

เครื่องตรวจวัดความหวานเมล่อนด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้

A Device of Measuring Melon Sweetness by Near-Infrared Technique

ชิดชนก มากจันทร์^{1*}, สุธี ลีจงเพิ่มพูน², วิรัช กองสิน³, กิตติพงษ์ คล้ายดี⁴, เอกชัย รัตนบรรลือ⁵

Chidchanok Markjan^{1*}, Sutee Leejongpermpoon², Wiruch Kongsin³,

Kittiphong Klaidee⁴, Aekchai Rattanabanlue⁵

^{1,2,3,4}สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

⁵สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

^{1,2,3,4} Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Thailand.

⁵Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Thailand.

* Corresponding author. Tel. 06 4936 6398, E-mail: chidchanok.m@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องตรวจวัดความหวานเมล่อนด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยการรับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับเพื่อเป็นประโยชน์ในการตรวจวัดความหวานของเมล่อนในขณะเพาะปลูก มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบความสัมพันธ์ของช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม ระยะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด และจำนวนอุปกรณ์ตรวจวัด ต่อค่าความหวาน ผลความหวานที่ได้จากการทดลองวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์ รีเฟล็กโต-มิเตอร์ ทำการทดลองที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดความถี่ช่วงสั้นที่ 760, 810 และ 860 nm ที่ระยะห่างอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับตั้งแต่ 0.1-1 cm ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับจำนวน 1-3 ตำแหน่ง เมล่อนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดลอง สายพันธ์ 115 อายุเก็บเกี่ยวไม่น้อยกว่า 80 วัน น้ำหนักไม่น้อยกว่า 1.2 kg ขนาดเส้นรอบวงไม่น้อยกว่า 35 cm ผลการทดลองพบว่าที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดความถี่ช่วงสั้นที่ 860 nm ระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์ที่ 0.1 cm และ ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับจำนวน 3 ตำแหน่ง สามารถให้ความแม่นยำในการวัดความหวานตามมาตรฐาน 12 °Brix ในห้องปฏิบัติการคือ 60% และค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 1 °Brix

คำสำคัญ : ของแข็งที่ละลายน้ำได้ เมล่อน วัดความหวาน

ABSTRACT

This research developed a of a device of measuring melon sweetness by near-infrared technique with reflected transponder signals useful for indicating the sweetness of melons during cultivation. The research objective is to know the relationship of the proper wavelength

Received 12-10-2021

Revised 26-11-2021

Accepted 01-12-2021

range, measuring device installation distances and the number of measuring devices per sweetness. Sweetness results were obtained from the analytical experiment by a reflectometer device. Such experiment was performed at short-range infrared wavelengths of 760, 810 and 860 nm at reflectance transceiver distances from 0.1 to 1 cm. There were 1-3 mounting positions of reflector transceivers. The melon samples used in the experiment belong to the strain 115 with a harvesting age of no less than 80 days, a weight no less than 1.2 kgs, and a circumference of no less than 35 cm. The results indicated that, at the short-range infrared wavelength of 860 nm, the instrument mounting distance of 0.1 cm. and the mounting position of the reflector transceiver in 3 positions were able to achieve the measurement accuracy of 12 ± 1 °Brix standard sweetness. In the laboratory, it is equal to 60% while the tolerance value is to ± 1 °Brix.

Keyword: Soluble Solids content: Melon: Sweet measure

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งภาคเกษตรกรรมยังคงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ และส่งผลถึงแนวโน้มของระบบความมั่นคงทางอาหารของโลก เนื่องจากเกษตรกรรมเป็นต้นทางของการผลิตปัจจัย 4 ซึ่งเป็นปัจจัยหลักของการดำรงชีวิตของมนุษย์ แต่ด้วยปัญหาการปลูกพืชชนิดเดิมซ้ำเป็นระยะเวลานาน อาจนำมาซึ่งปัญหา ดินเสื่อม ปัญหาโรคระบาด และปัญหาแมลงศัตรูพืช จึงส่งผลให้เกษตรกรให้ความสนใจในการปลูกพืชหมุนเวียน โดยพืชทางเลือกที่สำคัญและเกษตรกรให้ความสนใจปลูกเพิ่มมากขึ้น นั่นคือแตงเทศ เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพทางการตลาดสูง โดยในปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตแตงเทศอยู่หลายชนิด เช่น แคนตาลูป เมล่อนผิวตาข่าย เมล่อนผิวเรียบ เป็นต้น พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในแถบ ภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกแตงเทศรวมทั้งประเทศอยู่ราว ๆ 4,524 ไร่ ผลผลิตรวมทั้งสิ้นประมาณ 9,176 ตัน โดยผลผลิตส่วนใหญ่ใช้บริโภค

ภายในประเทศ [1] และหากจำแนกพื้นที่เพาะปลูกแตงเทศเป็นรายชนิดพบว่า ในปี 2558 พื้นที่เพาะปลูกเมล่อนมีทั้งหมด 9 จังหวัด เนื้อที่เพาะปลูกรวมทั้งสิ้น 371 ไร่ ผลผลิตรวมเท่ากับ 1,157 ตัน [2] และได้มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มมากขึ้นในปี 2559 โดยมีพื้นที่เพาะปลูกเมล่อนเพิ่มขึ้นเป็น 17 จังหวัด เนื้อที่เพาะปลูกรวมทั้งสิ้น 533 ไร่ ผลผลิตรวมเท่ากับ 1,323 ตัน และมีแนวโน้มสูงขึ้นอีกในอนาคต [3] โดยจังหวัดที่มีการเพาะปลูกเมล่อนมากที่สุดคือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา นนทบุรี และจันทบุรี ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณผลผลิตของเมล่อนที่เพิ่มขึ้นอาจมีแนวโน้มมาจากการเพาะปลูกเมล่อนที่เพิ่มขึ้น จึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าเมล่อนเริ่มเป็นที่ต้องการของตลาด แต่การผลิตพืชในเชิงเศรษฐกิจนั้นนอกจากปริมาณของผลผลิตแล้วจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณภาพของผลผลิต โดยจากข้อมูลของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรของแตงเทศเพื่อจำหน่ายในรูปผลผลิตสดแก่ผู้บริโภคไว้ โดย

นอกจากลักษณะทางกายภาพหลักของแตงเทศ ในเรื่องของการไม่มีตำหนิที่ผิว ไม่มีคามผิดปกติ ด้านรูปทรงและสี ฯลฯ แล้วนั้น ตัวแปรสำคัญอีกตัวแปรหนึ่งที่เป็นตัวกำหนด และแบ่งชั้นคุณภาพคือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS) โดยการแบ่งชั้นคุณภาพของแตงเทศนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ แตงเทศมาตรฐานชั้นพิเศษ (Extra class) แตงเทศมาตรฐานชั้นหนึ่ง (Class I) และแตงเทศมาตรฐานชั้นสอง (Class II) โดยแตงเทศมาตรฐานชั้นพิเศษนั้นต้องมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ไม่ต่ำกว่า 12% และ แตงเทศมาตรฐานชั้นหนึ่งและสอง ต้องมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่ต่ำกว่า 10% ถือเป็นค่าที่ยอมรับได้[4] โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลแตงเทศนั้นยังมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลในผลแตงเทศอีกด้วย ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลแตงเทศทุกๆ ไปจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8-15% [5]

จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เป็นคุณลักษณะที่ถูกนำมาใช้ในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพผลผลิตเพื่อการบริโภค ส่งผลให้หลาย ๆ หน่วยงานให้ความสนใจในการศึกษาวิธีการตรวจวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลไม้ด้วยกันอยู่หลายวิธี เช่น 1) การตรวจสอบคุณภาพของมะม่วง โดยจะพิจารณาความหนาแน่น ความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์ [6] 2)การตรวจสอบค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลองกองด้วยเครื่องวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านใกล้อินฟราเรด โดยเปรียบเทียบกับวิธีการใช้คลื่นแบบทะลุผ่านและแบบสะท้อนกลับ [7] 3) การศึกษาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว สีจากภาพถ่าย เพื่อประเมิน

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และความสดของเมล่อน เป็นต้น

จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ในการสร้างเครื่องตรวจวัดความหวานเมล่อนด้วยเทคนิคอินฟราเรด ย่านใกล้ด้วยการรับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทราบความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นต่อระยะทางการติดตั้งเซ็นเซอร์รับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับต่อค่าความหวานพร้อมกับหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของอุปกรณ์วัดความหวานที่สร้างขึ้น และหาความสัมพันธ์ของจำนวนอุปกรณ์และตำแหน่งการติดตั้งต่อค่าความหวานของผลเมล่อน เพื่อเป็นประโยชน์ในการตรวจวัดความหวานของเมล่อนในขณะเพาะปลูกซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องมีการเปลี่ยนจุดที่ทำการวัดอยู่ตลอดโดยมิต้องทำการปรับเทียบตำแหน่งวัดค่าก่อนการใช้งานเหมือนเทคนิคการใช้คลื่นแบบเจาะทะลุ อีกทั้งยังมีการเพิ่มความแม่นยำด้วยการเพิ่มจำนวนตำแหน่งวัดค่าที่เหมาะสม ซึ่งสามารถที่จะลดการสูญเสียของเกษตรกรในการวัดความหวานแบบไม่ทำลาย และลดความเสี่ยงที่จะเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ยังไม่ได้คุณภาพความหวานตามมาตรฐานแทนวิธีเดิมที่ใช้การนับจำนวนวันเก็บเกี่ยว ด้วยการใช้นวัตกรรมเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตนำไปสู่การเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตเพื่อรองรับการเติบโตในอนาคตของตลาดต่อไป

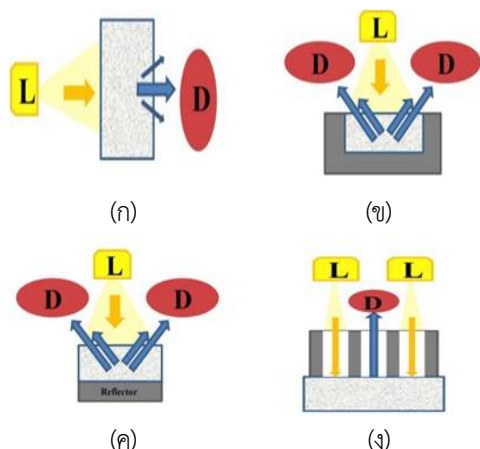
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 หลักการที่ใช้ในการออกแบบ

2.1.1 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIRs) [8]

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR) เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดย

อาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400-2500 นาโนเมตร โดยรูปแบบที่วัดนี้มีปฏิกิริยาต่อแสงเนียร์อินฟราเรด (NIRS) [9] แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การวัดด้วยคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้กับวัตถุ[9]

- (ก) ระบบการวัดแบบส่องผ่าน
- (ข) ระบบการวัดการสะท้อนแบบแพร่
- (ค) ระบบการวัดการสะท้อนแบบส่องผ่าน
- (ง) ระบบการวัดการสะท้อนผ่านตัวอย่าง

1) Transmittance แสงตกกระทบบตัวอย่างด้านหนึ่งโดยที่ Detector จะวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาจากตัวอย่างในด้านตรงกันข้ามดังภาพที่ 1 (ก)

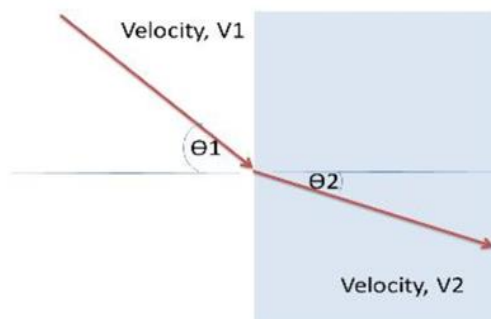
2) Reflectance แสงจะตกกระทบบที่ผิวของตัวอย่างและอาจแพร่กระจายในปริมาณหนึ่งก่อนแล้ววัดปริมาณแสงสะท้อนกลับออกมาโดย Detector ดังภาพที่ 1 (ข)

3) Transflectance แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบบตัวอย่างและส่องผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบบวัตถุที่ไม่ดูดกลืนแสง (แผ่นเซรามิกทองหรืออลูมิเนียม) ที่อยู่ด้านล่างตัวอย่าง แล้วเกิดการสะท้อนกลับมายัง Detector ดังภาพที่ 1 (ค)

4) Interactance กระบวนการนี้เกิดในกรณีที่ใช้หัววัดใยแก้วนำแสง (Fiber optics probe) แสงจะออกมาจากส่วนวงแหวนด้านนอกของหัววัดมาตกกระทบบตัวอย่าง และแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างจะถูกส่งไปยังที่ Detector บริเวณส่วนกลางของใยแก้วนำแสง แสดงดังภาพที่ 1 (ง)

2.1.2 Refractometer [10]

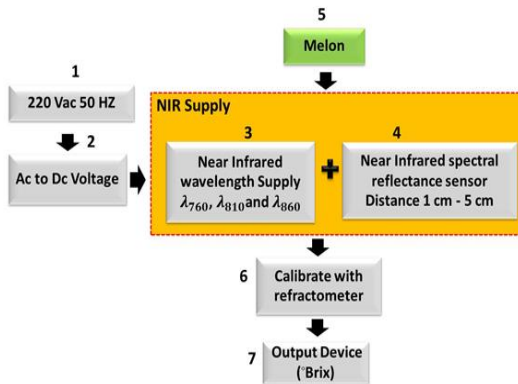
การวัดดัชนีหักเหของแสง (Refractive index) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลาง ทำให้ มุม ความเร็ว (Velocity, v) ของแสงแตกต่างกันสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันเมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเห และให้ค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกันซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงนำมาประยุกต์ใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ดัชนีการหักเห[10]

2.2 การออกแบบและการทดลอง

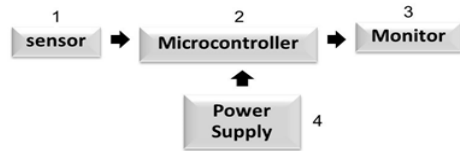
2.2.1 ไตอะแกรมการทดลอง



ภาพที่ 3 ไตอะแกรมการทดลอง

ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำงานของชุดทดลองสำหรับวิเคราะห์ผลความยาวคลื่นต่อค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเทคนิคคลื่นอินฟราเรดความถี่ช่วงสั้นในห้องปฏิบัติการ โดยเริ่มจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลต์, 50 เฮิร์ต ในหมายเลข 1 ไปยังอุปกรณ์แปลงไฟในหมายเลข 2 เพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้กับแหล่งกำเนิดคลื่นอินฟราเรดความถี่ช่วงสั้นที่มีความยาวคลื่น 760, 810 และ 860 nm ในหมายเลข 3 จากนั้นทำการปรับระยะเซ็นเซอร์รับแอมพลิจูดสะท้อนกลับของคลื่นที่ระยะห่าง 0.1 - 1 cm ในหมายเลข 4 ทำการทดสอบกับผลเมลอน ในหมายเลข 5 และเปรียบเทียบความหวานของผลเมลอนด้วยเครื่องมือรีเฟร็กโตมิเตอร์ ในหมายเลข 6 วัดและวิเคราะห์ผลค่าความหวานของผลเมลอนที่เกิดขึ้นของชุดทดลอง ในหมายเลข 7

2.2.2 ไตอะแกรมวงจรของชุดทดลอง
เครื่องตรวจวัดความหวานเมลอนด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 4 ไตอะแกรมการทดลองวัดค่าความหวานด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้

จากภาพที่ 4 หมายเลข 1 เซ็นเซอร์ NIR วัดค่าความเข้มแสงและทำการส่งค่าไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใน หมายเลข 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลค่าที่ได้จากการวัดเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลความหวานของผลเมลอนที่ได้บันทึกค่า และส่งค่าไปแสดงผลที่จอมอนิเตอร์ในหมายเลข 3 เพื่อบอกระดับความหวานของผลเมลอนเป็นตัวเลข ในส่วนของหมายเลข 4 เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับตัวอุปกรณ์การวัด โดยใช้แหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี่

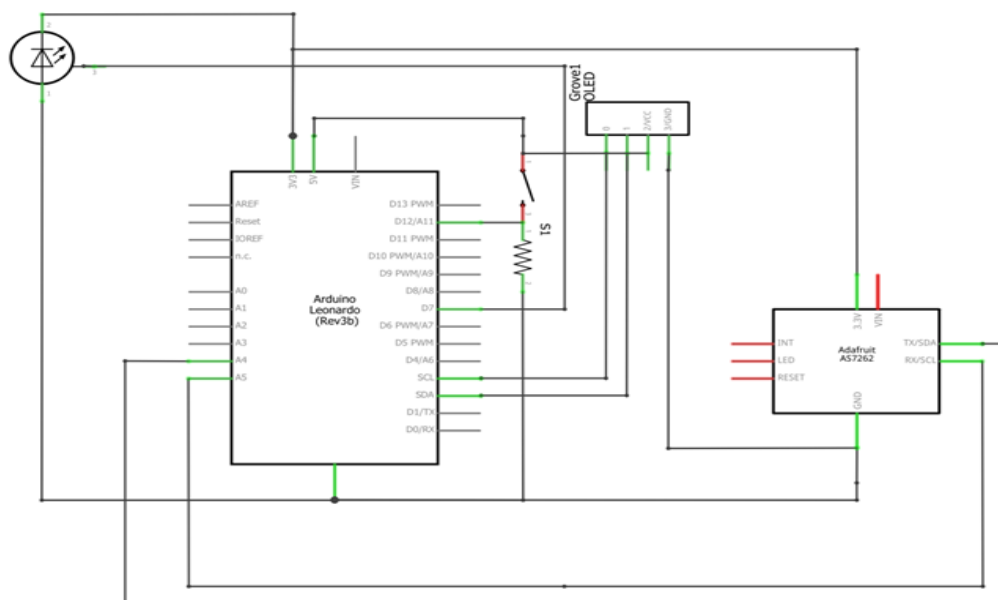


ภาพที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จากภาพที่ 5 แสดงชุดทดลองสำหรับวิเคราะห์ผลความยาวคลื่นต่อค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเทคนิคคลื่นอินฟราเรดความถี่ช่วงสั้นในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยหมายเลข 1 อุปกรณ์รับและส่งสัญญาณ หมายเลข 2 ชุดปรับระยะห่าง

อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ ที่ระยะ 0.1-1 cm โดยทำการ
ปรับระยะห่างเทียบกับเครื่องมือไมโครมิเตอร์

หมายเลข 3 อุปกรณ์อ่านค่าสัญญาณ หมายเลข 4
รีเฟล็กโตมิเตอร์



ภาพที่ 6 วงจรเครื่องตรวจวัดความหวานเมล็ดองุ่นด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยการรับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับ

จากภาพที่ 6 หลักการทำงานของ
วงจรโดยเมื่อกดสวิตช์สัญญาณจะถูกส่งเข้าไปที่
ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์
จะเปิดการทำงานของระบบการวัดค่าโดย
แหล่งกำเนิดคลื่น จะยังคลื่นผ่านเมล็ดองุ่นเข้าสู่เซ็นเซอร์
รับค่าที่อยู่ฝั่งตรงข้ามจากนั้นเซ็นเซอร์จะส่งค่า
สัญญาณให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและ
แสดงค่าความหวาน($^{\circ}$ Brix) ออกมาที่หน้าจอ
แสดงผล

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การทดลองเพื่อทราบความสัมพันธ์ของ ความยาวคลื่นต่อระยะห่างอุปกรณ์ตรวจจับต่อค่า ความหวาน

การทดลองนี้เพื่อทราบความสัมพันธ์ค่า
พลังงานของความยาวคลื่นต่อระยะห่างอุปกรณ์รับส่ง
สัญญาณแบบสะท้อนกลับ ที่ระยะห่างการติดตั้ง
เซ็นเซอร์รับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับ 0.1 -1 cm
แหล่งกำเนิดคลื่นอินฟราเรดความถี่ช่วงสั้นที่ความยาว
คลื่น 760, 810 และ 860 nm ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพลังงานการสะท้อนกลับอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 760, 810 และ 860 nm ที่ระยะห่างการติดตั้งอุปกรณ์ตั้งแต่ 0.1-1 cm

distance (cm)	NIRs reflection (mw/cm ²)		
	λ_{760}	λ_{810}	λ_{860}
0.1	13.91	3.63	7.20
0.2	81.97	16.31	13.60
0.3	259.31	53.29	29.19
0.4	320.41	71.42	34.79
0.5	281.17	59.09	28.79
0.6	236.46	48.22	24.39
0.7	207.65	41.69	21.19
0.8	170.89	34.08	17.60
0.9	137.58	27.55	14.40
1	121.38	23.93	12.40

จากตารางที่ 1 พบว่าในช่วงแรกทีระยะห่าง 0.1 cm มีพลังงานสะท้อนกลับน้อยที่สุดเนื่องจากระยะของอุปกรณ์ปล่อยสัญญาณใกล้วัตถุทดลองมากเกินไปทำให้แสงที่สะท้อนกลับส่วนใหญ่ไม่สามารถเข้าสู่อุปกรณ์รับสัญญาณได้ และค่าการสะท้อนกลับจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น โดยค่าการสะท้อนกลับที่มากที่สุดคือที่ระยะห่าง 0.4 cm เนื่องจากระยะดังกล่าวเป็นระยะที่อ่านค่าได้ดีที่สุดซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสั้นของโมเลกุลของน้ำและน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบหลักในเมล็ดอ่อน ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการดูดกลืนคลื่น [6] จากนั้นค่าการสะท้อนกลับจะเริ่มลดลง ตามระยะห่างที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในอากาศโดยทั่วไปจะมี แก๊สต่าง ๆ ความชื้น ฝุ่นละอองปะปนอยู่ ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้มีผลโดยตรงในการดูดซับและ การกระเจิงของคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ [11] โดยจากผลการทดลองมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกช่วงความยาวคลื่น

ผลจากการทดลองนี้จึงนำไปสู่การทดลองต่อไป โดยจะทำการหาความสัมพันธ์ของค่าพลังงานสะท้อนกลับ ที่ความยาวคลื่น 760, 810 และ 860 nm ต่อค่าความหวานโดยเปรียบเทียบกับอุปกรณ์รีแฟล็กโตมิเตอร์ ที่ระยะห่างอุปกรณ์ 0.1 cm และ 0.4 cm เนื่องจากระยะ 0.1 cm เป็นระยะที่อุปกรณ์ส่งสัญญาณใกล้กับวัตถุทดลองมากที่สุด และ ระยะ 0.4 cm เป็นระยะอุปกรณ์รับสัญญาณสะท้อนกลับได้ดีที่สุด เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดความหวานต่อไป

3.2 ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานสะท้อนกลับ ต่อความยาวคลื่น 760, 810 และ 860 nm ต่อค่าความหวาน

เป็นการทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าพลังงานสะท้อนกลับ ที่ความยาวคลื่น ต่อความแม่นยำในการวัดความหวานที่ระยะห่างอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ 1 ตัว 0.1 และ 0.4 cm แสดงดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานสะท้อนกลับและค่าความผิดพลาดของเซ็นเซอร์ที่ความยาวคลื่น 760, 810 และ 860 nm ต่อค่าความหวานที่ระยะห่างเซ็นเซอร์ 0.1 cm

NIRs reflection (mw/cm ²)			TSS (Brix)	% Error		
λ_{760}	λ_{810}	λ_{860}		λ_{760}	λ_{810}	λ_{860}
30.2 - 34.28	7.76 - 8.76	9.6 - 12	12	90	60	60
34.28 - 46.1	8.77 - 9.79	12.1 - 15.6	13	90	80	50
46.2 - 47.6	9.8 - 13.05	15.6 - 16.8	14	80	80	60
Over 47.7	Over 13.06	Over 16.8	15	90	70	60

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานสะท้อนกลับและค่าความผิดพลาดของเซ็นเซอร์ที่ความยาวคลื่น 760, 810 และ 860 nm ต่อค่าความหวานที่ระยะห่างเซ็นเซอร์ 0.4 cm

NIRs reflection (mw/cm ²)			TSS (Brix)	% Error		
λ_{760}	λ_{810}	λ_{860}		λ_{760}	λ_{810}	λ_{860}
200 - 225.4	32.4 - 41.1	24.3 - 27.84	12	70	60	60
225.4 - 279.42	41.1 - 52.1	27.84 - 30.58	13	80	70	70
279.43 - 333.07	52.2 - 67.95	30.59 - 34.1	14	80	70	70
Over 333.08	Over 67.96	Over 34.2	15	90	80	70

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 และ 3 พบว่าพลังงานที่สะท้อนกลับมีค่าแปรตามความหวานที่เพิ่มขึ้นกล่าวคือ เมื่อพลังงานสะท้อนกลับมีค่าเพิ่มขึ้นค่าความหวานที่อ่านได้จากรีเฟล็กโตมิเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากช่วงความยาวคลื่นที่เลือกใช้โดนสะท้อนกลับจากค่า TSS ที่เพิ่มขึ้นหรือก็คือช่วงดังกล่าวไม่ใช่ช่วงที่ถูกดูดซับ และในการนำช่วงการวัดที่เก็บผลจากค่าเฉลี่ยในการทดลองพบว่าที่ค่าความยาวคลื่น 760 nm มีร้อยละความผิดพลาดในการวัดมากที่สุด ส่วนช่วงการวัดความยาวคลื่นที่ 860 nm มีความผิดพลาดในการวัดน้อยที่สุด อีกทั้งผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าที่ระยะติดตั้ง 0.1 cm ให้ความแม่นยำในการวัดความหวานที่ดีกว่าระยะ 0.4 cm ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากพื้นผิวของเมล็ดที่

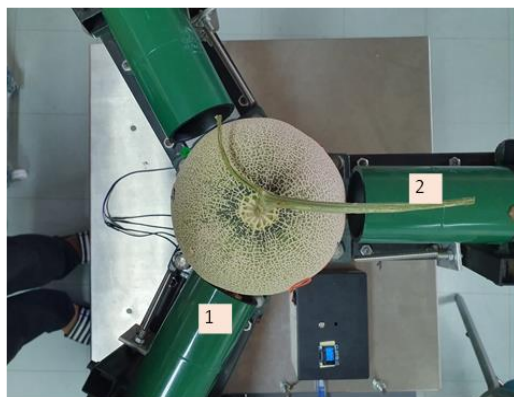
ไม่สม่ำเสมอส่งผลต่อการสะท้อนกลับของแสงและทิศทางทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดค่ามากกว่า โดยผลเมล็ดที่มีค่าความหวานน้อยส่วนใหญ่จะมีพื้นผิวแข็งและเรียบมีรอยเส้นโดยรอบน้อยทำให้เกิดการกระเจิงที่พื้นผิว (Surface scattering) [12] โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดคำนวณได้จากค่าที่วัดได้จากเครื่องมือรีเฟล็กโตมิเตอร์เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่ได้จากช่วงคลื่นในการทำนายจากเครื่องต้นแบบในการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ช่วงความยาวคลื่นที่ควรเลือกใช้ในการวัดค่าคือ 860 nm และระยะที่ควรติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณคือ 0.1 cm เพื่อนำมาวิเคราะห์ในการทดลองส่วนต่อไปคือในส่วนของการคำนวณอุปกรณ์รับส่ง

สัญญาณที่เพิ่มขึ้นต่อความแม่นยำในการวัดค่าความหวาน

3.3 ความสัมพันธ์ของความแม่นยำในการวัดความหวานต่อจำนวนอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณ

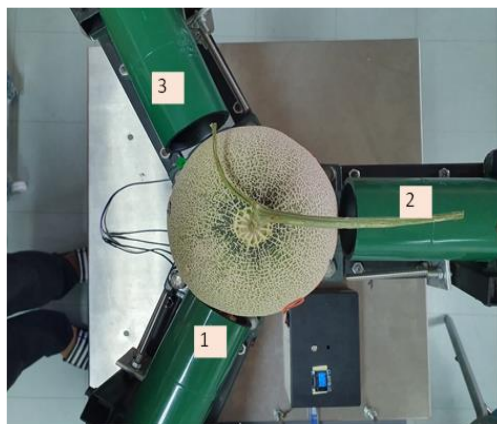
ในการทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดค่าต่อจำนวนอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณ 1 – 3 ตำแหน่ง ที่ระยะห่าง 0.1 cm ต่อค่าความหวานของผลเมล่อน โดยตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์จำนวน 2 ตำแหน่งและ จำนวน 3 ตำแหน่ง แสดงดังภาพที่ 7-8



ภาพที่ 7 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ 2 ตำแหน่ง

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานสะท้อนกลับที่ความยาวคลื่น 860 nm ต่อค่าความหวานที่ระยะห่างเซ็นเซอร์ 0.1 cm และติดตั้งเซ็นเซอร์จำนวน 2 ตำแหน่ง

Energy range at λ_{860}	TSS (°Brix)
9.5 - 11.4	12
11.5 - 13.8	13
13.8 - 15.6	14
Over 15.6	15



ภาพที่ 8 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ 3 ตำแหน่ง
จากภาพที่ 8 แสดงการติดตั้งเซ็นเซอร์ในชุดทดสอบทั้งหมด 3 ตำแหน่ง

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานสะท้อนกลับที่ความยาวคลื่น 860 nm ต่อค่าความหวานที่ระยะห่างเซ็นเซอร์ 0.1 cm และติดตั้งเซ็นเซอร์จำนวน 3 ตำแหน่ง

Energy range at λ_{860}	TSS (°Brix)
7.4 - 9.6	12
9.6 - 11.5	13
11.6 - 13.5	14
Over 13.5	15

ตารางที่ 6 ค่าความผิดพลาดของเซ็นเซอร์วัดค่าความหวานตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3

TSS (°Brix)	Number of sensor position (% Error)		
	1	2	3
12	60	60	30
13	50	50	40
14	60	50	40
15	60	50	40

จากตารางที่ 4-6 วิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดค่าต่อจำนวนอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณ 1 – 3 ตำแหน่ง ที่ระยะห่าง 0.1 cm ต่อค่าความหวานที่ได้ โดยผลที่ได้จากตำแหน่งการวัดแต่ละจุดทำการหาค่าเฉลี่ยจากทั้งสามความยาวคลื่นเพื่อทราบค่าความหวานจากนั้นในกรณีที่มีตำแหน่งการวัดเกินหนึ่งจุดให้นำค่าเฉลี่ยที่ได้แต่ละจุดมาหาค่าเฉลี่ยตามจำนวนตำแหน่งอีกครั้งเพื่อทราบค่าความหวานที่ได้จากการใช้งานเครื่อง ผลการทดลองพบว่าการติดตั้งอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณจำนวน 1 และ 2 ตำแหน่ง มีความผิดพลาดในการวัดใกล้เคียงกัน ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์จำนวน 3 ตำแหน่ง มีความผิดพลาดลดลง อีกทั้งจากผลการทดลองยังทำให้ทราบว่าความผิดพลาดที่ค่าความหวานเพิ่มขึ้นจะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการวัดมากขึ้นเนื่องจากลักษณะของความหนาเปลือกในแต่ละด้านของเมล่อนก่อนถึงเนื้อที่มีความหวานไม่สมมาตรซึ่งสอดคล้องกับการติดตั้งอุปกรณ์หนึ่งจุด และสองจุดที่มีความผิดพลาดสูงกว่าจากการที่วัดในตำแหน่งเปลือกหนา และการติดตั้งตำแหน่งการวัดสามจุดสามารถลดร้อยละความผิดพลาดในการวัดได้

จากผลการทดลองในส่วนการวัดความหวานในผลเมล่อนที่มีค่าความหวานน้อยจะมีความแม่นยำมากกว่าเนื่องจากตามลักษณะโครงสร้างของผลเมล่อนที่มีความหวานน้อยเปลือกและเนื้อค่อนข้างจะแข็งทำให้ค่าความยาวคลื่นสะท้อนกลับที่ได้มีความแม่นยำมากกว่าในผลเมล่อนที่มีค่าความหวานมาก และในการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดในตำแหน่งที่ไม่สมมาตรของเนื้อเมล่อนกับเปลือกดังที่กล่าวไปทำให้คลื่นที่สะท้อนออกมามีโอกาสอ่านค่าความหวานได้ลดลง เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าในการ

ใช้งานควรติดตั้งอุปกรณ์ที่ตำแหน่ง 0.1 cm พร้อมทั้งติดตั้งตำแหน่งตรวจวัด 3 จุด และทำการหาค่าเฉลี่ยจะสามารถให้ความแม่นยำในการวัดความหวานในห้องปฏิบัติการได้ประมาณ 60% โดยความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การทำนายค่าความหวานของเซ็นเซอร์ 3 ตำแหน่งเปรียบเทียบกับค่าความหวานของเครื่อง Refractometer

Numb er of trials	TSS (°Brix) Prototype machine	TSS (° Brix) Refractom eter	Differen ce of TSS (°Brix)
1	12	12	0
2	12	13	1
3	13	12	-1
4	13	13	0
5	13	13	0
6	14	14	0
7	14	13	-1
8	14	14	0
9	15	15	0
10	15	14	1

จากตารางที่ 7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพบว่ามีความแม่นยำในการวัดที่ 60 % และมีค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดความหวานที่ ± 1 °Brix ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการคัดเกรดผลเมล่อนของสหรัฐอเมริกา เมล่อนจะมีค่าน้ำตาลอยู่ระหว่าง 12-15 °Brix [5]

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาออกแบบและจัดสร้างเครื่องตรวจวัดความหวานเมล่อนด้วยเทคนิค

อินฟราเรดย่านใกล้ด้วยการรับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นต่อระยะห่างอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับ ที่ระยะห่างอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบสะท้อนกลับตั้งแต่ 0.1 – 1 cm สามารถสรุปได้ว่าระยะห่าง 0.4 cm เป็นระยะห่างที่อุปกรณ์รับส่งสัญญาณสะท้อนกลับได้ดีที่สุด เนื่องจากระยะห่างที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดช่องอากาศระหว่างอุปกรณ์กับผลเมล่อน ซึ่งภายในช่องอากาศจะประกอบด้วย โมเลกุลต่าง ๆ ความชื้น ฝุ่นละอองปะปนอยู่ ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีผลโดยตรงในการดูดซับและ การกระเจิงของคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ [11]

ผลของความสัมพันธ์ของค่าพลังงานสะท้อนกลับ ต่อความยาวคลื่น 760, 810 และ 860 nm และต่อความหวาน พบว่าที่ค่าความยาวคลื่น 810 nm ระยะห่างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ 0.1 cm มีความผิดพลาดในการวัดความหวานน้อยที่สุด

ความสัมพันธ์ของความแม่นยำในการวัดความหวานต่อจำนวนอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณ ในการใช้งานควรติดตั้งอุปกรณ์ที่ระยะ 0.1 cm พร้อมทั้งติดตั้งตำแหน่งตรวจวัด 3 จุด หาค่าเฉลี่ย สามารถให้ความแม่นยำในการวัดความหวานในห้องปฏิบัติการประมาณ 60% ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{Brix}$

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม ศูนย์พัฒนาวิชาชีพ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรีที่อำนวยความสะดวก

ในการใช้อุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ในการให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

6. อ้างอิง

- [1] สำนักกำหนดมาตรฐาน และ สำนักงานมาตรฐานเกษตรและอาหารแห่งชาติ. โครงการสัมมนาเชิงปฏิบัติการวางมาตรฐานสินค้าเกษตรเรื่อง ถั่วฝักยาว แตงเทศ และ แก้วมังกร [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 20 มิถุนายน 2561]. จาก: www.acfs.go.th/news/docs/acfs_09-07-57-03..html
- [2] พงทิพย์ บุญช่วย. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร. เมล่อนญี่ปุ่น [อินเทอร์เน็ต]. 2559 [เข้าถึงเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2562]. จาก: <http://production.doae.go.th>
- [3] พงทิพย์ บุญช่วย. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร. เมล่อนญี่ปุ่น [อินเทอร์เน็ต]. 2560. [เข้าถึงเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2562]. จาก:<http://production.doae.go.th>
- [4] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. มาตรฐานสินค้าเกษตรเรื่องแตงเทศ (Melon). มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 2559;26:1-13.
- [5] Paulo SL, Antonio R, Dantas D, et al; Juice Extraction for Total Soluble Solids Content Determination in Melon. Journal of Revista Caatinga. 2006;19(3):268-71.

- [6] Barcelon E, Tojo S, Watanabe K. Relating X-ray Absorption and Some Quality Characteristics of Mango Fruit (*Mangifera indica* L.). *J Agr Food Chem.* 1999;47(9):3822-3825.
- [7] อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, วารุณี ณะแพสย์, ศุมาพร เกษมสำราญ และคณะ. การตรวจสอบค่าความหวานผลลองกองด้วยเครื่องวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านใกล้อินฟราเรด. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 2553;41(3/1):29-32.
- [8] Rawankar A, Nanda M, Jadhav H, et al; Detection of N, P, K Fertilizers in Agricultural Soil with NIR Laser Absorption Technique. [Internet]. *IEEE India;* 2018 [cited 2019 Feb 12]. DOI: 10.1109/ICMAP.2018.8354625
- [9] กนกพร ชัยวุฒิกุล. NIR Spectrometer เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สารอินทรีย์. [อินเทอร์เน็ต]. 2551 [เข้าถึงเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2562]. จาก :<http://nirapplication.blogspot.com/2008/03/nirspectrometer.html>
- [10] นิธิยา รัตนานนท์. Refractometer. [อินเทอร์เน็ต]. 2558 [เข้าถึงเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2562]. จาก :<http://www.foodnetworksolution.com>
- [11] Ijaz M, Ghassemlooy Z, Pesek J, et al; Modeling of Fog and Smoke Attenuation in Free Space Optical Communications Link under Controlled Laboratory Conditions. *J Lightwave Tech.* 2013;31(11):1720-1726.
- [12] Kittler J, Windridge D, Goswami D, Subsurface scattering deconvolution for improved NIR-visible facial image correlation. [Internet]. *IEEE United Kingdom;* 2009 [cited 2019 Feb 13]. DOI: 10.1109/AFGR.2008.4813473