

การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของเนื้อสับประรดด้วยเทคนิคเชิงแสง

รวิภัทร ลาภเจริญสุข^{1*}, นิชา จิรกาลนุกุล¹, ธนพร เพียรวิรัตน์ชัย¹, พรrawnภา รุ่งวิฑู¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 10520

ผู้เขียนติดต่อ: รวิภัทร ลาภเจริญสุข E-mail: ravipat.la@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดเป็นสมบัติทางเคมีสำหรับควบคุมคุณภาพของเนื้อสับประรดในอุตสาหกรรมแปรรูปสับประรด ปัจจุบันวิธีตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดยุ่งยาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของเนื้อสับประรดด้วยเทคนิคเชิงแสง โฟโตไดโอดเซ็นเซอร์ตรวจวัดแสงที่สะท้อนจากเนื้อสับประรดและสัญญาณที่ได้รับถูกแปลงเป็นค่าสีในรูปแบบ แดง เขียว น้ำเงิน (ระบบ RGB) ค่าสีที่ได้ถูกนำมาแทนในสมการที่สร้างจากความสัมพันธ์ของค่าสีเนื้อและสมบัติทางเคมี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดแสดงค่าออกหน้าจอ LCD โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัด สมการสร้างโดยใช้ตัวอย่างเนื้อสับประรดทั้งสิ้น 240 ตัวอย่าง เนื้อสับประรดถูกวัดสี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดซีตริก สมการสร้างด้วยวิธี multiple linear regression (MLR) ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่า R^2 เท่ากับ 0.72, ค่า SEC เท่ากับ 0.50°Brix และ Bias เท่ากับ $-8.46 \times 10^{-7}^\circ\text{Brix}$ สำหรับการตรวจวัดปริมาณกรดมีค่า R^2 เท่ากับ 0.84, ค่า SEC เท่ากับ $0.05\% \text{Citric}$ และ Bias เท่ากับ $-1.25 \times 10^{-7}\% \text{Citric}$ ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือวัดในการตรวจสอบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดแสดงค่า RMSE เท่ากับ 2.6°Brix และ $0.09\% \text{Citric}$ ตามลำดับ เครื่องมือนี้สามารถช่วยลดความต้นทุน สารเคมี เวลา และแรงงานคนในการควบคุมคุณภาพของสับประรดในอุตสาหกรรมแปรรูปสับประรดได้

คำสำคัญ: สับประรด, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้, ปริมาณกรด, เทคนิคเชิงแสง

Development of a Meter for Evaluation of Total Soluble Solid Content and Acidity in Pineapple Pulp using Optical Technique

Ravipat Lapcharoensuk^{1*}, Nicha Jirakannukul¹, Thanaporn Pheinvirattanachai¹, Prawnapha Rungvithu¹

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520.

Corresponding author: Ravipat Lapcharoensuk. E-mail: ravipat.la@kmitl.ac.th

Abstract

Total soluble solid and titratable acidity are chemical properties for quality control of pineapple pulp in pineapple industries. Nowadays total soluble solid and citric acidity content evaluation methods are difficultly. This research aimed to develop a meter for evaluation total soluble solid content and acidity in pineapple pulp using optical technique. Photodiode sensor detected refraction light from pineapple pulp and signal were transformed to color values on red, green and blue (RGB system). Color values were substituted in models which created from correlation of pulp color values and chemical properties. Total soluble solid and titratable acidity content showed on LCD display. Microcontroller was used to control process of meter. Models were established with 240 samples of pineapple. Pulp of pineapple were measured color, total soluble solid and titratable acidity. Models were developed by multiple linear regression (MLR). The result of total soluble solid evaluation showed R^2 was 0.72, SEC was 0.50°Brix and Bias was $-8.46 \times 10^{-7}^\circ\text{Brix}$. For acidity content presented R^2 was 0.71, SEC was $0.05\% \text{Citric}$ and Bias was $-1.25 \times 10^{-7}\% \text{Citric}$. Results of a meter performance test showed RMSE of total soluble solid and titratable acidity were 2.6°Brix and $0.09\% \text{Citric}$ respectively. This meter could reduce cost, chemical, time and labor in quality control in pineapple processing.

Keywords: Pineapple, Total soluble solid, Titratable acidity, Optical technique.

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศผู้นำในการผลิตสับปะรด (AnanasComosus L.) 5 อันดับแรก คือ ไทย คอสตาริกา บราซิล ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย โดยมีผลผลิตรวมกันประมาณครึ่งหนึ่งของผลผลิตโลก ในบรรดาประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ดังกล่าวมีเพียงประเทศไทย ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย เท่านั้นที่เน้นการปลูกสับปะรดเพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น สับปะรดกระป๋อง น้ำสับปะรด สับปะรดอบแห้ง และสับปะรดแช่แข็ง เป็นต้น (ศูนย์วิจัยระยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2560) โดยประเทศไทยมียอดการส่งออกสับปะรดตามข้อมูลเดือนมิถุนายน 2559 ในรูปแบบของน้ำสับปะรดมียอดการส่งออกอยู่ที่ 8,960,238 กิโลกรัม สับปะรดแห้งมียอดการส่งออกอยู่ที่ 57,115 กิโลกรัม สับปะรดบรรจุภาชนะที่อากาศผ่านเข้าออกไม่ได้มียอดการส่งออกอยู่ที่ 46,724,873 กิโลกรัม และสับปะรดสดแช่เย็นจนแข็งมียอดการส่งออกอยู่ที่ 177,135 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ในอุตสาหกรรมสับปะรดเพื่อการแปรรูปนิยมใช้พันธุ์ศรีราชาหรือพันธุ์ปัตตาเวีย (Smooth Cayenne) ซึ่งปลูกได้ทั่วไปในประเทศไทยโดยจังหวัดชลบุรี ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรีและลำปาง การตรวจสอบคุณภาพของสับปะรดเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตสับปะรดระดับอุตสาหกรรม สมบัติทางเคมีที่สำคัญที่ใช้ในการตรวจสอบสับปะรด เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด วิธีการตรวจสอบมีความยุ่งยาก ใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบนาน อีกทั้งการตรวจสอบเป็นรูปแบบการสุ่มและทำลายตัวอย่างในการตรวจสอบ ในขั้นตอนการตรวจสอบต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการตรวจสอบ ส่งผลทำให้มีต้นทุนการผลิตที่สูง หากมีเครื่องมือวัดที่สามารถตรวจสอบสมบัติเหล่านี้ได้อย่างรวดเร็ว ง่าย และราคาถูกลงจะเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการแก้ปัญหาเหล่านี้ ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่รายงานการใช้เทคนิคใหม่ในการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของสับปะรดแทนวิธีอาทิเช่น การใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้เพื่อตรวจสอบปริมาณไนเตรท (Srivichien et al., 2015) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Chia et al., 2012) การตรวจสอบอายุการเก็บรักษา (Valentina et al., 2009) การใช้เทคนิค X-ray ในการตรวจสอบความโปร่งใสของสับปะรด (Haff et al., 2006) การใช้เทคนิค acoustic impulse response ในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสับปะรด (Pathaveerat et al., 2008) และความแน่นเนื้อของสับปะรด (Valente et al., 2001) ซึ่งเทคนิคเหล่านี้เป็นเทคนิคที่มีต้นทุนสูงมาก

จากงานวิจัยของ Lapcharoensuk et al. (2016b) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ของเนื้อสับปะรดกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากกลุ่มตัวอย่างที่เก็บเกี่ยวที่อายุการเก็บเกี่ยว 130 ถึง 170 วัน ผลที่ได้คือค่าสหสัมพันธ์ (r value) ระหว่างค่า a^* และ b^* กับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายมีค่าเท่ากับ 0.8 และ 0.55 ตามลำดับ นอกจากนี้ อติศักดิ์ และจินดา (2549) ได้รายงานถึงลักษณะเนื้อฉ่ำของสับปะรดที่ทำให้เนื้อสับปะรดมีลักษณะโปร่งใสบริเวณที่ว่างระหว่างเซลล์ถูกแทนที่ด้วยน้ำจึงทำให้ที่ว่างในเนื้อผล

และความสามารถในการกั้นแสงลดลง ลักษณะเนื้อฉ่ำสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่ามีลักษณะคล้าย watercore ในผลแอปเปิ้ลและสาเก ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายมีค่าสูงกว่าเนื้อปกติ และปริมาณกรดที่ได้อาจได้ของเนื้อฉ่ำมีค่าต่ำกว่าผลที่มีลักษณะเนื้อปกติ จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าทั้งค่าสีและความฉ่ำของเนื้อสับปะรดซึ่งสามารถตรวจวัดด้วยเทคนิคเชิงแสงในช่วงที่มองเห็น (visible light) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรด ข้อมูลนี้สนับสนุนความเป็นไปได้ถึงการใช้อย่างที่มองเห็นในการตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดได้ ก่อนหน้านี้มีงานวิจัยที่ศึกษาการสร้างสมการด้วยการถดถอยเชิงเส้นพหุ (multiple linear regression หรือ MLR) ด้วยค่าสีเพื่อทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรด (รวีภัทร และคณะ, 2559) ปริมาณกรดของสับปะรด (Lapcharoensuk et al., 2016a) และความบริสุทธิ์ของมะม่วง (Jha et al., 2007) ซึ่งแสดงสมรรถนะที่น่าพอใจในการตรวจสอบ อย่างไรก็ตามงานวิจัยเหล่านั้นเพียงศึกษาการใช้เครื่องมือวัดสีแบบ colorimeter และ spectrophotometer และนำค่าสีที่ได้มาสร้างสมการสำหรับทำนายพารามิเตอร์ที่ต้องการ อีกทั้งเครื่องมือวัดเหล่านั้นมีราคาสูงและไม่ได้ถูกออกแบบมาใช้ในการตรวจสอบสมบัติทางเคมีโดยตรง

จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องวัดสมบัติทางเคมีของสับปะรดด้วยเทคนิคเชิงแสง โดยสมบัติทางเคมีที่สนใจในการศึกษา ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรด เครื่องมือนี้จะถูกออกแบบให้สามารถวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดจากเนื้อของสับปะรดได้โดยตรงในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะสามารถช่วยลดต้นทุน ลดการใช้สารเคมี และลดระยะเวลาในการตรวจสอบสมบัติทางเคมี ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ภาคอุตสาหกรรมผลิตสับปะรดของประเทศไทยเป็นอย่างมาก

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องมือวัด

ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือวัดทางเคมีของสับปะรดด้วยเทคนิคเชิงแสงดังแสดงใน Figure 1 หลักการทำงานคือเมื่อกดสวิตช์ จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้เครื่องมือวัดเริ่มการทำงาน โดยมีตัวต้านทานขนาด 100 โอห์มลดการไหลของกระแสและลดระดับแรงดันไฟฟ้าภายในวงจร เช่นเซอร์วิตช์ (TCS3200, TAOS, USA) ซึ่งภายในประกอบด้วยโฟโตไดโอดชนิดซิลิกอนและมิวจรในการแปลงสัญญาณแสงเป็นความถี่ที่วัดได้จากเนื้อสับปะรดและส่งสัญญาณรูปแบบดิจิตอลไปสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Uno R3, Arduino, Italy) ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลกลางทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งระบบ โดยโปรแกรมควบคุมการทำงานถูกออกแบบให้อ่านค่าสีออกในรูปแบบ แดง เขียว น้ำเงิน (ระบบ RGB) และแทนค่าสีในสมการที่สร้างจากวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุ (multiple linear regression หรือ MLR) เพื่อคำนวณปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดออกทางหน้าจอ LCD ต่อไป

2.2 การสร้างสมการสำหรับทำนายสมบัติทางเคมี

2.2.1 ตัวอย่างสับประรด

ตัวอย่างสับประรดพันธุ์ปัตตาเวียถูกรวบรวมมาจากห้างสรรพสินค้าจำนวน 20 ผล ก่อนการทดลองทุกครั้งสับประรดจะถูกรวบรวมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) เป็นเวลา 12 ชั่วโมงเพื่อให้อุณหภูมิภายในของตัวอย่างสมดุลกับอุณหภูมิห้องสับประรดแต่ละผลถูกแบ่งออกเป็น 12 ส่วน ดังแสดงใน Figure 2 ดังนั้นจำนวนตัวอย่างเนื้อสับประรดทั้งหมดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเท่ากับ 240 ตัวอย่าง

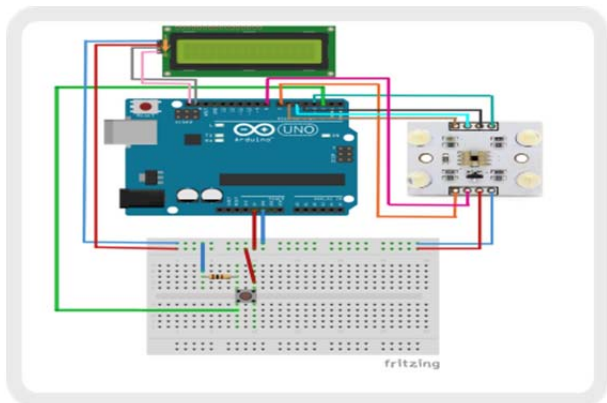


Figure 1 Diagram of component of a meter.



Figure 2 Pineapple pulp sample separation.

2.2.2 การบันทึกข้อมูลค่าสี

การวัดค่าสีของเนื้อสับประรดถูกบันทึกโดยใช้เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นโดยวัดที่ผิวด้านนอกของเนื้อสับประรด และบันทึกค่าในรูปแบบแดง เขียว น้ำเงิน (ระบบ RGB) ทำการวัดแต่ละจุด 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

2.2.3 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้

การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ใช้น้ำสับประรดที่คั้นจากบริเวณที่ทำการวัดสี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้วัดโดยเครื่อง Refractometer (Pocket PAL-1, ATAGO, Japan) ในการวัดแต่ละชิ้นทำวัด 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย

2.2.4 การวัดปริมาณกรด

การวัดปริมาณกรดทำได้โดยวิธีการไทเทรตน้ำสับประรดจากการคั้นน้ำสับประรดแต่ละชิ้นด้วยเครื่องไตเตรตแบบโพเทนซิโอเมตริก (T50, Mettler-toledo, USA) และโดยแต่ละชิ้นทำการทดลอง 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย โดยปริมาณกรดถูกรายงานในรูปแบบของปริมาณกรดซิตริก

2.2.5 การสร้างสมการ Multiple linear regressions (MLR)

ข้อมูลค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดของตัวอย่างสับประรด 240 ตัวอย่างถูกนำมาสร้างสมการสำหรับทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดด้วยวิธี Multiple linear regressions (MLR) ซึ่งมีรูปแบบดังต่อไปนี้

$$TSS, \text{ Titrateable acidity} = aR + bG + cB + d \quad (1)$$

โดยที่ ค่า TSS คือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่า Titrateable acidity คือปริมาณกรด ค่า R, G และ B คือค่าสีแดง เขียว และน้ำเงินตามลำดับ ค่า a, b และ c คือสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ค่า d คือจุดตัดแกนตั้ง (intercept) ค่า a, b, c และ d ใช้การคำนวณโดยซอฟต์แวร์ The Unscramble (version 9.8, Norway) สมการถูกทดสอบสมรรถนะด้วยวิธี Full cross-validation และรายงานผลด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination (R^2)) ค่า Standard error of calibration (SEC) และค่า Bias

2.2.6 การทดสอบเครื่องมือวัด

ในการทดสอบเครื่องมือวัดทำการทดสอบกับตัวอย่างสับประรดพันธุ์ปัตตาเวียที่รวบรวมมาจากท้องตลาดจำนวน 3 ลูกและทำการแบ่งออกเป็น 12 เซ็นเดียวกับในขั้นตอนการสร้างสมการ ดังนั้นตัวอย่างเนื้อสับประรดมีทั้งสิ้นจำนวน 36 ตัวอย่าง ขั้นตอนการทดสอบจะใช้เครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นวัดสมบัติทางเคมีและนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติทางเคมีที่ได้จากวิธีมาตรฐาน สมรรถนะของเครื่องมือถูกรายงานด้วยค่า root mean square error (RMSE)

3. ผลและวิจารณ์

3.1 สมการสำหรับทำนายสมบัติทางเคมี

Table 1 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของตัวอย่างเนื้อสับประรดทั้งหมด 240 ตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีช่วงของข้อมูลอยู่ระหว่าง 8.5-13.8 °Brix มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 1.0 °Brix และสำหรับค่าปริมาณกรดช่วงของข้อมูลอยู่ระหว่าง 0.29-0.77 %Citric และค่า SD เท่ากับ 0.1 สมการสำหรับทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณที่ได้มีรูปแบบดังสมการที่ (2) และ (3)

$$TSS = -0.01R + 0.12G - 0.13B + 12.04 \quad (2)$$

$$\text{Citric acid} = -0.01R + 0.05G - 0.04B - 1.40 \quad (3)$$

จากการทดสอบสมการด้วยวิธี Full cross-validation ได้ผลการทดสอบสมรรถนะของสมการสำหรับสมการในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่า R^2 เท่ากับ 0.72 ค่า SEC เท่ากับ 0.50 °Brix และ Bias เท่ากับ -8.46×10^{-7} °Brix และปริมาณกรดได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.71, ค่า SEC เท่ากับ 0.05 %Citric และ Bias เท่ากับ -1.25×10^{-7} %Citric Figure 3 แสดงกราฟการกระจายตัวของปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดจากการทดสอบด้วยวิธีมาตรฐาน

กับที่ทำนายจากสมการด้วยการทดสอบสมการโดยวิธี Full cross-validation

3.2 การทดสอบเครื่องมือวัด

ผลจากการทดสอบเครื่องมือวัดกับตัวอย่างเนื้อสับประรดทั้งสิ้น 36 ชิ้นแสดงใน Table 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าในช่วง 8.9-11.0 °Brix ผลการทดสอบเครื่องมือวัดในการตรวจสอบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้แสดงค่า RMSE เท่ากับ 2.6 °Brix สำหรับปริมาณกรดข้อมูลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.49-0.80 %Citric และมีค่า RMSE เท่ากับ 0.09%Citric ค่า RMSE เป็นค่าแสดงถึงความ

ผิดพลาดในการตรวจสอบ โดยเมื่อเทียบค่า RMSE กับค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (10.0 °Brix) และปริมาณกรด (0.69% Citric) จะเห็นได้ว่าเครื่องมือวัดนี้มีความผิดพลาดในการตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไป 26.0% และความผิดพลาดในการทำนายปริมาณกรด 13.04% จะเห็นได้ว่ามีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นเกิน 10% สิ่งนี้อาจบ่งบอกได้ว่าเครื่องมือยังไม่เหมาะสมในการใช้ตรวจวัดในเชิงปริมาณ อย่างไรก็ตามก็มีความเป็นไปได้สูงในการประยุกต์ใช้เครื่องมือนี้ในเชิงคุณภาพเพื่อคัดแยกคุณภาพของเนื้อสับประรดในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากเนื้อสับประรดได้

Table 1 Statistical of Total soluble solid content and citric acid of pineapple pulp sample for creating MLR equation.

Parameter	Number of sample	Min	Max	Mean	SD
Total soluble solid content (°Brix)	240	8.5	13.8	10.7	1.0
Titrateable acidity (%Citric)	240	0.29	0.77	0.57	0.10

Min-minimum value; Max-maximum value; Mean-average value; SD-standard deviation value.

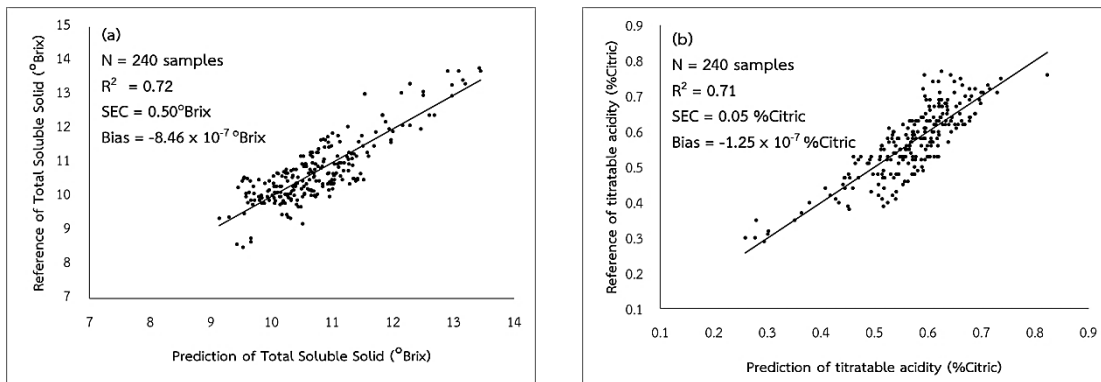


Figure 4 scatter plot of total soluble solid and titrateable acidity from full cross-validation method (a) total soluble solid; (b) titrateable acidity.

Table 2 Results of performance testing of a meter.

Parameter	Number of sample	Min	Max	Mean	SD	RMSE
Total soluble solid content (°Brix)	36	8.9	11.0	10.0	0.6	2.6
Titrateable acidity (%Citric)	36	0.49	0.80	0.69	0.07	0.09

Min-minimum value; Max-maximum value; Mean-average value; SD-standard deviation value; RMSE-root mean square error.

4. สรุป

เครื่องมือวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของเนื้อสับประรดด้วยเทคนิคเชิงแสงยังให้ผลในการตรวจสอบเชิงปริมาณได้ไม่ดีเพียงพอ ซึ่งเครื่องมือนี้อาจพัฒนาและปรับปรุงให้สามารถนำไปใช้ตรวจสอบในเชิงคุณภาพเพื่อคัดแยกคุณภาพของเนื้อสับประรดในอุตสาหกรรมสับประรด เครื่องมือนี้สามารถช่วยลดความต้นทุนสารเคมี เวลา และแรงงานคนในการควบคุมคุณภาพของสับประรดในอุตสาหกรรมแปรรูปสับประรดได้

5. เอกสารอ้างอิง

วิภาภัทร ลากเจริญสุข, ชีระมิตต์ เอี่ยมวงษา และอำนาจ เขยนอก 2559. แบบจำลองจากค่าสีเพื่อตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับประรดเชิงการค้าแบบไม่ทำลาย. การประชุมวิชาการคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 1 ประจำปี 2559, 6. พระนครศรีอยุธยา: คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. 22 กันยายน 2559, พระนครศรีอยุธยา.
สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. สถิติการนำเข้าและส่งออกสับประรด. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export.php. เข้าถึงเมื่อ 14 กรกฎาคม 2560.

ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. 2560. สืบประวัติ. แหล่งข้อมูล:
http://fic.nfi.or.th/foodsectordatabank-all2_detail.php?cat=12&type=1. เข้าถึงเมื่อ 14 กรกฎาคม 2560.

อดิศักดิ์ จูมวงษ์, จินดา ศรศรีวิชัย. 2549 ผลของอายุการเก็บเกี่ยวต่อความฉ่ำและคุณภาพทางเคมีของผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37(5พิเศษ), 152-155.

Chia, K. S., Rahim, H. A., Rahim, R. A. 2012. Prediction of soluble solids content of pineapple via non-invasive low cost visible and shortwave near infrared spectroscopy and artificial neural network. *Biosystems Engineering* 113(2), 158-165.

Haff, R. F., Slaughter, D. C., Sarig, Y., Kader, A. 2006. X-ray assessment of translucency in pineapple. *Journal of Food Processing and Preservation* 30, 527-533.

Jha, S. N., Chopra, S., Kingsly, A. R. P. 2007. Modeling for nondestructive evaluation of maturity of mango. *Journal of food engineering*, 78, 22-26.

Lapcharoensuk, R., Aimwongsa, T., Kaeynok, A., Phannote, N., Kasetyangyunsapa, D. 2016a. Color values models for determination of citric acid in pineapple. *Proceedings of the 9th TSAE international conference*, 59-64. Bangkok, Thailand: Thai Society of Agricultural Engineering. 8-10 september 2016, Bangkok, Thailand.

Lapcharoensuk, R., Phannote, N., Kasetyangyunsapa, D. 2016b. Physicochemical Properties of Pineapple at Difference Maturity. *Proceedings of the 9th TSAE international conference*, 59-64. Bangkok, Thailand: Thai Society of Agricultural Engineering. 8-10 september 2016, Bangkok, Thailand.

Pathaveerat, S., Terdwongworakul, A., Phaungsombut, A. 2008. Multivariate data analysis for classification of pineapple maturity. *Journal of Food Engineering*, 89.

Srivichien, S., Terdwongworakul, A., Teerachaichayut S., 2015. Quantitative prediction of nitrate level in intact pineapple using Vis-NIRS. *Journal of Food Engineering* 150, 29-34.

Valente, M., Duprat, F., Grotte, M., Lasaygues, P. 2001. Non-destructive evaluation of firmness of fresh pineapple by acoustic method. *Acta Horticulturae* 562, 391-396.

Valentina, D. E., Sinelli, N., Limbo, S., Torri, L., Franzetti, L., Casiraghi, E. 2009. Evaluation of shelf-life of fresh-cut pineapple using FT-NIR and FT-IR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 54(2), 87-92.