

## การวัดคุณภาพของมะยงชิดแบบไม่ทำลายด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดแบบพกพา

### Non-destructive Measurement of Marina Plum Quality Using a Portable Near Infrared Instrument

ธีรวัด เหล่าลาภา<sup>1</sup>, ธานินทร์ บุญบำรุง<sup>1</sup>, สุจินต์ อภัยโส<sup>1</sup>, ขวัญตรี แสงประชานารักษ์<sup>1,2\*</sup>, เจษฎา โพธิ์สม<sup>1,2</sup>

Thirawat Laolapha<sup>1</sup>, Tanin Boonbamrung<sup>1</sup>, Sujin apaiso<sup>1</sup>, Khwantri Saengprachatanarug<sup>1,2\*</sup>, Jetsada Posom<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 40002

<sup>1</sup>Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand.

<sup>2</sup>กลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 40002

<sup>2</sup>Applied Engineering for Important Crops of North East Research Group, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

\*Corresponding author: Tel: +66-43-362145-6, E-mail: [khwantri@gmail.com](mailto:khwantri@gmail.com)

#### บทคัดย่อ

ความหวานของมะยงชิดเป็นค่าบ่งบอกคุณภาพ ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการวัดความหวานของมะยงชิดสายพันธุ์ทูลเกล้า โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ในช่วงความยาวคลื่น 700 – 1000 nm สแกนมะยงชิด 60 ผล โดยใช้เครื่อง Mobile-NIR ในโหมดสะท้อนกลับ โดยใช้ระยะเวลารับส่งคลื่น (Integration time) ที่ 20, 30 และ 40 ms และทำการสแกนที่ตำแหน่งบน กึ่งกลาง และด้านล่างของผล จากนั้นวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์) โดยใช้ Refractometer โดยมีค่าเทียบกับค่าการทดสอบรสชาติ ได้แก่ ค่าความหวาน ค่าความแข็ง ค่าความเปรี้ยว รสชาติที่หลงเหลือ และค่าความอ้อยโดยรวม ที่ได้จากการทดสอบรสชาติจากผู้ทดสอบชิม 9 คน พบว่าค่าสหสัมพันธ์ (R) ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดกับการทดสอบรสชาติมีค่า 0.77 0.12 0.48 0.77 และ 0.76 ตามลำดับ สำหรับผลการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดโดยวิธีถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression, MLR) โดยใช้สเปกตรัมที่ปรับให้เรียบด้วยวิธี smoothing + second derivative ผลการทดลองพบว่าที่ตำแหน่งกึ่งกลางของผล ที่เวลารับส่งคลื่น 30 ms โดยใช้การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 865, 964, 877, 793, 910 และ 760 nm ได้แบบจำลองที่ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา ( $R^2$ ), standard error of calibration (SEC), และค่า standard error of prediction (SEP) เท่ากับ 0.947, 0.427 °Brix และ 0.473 °Brix ตามลำดับ

จากผลการทดลอง จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์ภายในที่ตีระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดโดยใช้ Refractometer กับรสชาติที่ได้จากการชิม และดังนั้นเมื่อเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสามารถทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เป็นอย่างดีแล้ว จึงมีความสามารถที่จะวัดรสชาติความหวาน รสชาติที่หลงเหลือ และค่าความอ้อยโดยรวมแทนการชิมรสได้ ซึ่งโมเดลสามารถใช้ในการคัดแยกคุณภาพของมะยงชิดได้

#### Abstract

The sweetness of marina plum indicates quality of marina plum which directly impacts on commercial value. The quality of product affects the decision of consumer to buy the product. The objective of this study was to use the near infrared (NIR) spectroscopy for measuring the sweetness of marina plums (*Boucaurmanica Griff.*). The total of sixty samples of marina plum were scanned using the mobile-NIR across the wavelength range of 700 – 1000 nm in reflectance mode. To find the precise spectra, the integration time of 20, 30, and 40 ms and scanned position at upper, middle, and lower of marina plum were investigated. Soluble solids content (SSC, °Brix) of marina plum was determined using refractometer, and then the inner relationship between SSC and its sweetness, hardness, sourness, remainder, and overall determined by sensory test were determined. For the modelling, the NIR spectra were pretreated by moving average smoothing (MAS) + 2<sup>nd</sup> derivative and the soluble solids content model was generated using multiple linear regression (MLR). The outcome gave that inner relationship between

SSC and sensory test (including sweetness, hardness, sourness, remainder, overall) provide the correlation (R) of 0.77, 0.12, 0.48, 0.77, and 0.76, respectively. The effective SSC model was performed when scanned position was at middle of marina plum, integration time of 30 ms and the wavelength of 865, 964, 877, 793 910, and 760 nm. The coefficient of determination ( $R^2$ ), standard error of calibration (SEC), and standard error of prediction (SEP) were 0.947, 0.4276 and 0.4732 °Brix, respectively.

This report shows that there were high relationships between SSC and sensory test result. In addition, NIR spectroscopy can predict the SSC effectively, then it can also predict the sweetness, remainder, and overall as an alternative method of sensory test. The model could be used as classifying the quality of Marina plum.

## 1 บทนำ

ในปัจจุบันมะยงชิดเป็นพืชเศรษฐกิจของเกษตรกรในเขตภาคกลางและภาคตะวันออกของไทย ซึ่งสามารถขายผลผลิตได้ กิโลกรัมละประมาณ 100 - 250 บาท ปัญหาที่สำคัญในการผลิตไม้ผลชนิดนี้ก็คือ มีผลผลิตปริมาณน้อย และอายุการเก็บรักษาสั้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550)

ปัจจุบันผลผลิตของมะยงชิดมีอยู่ในปริมาณน้อยซึ่งมีสาเหตุมาจากสภาพอากาศที่ไม่แน่นอนในแต่ละปี ทำให้มะยงชิดไม่ติดดอก ซึ่งทำให้เกษตรกรส่วนหนึ่งเลิกปลูก เนื่องจากการขาดทุนซึ่งปัญหานี้จะทำให้ในอนาคตอาจจะมีแค่เกษตรกรน้อยรายปลูกมะยงชิด ดังนั้นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือ การยกระดับคุณภาพสินค้า ผลที่ตามมาคือสามารถขายในราคาสูงขึ้นได้ ซึ่งช่วยให้เกษตรกรสามารถมีรายได้เพิ่มขึ้นแข่งขัน และเริ่มมาให้ความสนใจด้านคุณภาพมากขึ้น

การคัดแยกคุณภาพของมะยงชิดของเกษตรกรในปัจจุบันเป็นเพียงการคัดแยกจากสายตาเท่านั้น ทำให้อาจได้มะยงชิดที่คุณภาพไม่เป็นที่พอใจกับผู้บริโภค เช่น อายุอ่อนเกินไป รสชาติเปรี้ยว หรือสุกเกินไป เป็นต้น ดังนั้นจึงไม่สามารถการันตีคุณภาพของมะยงชิดได้ ค่าความหวานของมะยงชิดเป็นค่าที่นำมาใช้แบ่งคุณภาพได้ แต่การตรวจวัดค่าความหวานของมะยงชิดต้องใช้วิธีการสุ่มวัด ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้ทุกผล และยังเป็นวิธีการทำลายตัวอย่างผลมะยงชิด ดังนั้นวิธีการที่สามารถวัดค่าความหวานโดยไม่ทำลายตัวอย่างจะเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy, NIRs) เป็นการตรวจสอบที่ไม่เป็นการทำลายโดยมีการศึกษาเกี่ยวกับตัวอย่างผลไม้ อาทิเช่น มะม่วง (องค์อร และคณะ, 2556), ส้มโอ (อาทิตย์, 2556) มังคุด (อาทิตย์ และคณะ, 2552) เป็นต้น

สดุดี (2558) วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ รวมไปถึงค่าความแน่นเนื้อของมะยงชิดใช้ผลมะยงชิดพันธุ์ทูลเกล้าโดยใช้วิธีการตรวจสอบ โดยเทคนิค NIRs วัดในโหมด transmittance ใช้ความยาวคลื่น 655 - 955 nm จำนวน 147 ผล ผลการวิเคราะห์ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ( $R = 0.95$ , RMSEP = 0.45 °Brix) พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้วิธีการตรวจสอบวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ด้วยเทคนิค NIRs ในการ

ตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมะยงชิดได้ จากการศึกษาพบปัญหาว่า ข้อจำกัดของเครื่อง NIR คือมีขนาดใหญ่และยังคงมีการศึกษาในห้องปฏิบัติการเท่านั้นซึ่งยังคงไม่สามารถนำออกไปใช้งานจริงในหน่วยงาน ณ จุดตัดแยก ซึ่งอาจจะเป็นส่วนสวนมะยงชิด หรือ ในโรงงานคัดแยกได้ ดังนั้น เพื่อการตรวจสอบและแบ่งเกรดคุณภาพของผลมะยงชิดที่มีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการตรวจสอบโดยใช้เทคนิค NIRs ที่เครื่องที่ใช้ในการตรวจสอบสามารถพกพาได้สะดวกและนำไปใช้งานได้จริง

ดังนั้นวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาวิธีการวัดคุณภาพของมะยงชิดโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีซึ่งจะใช้ทดแทนการชิมรสชาติโดยคน ได้แก่ ค่าความหวาน ค่าความแข็ง ค่าความเปรี้ยว รสชาติที่หลงเหลือ และค่าความอร่อยโดยรวม แต่เนื่องจากค่าเหล่านี้เป็นค่าที่ได้จากการชิม ซึ่งไม่สามารถวัดได้โดยตรงจากเครื่องมือวัด จึงใช้พารามิเตอร์ของค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ซึ่งเป็นค่าที่สามารถวัดได้โดยตรงโดยใช้คลื่นแสง และหากพบว่าค่าการชิมรสชาติโดยคน มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดแล้วก็จะสามารถทำนายค่าเหล่านี้ได้

โดยมีเงื่อนไขในการวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะยงชิดด้วยเครื่อง Mobile-NIR คือ ตำแหน่งจำนวน และเวลาที่ใช้ในการวัดต่อหนึ่งจุด (Integration time) และสร้างสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยมี ปัจจัยที่ควบคุม ปัจจัยที่ศึกษา ค่าชี้ผลของการศึกษา ดังนี้ ก) ปัจจัยที่ควบคุมคือ อุณหภูมิผิวของมะยงชิด ช่วงความยาวคลื่น และโหมดการวัด ข) ปัจจัยที่ศึกษาคือ จำนวนจุดในการวัด ตำแหน่งการวัด และ Integration time (ms) ค) ค่าชี้ผลของการศึกษาคือ SEC และ SEP

## 2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 ตัวอย่างมะยงชิด

มะยงชิดสายพันธุ์ทูลเกล้าจากสวนในจังหวัด นครนายก จำนวน 60 ผล นำมายังห้องปฏิบัติการตรวจสอบแบบไม่ทำลายภาควิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น มาพักไว้ในห้องปฏิบัติการประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อควบคุมให้ผลมะยงชิดมีอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  °C โดยใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำ

ผลมะยงชิดมาถ่ายภาพตัวอย่าง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว ชั่งน้ำหนัก วัดอุณหภูมิผิว และวัดความแน่นเนื้อ ตามลำดับ

## 2.2 การวัดค่าสเปกตรัมของมะยงชิดด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIRs)

นำผลมะยงชิด 60 ผล ควบคุมอุณหภูมิที่  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  นำไปวัดค่าสเปกตรัมด้วยเครื่อง Mobile-NIR (รุ่น HKV Engineering, Hokkaido, Japan) ที่ความยาวคลื่น 571 – 1031 nm โหมดสะท้อนกลับหมด โดยก่อนการสแกนทำการวัดวัสดุอ้างอิงคือ white reference (ทำมาจากเทฟลอน) และ dark reference โดยทำการวัดทั้งหมด 3 ตำแหน่งคือ ที่ตำแหน่งบน กลาง และล่าง ของผลโดยแต่ละตำแหน่งทำการสแกนทั้ง 4 มุม แสดงดัง Figure 1 ดังนั้นแต่ละผลจะได้ข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมด 12 ข้อมูล และในระหว่างการวัดใช้แผ่นฟองน้ำสีดำ ขนาด กว้างยาวหนาเท่ากับ 100x150x10 mm คลุมระหว่างช่องว่างของหัววัดกับผลมะยงชิดเพื่อป้องกันผลกระทบจากแสงภายนอก แสดงดัง Figure 2



Figure 1 Measurement positions of marina plum



Figure 2 Sample covered by black sheet during scanning

## 2.3 การหาค่าคุณสมบัติด้วยวิธีมาตรฐาน

หลังจากสแกนตัวอย่างมะยงชิดแล้ว ทำการหาค่าคุณสมบัติทางเคมี โดยนำผลมะยงชิดที่สแกนแล้วแบ่ง 2 ส่วน ส่วนหนึ่งนำไปคั้นน้ำเพื่อวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง refractometer

ส่วนที่สองเพื่อใช้ในการทดสอบรสชาติ โดยแบ่งเป็น 9 ส่วน ให้ผู้ทดสอบจำนวน 9 คน ชิมมะยงชิด โดยก่อนการชิมมีการเทรนวิธีการให้คะแนน และอธิบายรายละเอียดแต่ละรสชาติ และทำการกรอกแบบสอบถามทดสอบรสชาติของมะยงชิด ได้แก่ ค่า

ความหวาน ความแข็ง ความเปรี้ยว รสชาติหลงเหลือหลังกลืน และความอร่อยโดยรวม

## 2.4 การสร้างสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะยงชิด

นำข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากการสแกนมะยงชิด มาปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing + second derivative จากนั้นนำค่าสเปกตรัมที่ได้มาแบ่งเป็นชุดสร้างสมการ (calibration set) และชุดทดสอบสมการ (validation set) และสร้างสมการเปรียบเทียบกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดโดยวิธีถดถอยเชิงเส้นพหุ (multiple linear regression, MLR) ดังสมการ (Siesler et al., 2002):

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

โดย B คือ ค่า regression coefficient, X คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นของชุดสร้างสมการ, Y คือค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่วัดจากเครื่อง Refractometer

จากนั้นทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดโดยใช้สเปกตรัมจากชุดทดสอบสมการ โดยค่าการทำนายเท่ากับ

$$y_{pre} = xB$$

โดย  $y_{pre}$  คือ ค่าการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของชุดทดสอบสมการ

สมการที่เหมาะสมพิจารณาจากค่า coefficient of determination ( $R^2$ ), standard error of calibration (SEC), และค่า standard error of prediction (SEP) ดังสมการ

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y - Y_{pre})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2}$$

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y_{pre})^2}{N - 1}}$$

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum(y - y_{pre})^2}{n - 1}}$$

เมื่อ ค่า Y คือค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่วัดจริงของชุดสร้างสมการ  $Y_{pre}$  คือค่าทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของชุดสร้างสมการ y คือค่าวัดจริงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของชุดทดสอบสมการ  $y_{pre}$  คือค่าทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของชุดทดสอบสมการ N คือจำนวนตัวอย่างของชุดสร้างสมการและ n คือ จำนวนตัวอย่างของชุดทดสอบสมการ.

## 3 ผลการทดลอง

### 3.1 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้วยวิธีมาตรฐาน

ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของมะยงชิด ได้แก่ ขนาด (ความกว้าง และความยาว) อุณหภูมิผิว น้ำหนัก และความแน่นเนื้อ แสดงใน Table 1



Table 1 Physical properties of marina plum

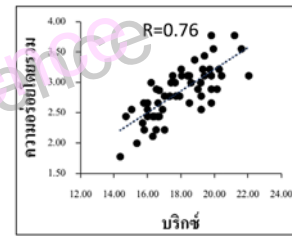
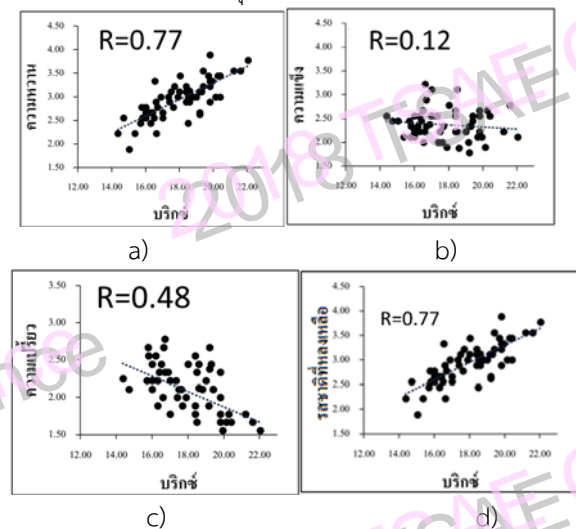
Items	Width(mm)	Length (mm)	Weight(g)	Temperature (°C)	Firmness (N)
Min	40.99	57.73	58.53	24.70	700.00
Max	50.41	76.92	97.52	29.70	1650.00
Mean	43.78	67.84	71.58	26.93	1016.50
SD	1.82	3.60	7.50	0.94	160.85

3.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและค่าการทดสอบรสชาติจากผู้ชิม  
ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าการทดสอบรสชาติแสดงใน Table 2

Table 2 Statistical properties of marina plum tested by sensory test

Items	°Brix	Sweetness	Hardness	Sourness	Remainder	Overall
Min	14.37	3.89	3.22	3.22	3.56	3.78
Max	22.03	1.89	1.38	1.44	2.56	1.75
Mean	17.97	2.94	2.32	2.11	3.02	2.83
SD	1.77	0.40	0.37	0.41	0.23	0.44

Figure 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และผลการประเมินรสชาติ ได้แก่ ค่าความหวาน ความแข็ง ความเปรี้ยว รสชาติที่หลงเหลือ และความอู้อ้อยโดยรวม ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพด้านรสชาติของมะยงชิด ซึ่งค่าความหวาน รสชาติหลงเหลือ และค่าความอู้อ้อยโดยรวม แปรผันตรงกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.77 0.77 และ 0.76 ตามลำดับ ส่วนค่าความแข็งและความเปรี้ยวมีความสัมพันธ์แปรผกผันกับค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยมีค่า R ที่ต่ำเท่ากับ 0.12 และ 0.48 ตามลำดับ ดังนั้นการคัดแยกคุณภาพของมะยงชิดควรที่จะใช้รสชาติความหวานและความอู้อ้อยโดยรวม เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบคุณภาพ



e)

Figure 3 The relationship between °Brix and a) sweetness, b) hardness, c) sourness, d) remainder and e) overall

3.3 ผลการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของมะยงชิด

ค่าการดูดกลืนแสงของมะยงชิดที่ปรับปรุงโดยเทคนิค moving average smoothing (21 point)+second derivative (ขนาดของ segment และ gab เท่ากับ 21 และ 2 ตามลำดับ) แสดงใน Figure 4a และ Figure 4b แสดงค่าการดูดกลืนแสงของมะยงชิดที่ปรับปรุงแล้วและผ่านการตรวจสอบสเปกตรัมที่ออกนอกกลุ่มซึ่งคาดว่าจะเป็นตัวอย่งที่ผิดปกติด้วยวิธี principal component analysis (PCA)

Figure 5a แสดงตัวอย่างมะยงชิดที่ให้สเปกตรัมที่ผิดปกติ (ออกนอกกลุ่มจากการตรวจสอบโดยวิธี PCA) และ Figure 5b แสดงตัวอย่างมะยงชิดที่ให้สเปกตรัมที่ปกติหลังจากตรวจสอบด้วยวิธี PCA โดยเมื่อทำการตรวจสอบค่าการดูดกลืนคลื่นที่ผิดปกติด้วยวิธี PCA เทียบกับลักษณะทางกายภาพของมะยงชิด จึงทำการตัดตัวอย่างผลมะยงชิดผลที่ให้สเปกตรัมที่แยกกลุ่มและมีตำหนิออกจากกลุ่ม

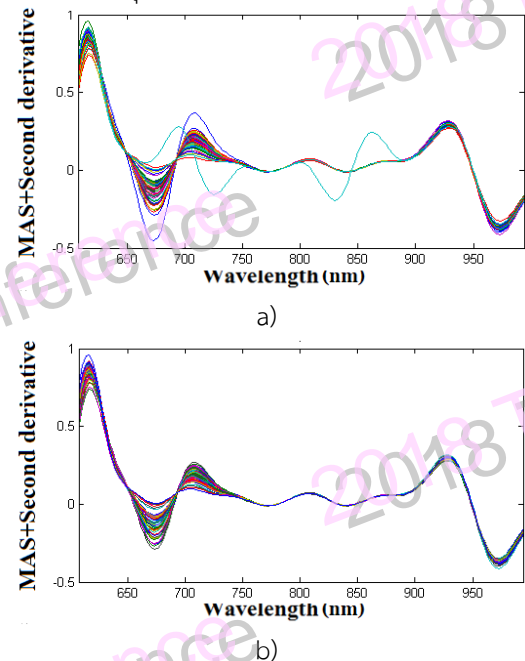


Figure 4 a) Pretreated spectra of all marina plum sample and b) pretreated spectra after cutting abnormal examples done by PCA technique



Figure 5 a) Abnormal marina plum and b) normal marina plum

หลังจากคัดแยกตัวอย่างที่ได้ออกจากตัวอย่างที่ผิดปกติด้วยกระบวนการ PCA แล้ว มะยงชิดที่เหลือทั้งหมดคือ 44 ตัวอย่าง จึงนำมาสร้างสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยแบ่งกลุ่มมะยงชิดออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดสำหรับสร้างสมการ (calibration set) และชุดสำหรับทดสอบสมการ (validation set) ซึ่งค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่ใช้สำหรับสร้างโมเดลแสดงใน Table 3

Table 3 Statistical data of soluble solids content for calibration set and validation set

Sample set	Number of sample	Max (°Brix)	Min (°Brix)	Mean (°Brix)	SD (°Brix)
Calibration set	33	21.60	14.30	17.92	1.88
Validation set	11	20.40	14.70	17.77	1.85

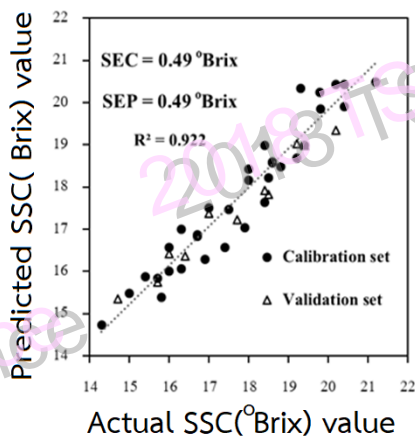


Figure 6 Predicted soluble solids content by NIR spectroscopy and measured value by reference method standard

เมื่อทำการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดโดยใช้เทคนิค MLR พบว่าตำแหน่งกลาง โดยวัดจำนวน 4 จุด รอบผลมะยงชิด โดยใช้ integration time ที่ 30 ms และใช้ค่าการดูดกลืนคลื่น ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์ R กับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมากที่สุด จำนวน 6 ค่า ความยาวคลื่น คือ 868, 961, 877, 901, 751 และ 895 พบว่า ได้ผลการทำนายที่แม่นยำที่สุด โดยมีค่า R<sup>2</sup>

เท่ากับ 0.92 และ SEC เท่ากับ 0.49 °Brix และเมื่อนำมาทดสอบสมการ ได้ค่า SEP เท่ากับ 0.49 °Brix

Figure 6 แสดงกราฟที่พล็อตระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่วัดจริงกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่วัดได้จากสมการ MLR

โดยมีสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่เขียนได้ดังนี้

$$y_{pre} = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + c$$

เมื่อ  $x_1$  ถึง  $x_6$  คือค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 6 ตำแหน่ง โดย  $b_1$  ถึง  $b_6$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ความยาวคลื่น 6 ตำแหน่ง และ  $c$  คือค่าจุดตัดแกน

เมื่อแทนค่า สัมประสิทธิ์การถดถอย ลงในสมการถดถอยของวิธี MLR จะได้สมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดดังนี้

$$y_{pre} = (-122.81)(x_1) + (1.77)(x_2) + (410.55)(x_3) + (-1384.62)(x_4) + (-198.53)(x_5) + (1750.07)(x_6) + 18.73$$

#### 4 สรุปผล

การคัดแยกเพื่อแบ่งคุณภาพของมะยงชิดสามารถแบ่งตามรสชาติความหวาน และความอร่อย ซึ่งค่าเหล่านี้ผันตรงกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

การทำนายค่ารสชาติความหวาน และความอร่อย สามารถทำนายได้จากความสัมพันธ์ภาพในกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ซึ่งค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเองก็สามารถทำนายได้เป็นอย่างดีโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสามารถใช้ในการคัดแยกคุณภาพของคุณภาพของมะยงชิดได้ ซึ่งสามารถใช้ทดแทนคนในการชิมรสชาติและไม่ทำลายตัวอย่าง และในการตรวจสอบคุณภาพ และตัวอย่างผลมะยงชิดผลที่มีตำหนิ จึงไม่ควรนำมาทดสอบ

#### 5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผลมะยงชิดจากกลุ่มเกษตรกรจังหวัดนครนายก ที่อนุเคราะห์ให้ผลมะยงชิดมาใช้ทำงานวิจัย

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ขอขอบคุณกองทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนงบประมาณมาใช้ทำงานวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์สถานที่ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

## 6 เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2560. มะยงชิด. แหล่งข้อมูล:

<http://www.agriinfo.doae.go.th/year60/plant/rotoor/fruit2/mayongchid.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 24 มีนาคม 2560.

สดุดี ผลมะขาม. 2558. การตรวจสอบคุณภาพของมะยงชิดพันธุ์เกล้าด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปี. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

องค์อร กล้าเจริญ, ชงชัย สุวรรณสิขณณ์, สุนทร สุวรรณสิขณณ์, ปิติพร ฤทธิเรืองเดช, ศุมาพร เกษมสำราญ. 2556. การทำนายค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานโดยรวม, รสเปรี้ยวโดยรวมและค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. การประชุมวิชาการครั้งที่ 51, เล่มที่ 3, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและ

อุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 5-7 กุมภาพันธ์ 2556, กรุงเทพมหานคร.

อาทิตย์ พวงสมบัติ. 2556. การศึกษาการตรวจสอบคุณภาพในผลส้มโอด้วยเทคนิคแบบไม่ทำลาย. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อาทิตย์ พวงสมบัติ, วารุณี ณะแพสย์, ศุมาพร เกษมสำราญ, สนธิสุข ธีระชัยชยติ. 2556. การใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นสำหรับการหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุด. เรื่องเต็มงานประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47.

Siesler, H.W., Ozaki, Y. and Kawata, S. 2002. Near-Infrared Spectroscopy. WILEY-VCH Verlag GmbH, Federal Republic, Germany. 348 pp.