ 10 ลูกเพื่อบันทึกลงในตารางเพื่อทำการสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำทาบ (Calibration Set) ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร จะเป็นค่าทางสเปคตรัมมีทั้งหมด 6 ความยาวคลื่น (610nm=CH1=R, 680nm=CH2=S, 730nm=CH3=T, 760nm=CH4=U, 810nm=CH5=V และ 860nm=CH6=W)



Figure 7 Spectral values of wavelengths

Table 1 NIR and%Brix result

	R(610 nm)	S(680 nm)	T(730 nm)	U(760 nm)	V(810 nm)	W(860 nm)	%Brix
all green	0.490	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.270
more green than yellow	0.204	0.908	3.373	4.751	4.279	3.484	17.010
green equals yellow	1.190	1.209	5.493	6.268	5.273	4.760	16.900
more yellow than green	2.015	4.347	8.446	8.465	8.006	7.089	18.363
all yellow	6.286	9.911	11.103	11.176	10.381	9.516	21.140

จากผลการทดลองของการทดสอบชุดต้นแบบ NIR และ %Brix ใน Table 1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความยาวคลื่นของ Prototypes NIR ทุกความยาวคลื่นกับ %Brix ผลการทดสอบสถานะระดับความสุกดิบของกล้วยที่แตกต่างกันกับอุปกรณ์วัดความหวานของผลไม้จะเห็นว่ามี ความสัมพันธ์และสอดคล้องไปในทางเดียวกันกล่าวคือเมื่อสถานะของกล้วยเปลี่ยนไปจากเขียวไปเป็นเหลืองค่าที่ทดสอบได้จาก Prototypes NIR และ PENPRO Cat.No.3730 จะเพิ่มขึ้นตามสถานะที่เปลี่ยนแปลงไป

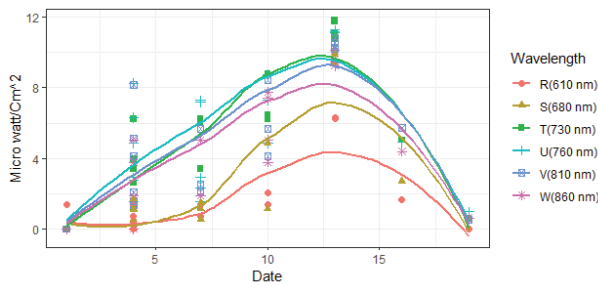


Figure 8 Spectral values of Prototypes NIR

จากกราฟผลการทดลอง Figure 8 แสดงให้เห็นถึงผลการทดลองจากกล้วยหอมทองทั้งหมด 30 ลูกและแยกออกเป็นหรีๆ ละ 10 ลูก ช่วงความยาวคลื่นทั้ง 6 ความยาวคลื่น มีการดูดซับแสงที่แตกต่างกัน ความยาวคลื่น 730 nm มีการดูดซับแสงน้อยที่สุดทำให้แสงที่สะท้อนกลับมามีค่ามากที่สุด ความยาวคลื่น 610 nm มีการดูดซับแสงมากที่สุดทำให้แสงที่สะท้อนกลับมามีค่าน้อยที่สุด และจากกราฟผลการทดลอง Figure 8 สามารถนำค่าที่ได้ในแต่ละความยาวคลื่นเปรียบเทียบกับหรือทำนายผลความหวานของกล้วยหอมทองในหน่วยของ %Brix และสามารถนำไปสร้างสมการหรือทำการวิจัยเพิ่มเติมต่อไปได้

Table 2 Defining variables

Ripeness banana	Mean 610 nm	Mean 680 nm	Mean 730 nm	Mean 760 nm
all green	Th1,1	Th1,2	Th1,3	Th1,4
more green than yellow	Th2,1	Th2,2	Th2,3	Th2,4
half green / half yellow	Th3,1	Th3,2	Th3,3	Th3,4
yellow with green tips & green necks	Th4,1	Th4,2	Th4,3	Th4,4
all yellow	Th5,1	Th5,2	Th5,3	Th5,4

$$Difference_{level_{1-5}} = \sum_{i=1-5} |I_i - Th_{i,1-5}| = \{|I_1 - Th_{1,1-5}| + |I_2 - Th_{2,1-5}| + |I_3 - Th_{3,1-5}| + |I_4 - Th_{4,1-5}| + |I_5 - Th_{5,1-5}| + |I_6 - Th_{6,1-5}|\} \quad (1)$$

วิธีการกำหนดตัวแปรดัง Table 2 สามารถนำมาสร้างสมการเพื่อทำนายผลการทดลองได้ตามสมการที่ 1

ผลการทดลอง

การตรวจสอบสมการ (Validation Set)

ผลการทำนายที่ได้จากสมการ Calibration Set จะทำการทดสอบบริเวณผิวของกล้วยและในแต่ละลูกและ

ตัว Prototypes NIR มีระยะห่างระหว่างผิวกล้วยอยู่ที่ 10 มิลลิเมตร หรือ 1 เซนติเมตรและทำนายผลกล้วยหอมทองทั้งหมด 30 ลูก กำหนดเงื่อนไขในการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองเพื่อสร้างสมการ Calibration Set การทดสอบค่าการทำนาย (Prediction Value) ในแต่ละครั้งใช้เวลา 30 วินาทีเพื่อให้ได้ค่าการทำนายที่เที่ยงตรงที่สุดแล้ววิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยก่อนบันทึกค่าลงในตารางผลการทดลองที่ 3

Table 3 Prediction Value

R(610 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.467	0.467	0.700	0.933	0.000	0.000	0.233	1.167	0.233	0.700
More Green	0.670	0.467	0.000	0.233	0.233	0.233	0.568	0.000	0.000	0.000
Half Green	0.467	1.400	1.400	1.400	1.400	0.233	1.400	1.400	1.400	1.400
More Yellow	2.770	2.055	2.175	2.185	1.838	1.400	2.095	2.095	2.095	2.160
Yellow	6.295	6.275	6.295	6.295	6.295	6.262	6.288	6.282	6.282	6.288
Day16	21.828	1.635	1.635	1.635	7.923	1.635	1.635	6.145	6.544	18.032
S(680 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
More Green	0.373	1.108	0.925	0.925	0.925	1.295	0.557	1.110	1.110	1.110
Half Green	1.110	1.500	1.110	1.110	1.110	0.925	1.240	1.370	1.370	1.240
More Yellow	5.063	4.845	4.530	4.845	3.600	1.110	4.845	4.845	4.845	4.845
Yellow	10.005	9.905	10.005	10.005	9.395	9.978	9.972	9.938	9.938	9.972
Day16	2.510	2.715	2.640	2.715	2.488	2.649	2.685	1.848	2.715	2.217
T(730 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
More Green	1.943	3.807	3.963	3.777	3.777	3.588	3.425	3.240	3.240	3.697
Half Green	3.048	6.230	6.230	6.230	6.163	3.777	4.558	6.230	6.230	6.230
More Yellow	8.117	8.778	8.775	8.775	8.012	6.230	8.775	8.775	8.782	8.778
Yellow	10.193	11.780	10.760	10.760	10.760	11.110	11.093	11.427	11.467	11.113
U(760 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
More Green	2.257	6.962	4.375	4.485	4.535	4.213	4.722	5.668	5.668	5.345
Half Green	3.752	7.180	7.285	7.285	5.633	4.535	5.333	7.215	7.215	7.250
More Yellow	8.427	8.740	8.740	8.740	7.447	7.285	8.740	8.740	8.740	8.740
Yellow	11.170	11.170	11.171	11.347	11.130	11.270	11.170	11.323	11.150	11.350
V(810 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
More Green	1.900	6.153	4.292	3.620	3.777	4.463	4.372	4.978	4.978	4.807
Half Green	4.635	5.680	5.665	5.665	4.615	3.777	5.670	5.675	5.675	5.670
More Yellow	7.660	8.492	8.425	8.425	6.988	5.665	8.617	8.425	8.425	8.425
Yellow	10.300	10.200	10.300	10.300	10.550	11.158	10.267	10.233	10.233	10.267
W(860 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
More Green	0.833	5.033	3.570	3.150	3.150	3.780	2.727	4.617	4.617	4.198
Half Green	4.197	5.035	5.030	5.030	5.030	3.150	5.032	5.033	5.033	5.032
More Yellow	6.610	7.400	7.417	7.750	6.193	5.030	7.400	7.400	7.400	7.517
Yellow	9.448	9.525	9.457	9.440	9.240	10.153	9.518	9.463	9.463	9.452

จากผลการทดลอง Table 3 แสดงให้เห็นถึงผล การทำนายที่ได้จากการสร้างสมการและค่าการทำนายเมื่อ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก Brix Refractometer รุ่น Type

Model PEN-PRO Cat.No.3730 มีความสัมพันธ์ที่ดีและสามารถ ขยายผลเพิ่มเติมต่อไปได้ดังนี้

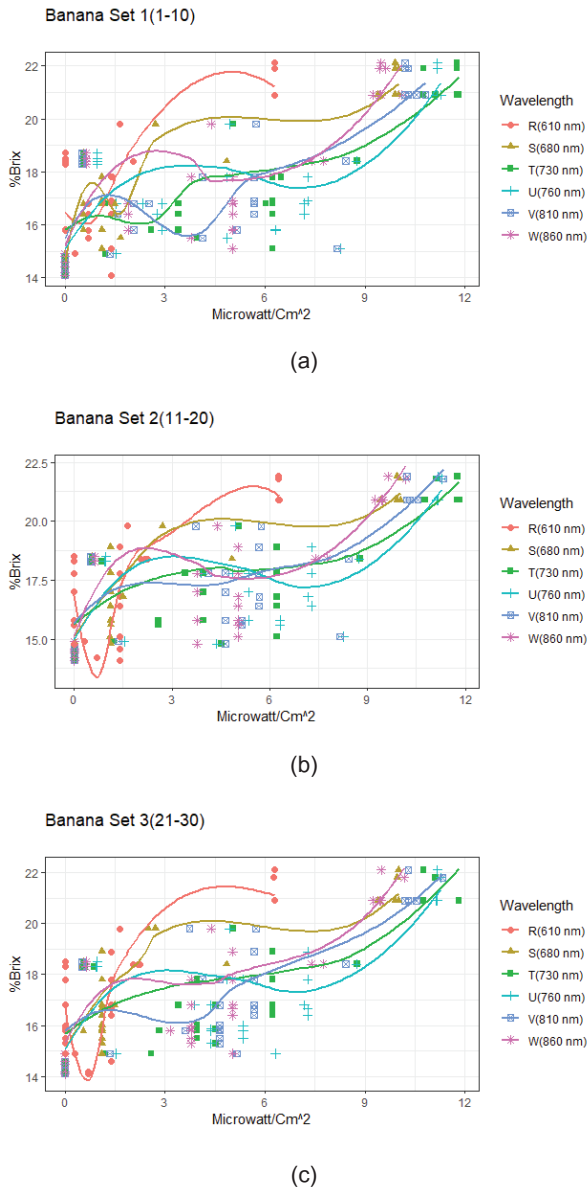


Figure 9 The 610 nm wavelength relationship of NIR with %Brix

จากกราฟผลการทำนาย Figure 9 (a) (b) และ (c) แสดงให้เห็นถึงผลการทำนายจากกล้วยหอมทองทั้งหมด 30 ลูกและแยกออกเป็นหวีๆ ละ 10 ลูก ช่วงความยาวคลื่นทั้ง 6 ความยาวคลื่นมีการดูดซับแสงที่แตกต่างกัน ความยาวคลื่น 730 nm มีการดูดซับแสงน้อยที่สุดทำให้แสงที่สะท้อนกลับมา มีค่ามากที่สุด ความยาวคลื่น 610 nm มีการดูดซับแสงมากที่สุดทำให้แสงที่สะท้อนกลับมามีค่าน้อยที่สุดเช่นเดียวกับผลการทดลองในขั้นตอนการสร้างสมการ และจากกราฟผลการทำนายใน Figure 9 สามารถนำค่าที่ได้ในแต่ละความยาวคลื่นเป็นตัวชี้วัดทำนายผลความหวานของกล้วยหอมทองในหน่วยของ %Brix ในส่วนของการเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการใช้งานหรือศึกษาเพิ่มเติมสามารถแสดงได้ ดังนี้

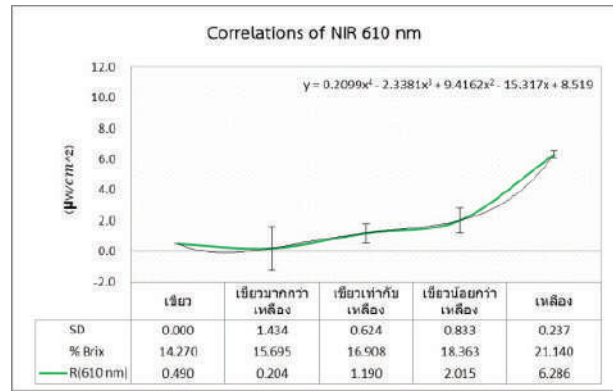


Figure 10 The 730 nm wavelength relationship of NIR with %Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 10 ในช่วงความยาวคลื่น 610 nm เมื่อกล้วยอยู่ในสถานะเขี้ยวมากกว่าเหลือมีค่าความผิดพลาดจากชุดข้อมูลของการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 1.434 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 610 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะเขี้ยวและเหลือเนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 และ 0.237 ตามลำดับ

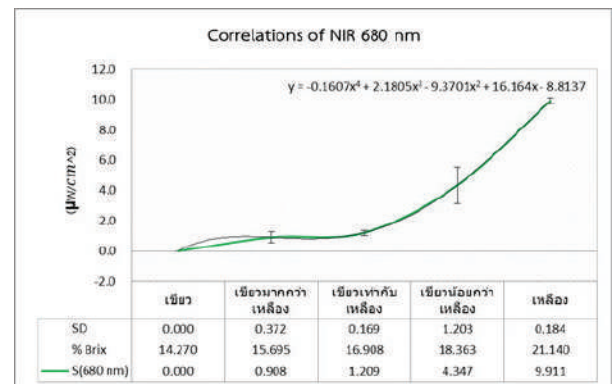


Figure 11 The 680 nm wavelength relationship of NIR with %Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 11 ในช่วงความยาวคลื่น 680 nm เมื่อกล้วยอยู่ในสถานะเขี้ยวน้อยกว่าเหลือมีค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 1.203 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 680 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะ เขี้ยว, เขี้ยวเท่ากับเหลือและเหลือ เนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 0.169 และ 0.184 ตามลำดับ

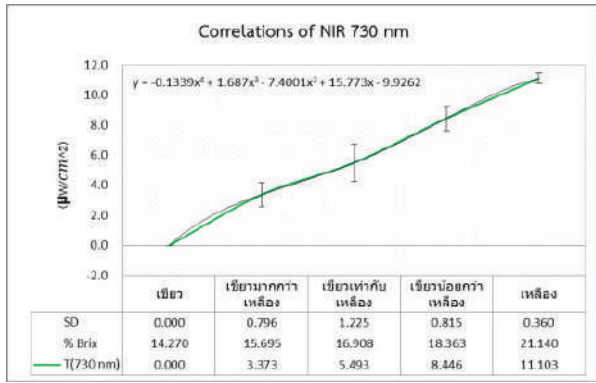


Figure 12 The 730 nm wavelength relationship of NIR with%Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 12 ในช่วงความยาวคลื่น 730 nm เมื่อกกล้วยอยู่ในสถานะเขียวเท่ากับเหลืองมีค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 1.225 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 730 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะเขียวและเหลืองเนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 และ 0.360 ตามลำดับ

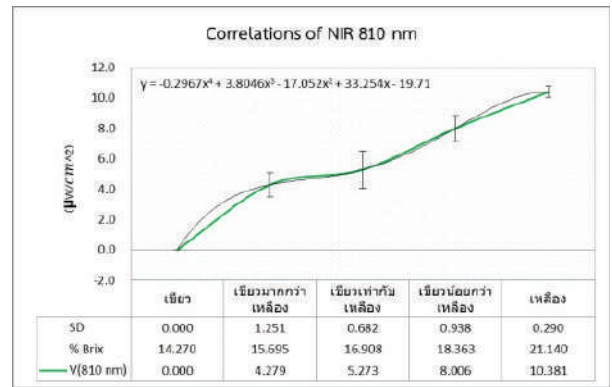


Figure 14 The 810 nm wavelength relationship of NIR with%Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 14 ในช่วงความยาวคลื่น 810 nm เมื่อกกล้วยอยู่ในสถานะเขียวเท่ากับเหลืองมีค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 0.682 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 810 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะเขียวและเหลืองเนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 และ 0.290 ตามลำดับ

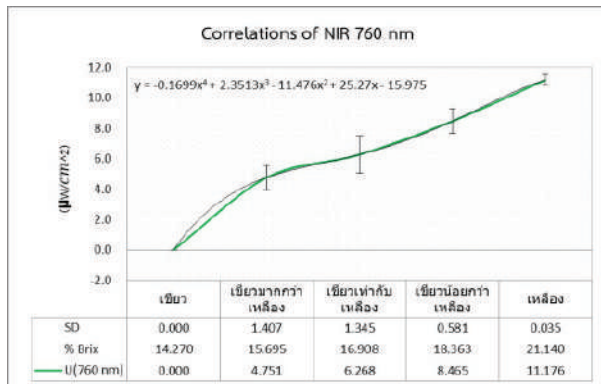


Figure 13 The 760 nm wavelength relationship of NIR with%Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 13 ในช่วงความยาวคลื่น 760 nm เมื่อกกล้วยอยู่ในสถานะเขียวเท่ากับเหลืองมีค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 1.345 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 760 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะเขียวและเหลืองเนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 และ 0.035 ตามลำดับ

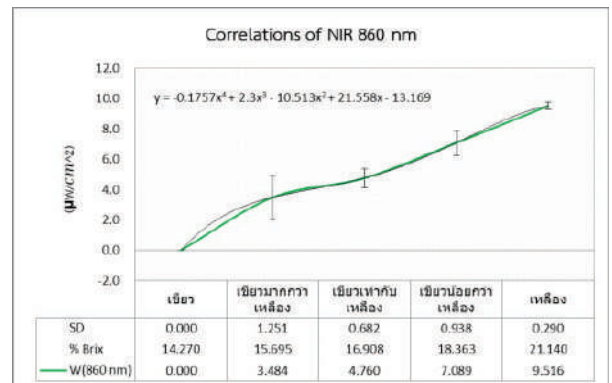


Figure 15 The 860 nm wavelength relationship of NIR with%Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 15 ในช่วงความยาวคลื่น 860 nm เมื่อกกล้วยอยู่ในสถานะเขียวกว่าเหลืองมีค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 1.251 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 860 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะเขียวและเหลืองเนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 และ 0.290 ตามลำดับ

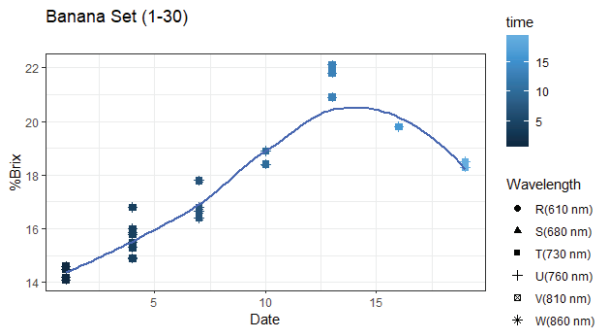


Figure 16 The relationship between wavelength 610 nm-860 nm and %Brix.

จาก Figure 16 เมื่อเวลาและสถานะในแต่ละระดับความสุกดิบของกล้วยหอมทองเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลืองตามวันเวลาที่เพิ่มขึ้นและในแต่ละย่านความยาวคลื่น (610nm, 680nm, 730nm, 760nm, 810nm, 860nm) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับค่า %Brix ที่ทดลองได้จาก Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 กล่าวคือผลที่ทดลองได้มีความสอดคล้องกันและสามารถเลือกย่านที่เหมาะสมกับการใช้งานหรือทำนายสถานะความสุกหรือทำนายความหวานของกล้วยโดยการดูค่าในแต่ละย่านความยาวคลื่นที่มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหวานที่ทดสอบได้จากอุปกรณ์ทดสอบความหวานที่ได้มาตรฐาน Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในทุกความยาวคลื่นซึ่งแสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละความยาวคลื่นแสดงให้เห็นว่าเมื่อกล้วยหอมทองเปลี่ยนสถานะจากกล้วยแก่เป็นกล้วยสุกตามระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าที่ทดสอบได้จะเปลี่ยนแปลงตามสถานะความสุกของกล้วย โดยค่าที่ทดสอบได้จะสอดคล้องกับค่าที่ได้จากอุปกรณ์วัดความหวาน Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 และยังสามารถเลือกย่านความยาวคลื่นให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมต่อไปได้ในผลไม้ชนิดอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายๆ กัน ดังนี้

ที่สถานะความสุกของกล้วยในระดับที่ 1 “เขียว” อุปกรณ์ต้นแบบที่ทำจาก NIR มีค่าเท่ากับ 0.000 ค่าความผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 0.000 ทุกๆ ความยาวคลื่นเหมาะที่จะนำไปทำนายหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเมื่อเทียบกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 ได้ความหวานเท่ากับ 14.270%Brix

ที่สถานะความสุกของกล้วยในระดับที่ 2 “เขียวมากกว่าเหลือง” ความยาวคลื่น 680 nm Figure 6 มีค่าความผิดพลาด 0.372 มีค่าน้อยที่สุดจึงเหมาะที่จะนำไปทำนายหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเมื่อเทียบกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 ได้ความหวานเท่ากับ 15.695%Brix

ที่สถานะความสุกของกล้วยในระดับที่ 3 “เขียวเหลืองเท่ากัน” ความยาวคลื่น 680 nm Figure 6 มีค่าความผิดพลาด 0.169 มีค่าน้อยที่สุดจึงเหมาะที่จะนำไปทำนายหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเมื่อเทียบกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 ได้ความหวานเท่ากับ 16.908%Brix

ที่สถานะความสุกของกล้วยในระดับที่ 4 “เหลืองมากกว่าเขียว” ความยาวคลื่น 760 nm Figure 8 มีค่าความผิดพลาด 0.581 มีค่าน้อยที่สุดจึงเหมาะที่จะนำไปทำนายหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเมื่อเทียบกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 ได้ความหวานเท่ากับ 18.363%Brix

ที่สถานะความสุกของกล้วยในระดับที่ 5 “เหลือง” ความยาวคลื่น 760 nm Figure 8 มีค่าความผิดพลาด 0.035 มีค่าน้อยที่สุดจึงเหมาะที่จะนำไปทำนายหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเมื่อเทียบกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 ได้ความหวานเท่ากับ 21.140%Brix

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทดสอบวัดหาค่าคุณภาพของกล้วยหอมทองเทียบกับความหวานที่ได้จากชุดอุปกรณ์มาตรฐานรุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 โดยตรวจสอบจากสถานะของกล้วยหอมทองที่มีระดับและสถานะความสุกดิบที่แตกต่างกันโดยวิธีการไม่ทำลายตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์ค่าที่ได้จากทางสเปคตรัมของ AS7263 NIR Spectral Sensor โดยวิเคราะห์จากความยาวคลื่นที่ต่างกัน 6 ช่วงความยาวคลื่น ผลการทดสอบจากอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นมา มีแนวโน้มที่ดีในการที่จะสามารถแยกแยะความสุกดิบหรือสถานะสีของกล้วยและสถานะความหวานของกล้วยหอมทองได้ โดยมีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับอุปกรณ์วัดความหวานผลไม้ รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำไปขยายผล ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมกับผลไม้ชนิดอื่นๆ ได้ และยังสามารถพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบให้มีความทันสมัยสามารถลดต้นทุนให้เกษตรกรและเหมาะแก่การใช้ในทางการเกษตรต่อไปได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. อนิรุจ (Anirut.j), (2562), ผลไม้ไทยส่งออกไปจีนโต 152% ทุเรียนสดครองแชมป์, เข้าถึงเมื่อ (29 สิงหาคม 2562) เข้าถึงได้จาก (<https://www.smartsme.co.th/content/221955>)
2. ไทยรัฐออนไลน์, (2560), ผู้ว่าฯ เมืองจันทน์ ลุยตรวจ 'ล้งทุเรียน' โดนจีนตีกลับ 3 คอนเทนเนอร์, เข้าถึงเมื่อ (29 สิงหาคม 2562) เข้าถึงได้จาก (<https://www.thairath.co.th/content/920005>)
3. M.Azfar Din, M.H. Abdul Halim, Norlida Buniyamin. (2016). Determination of Banana Sugar Content Using Ultrasound Velocity Measurement, 8th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE). Yogyakarta, Indonesia. (2016).
4. Amos Mizrach. (2004). Assessing plum fruit quality attributes with an ultrasonic method, 2004 Food Research International 37. 627-631
5. Gabrieli Alves de Oliveira, Sylvie Bureau, Catherine Marie-Geneviève Claire Renard, Aducto Bellarmino Pereira-Netto a, Fernanda de Castilhos. (2014). Comparison of NIRS approach for prediction of internal quality traits in three fruit species, Food Chemistry 143 (2014). 223-230
6. Ayman Ibrahim, Adrienne Csur Varga, Marton Jolankai, Ferenc Safranyik. (2018). Applying Infrared Technique as a Nondestructive Method To Assess Wheat Grain Hardness, International Journal of Science and Qualitative Analysis (2018). 100-107
7. Els Bobelyn, Anca-Sabina Serbanc, Mihai Nicuc, Jeroen Lammertyn, Bart M. Nicolai, Wouter Saeys. (2010). Postharvest quality of apple predicted by NIR-spectroscopy: Study of the effect of biological variability on spectra and model performance. Postharvest Biology and Technology 55 (2010). 133-143
8. Pranita Jaiswal, Shyam N. Jha, Rishi Bharadwaj. (2012). Non-destructive prediction of quality of intact banana using spectroscopy. Scientia Horticulturae 135 (2012). 14-22
9. Liew, C.Y. and Lau, C.Y.. (2012). Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy. International Food Research Journal 19(2) (2012). 751-758
10. Septi Tri Wahyuni Siregar, Windri Handayani, Adhi Harmoko Saputro. (2017). Bananas Moisture Content Prediction System using Visual-NIR Imaging. 2017 5th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA). Yogyakarta, Indonesia, August 9-11. (2017).
11. พัชรียา โภคกุล. (2553). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี NIR (Near Infrared) กับงานควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สุขภาพ. สำนักความร่วมมือระหว่างประเทศ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. วารสารอาหารและยา. ฉบับเดือน มกราคม-เมษายน. หน้า 1-5
12. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์. (2557). การศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจวัดปริมาณความชื้นในแป้งมันสำปะหลังหมาด โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
13. เบญจมาศ ศิลาอ้อย. (2545). กล้วย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.