

กันยายน 2560 จากการทดลองพบว่า สมการประเมินค่าความหนืดสูงสุดของแป้งมันสำปะหลัง สมการมีค่าสหสัมพันธ์ (R) = 0.95 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) = 0.93 ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP) = 34.08 BU ต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation, SD) = 119.93 BU สมการประเมินค่า break down ของแป้งมันสำปะหลัง มีค่า R = 0.91 ค่า R^2 = 0.83 ค่า SEP = 14.06 BU ต่ำกว่าค่า SD = 15.65 BU สมการประเมินค่า set back ของแป้งมันสำปะหลัง มีค่า R = 0.92 ค่า R^2 = 0.85 ค่า SEP = 40.98 BU ต่ำกว่าค่า SD = 105.89 BU จากการทดลองจะเห็นได้ว่าสมการสำหรับการประเมินค่าความหนืดนั้น สามารถนำไปประเมินค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังได้

คำหลัก: มันสำปะหลัง ความหนืด เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

Abstract

Viscosity is an important fluid property of starch. Kinds of starches have difference property of viscosity. Brabender was used viscosity analysis of flour and starch but it is expensive. This method is destructive samples and it takes a long time for viscosity analysis. The objective of this research was study on Near Infrared Spectroscopy (NIRS) technique, is non-destructive technique, it takes a short time and no chemical use to predict for viscosity values (peak viscosity, break down, and set back) of cassava flours and starches. The 280 cassava samples were collected difference varieties, lines tested, harvested dates and locations. The samples scanned in the region 800-2500 nm. The spectrum of cassava flours and starches were shown. Viscosity values used Brabender Micro Visco-Amylo-Graph, at Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture. The Least Squares Partial (PLS) linear regression models were calculated using the Unscrambler (Camo, Oslo Norway). The absorbance of samples correlates with viscosity values. Data were divided 2 groups, group 1 is calibration set, and group 2 is validation set. This research was done in 2016-2017. The calibration for predicting peak viscosity values of cassava flours and starches, multiple correlation coefficient (R) = 0.95, squared correlation coefficients (R^2) = 0.93, Standard Error of Prediction (SEP) = 34.08 BU, Standard Deviation (SD) = 119.93 BU. The calibration for predicting break down values of cassava flours and starches, R = 0.91, R^2 = 0.83, SEP = 14.06 BU, SD = 15.65 BU. The calibration for predicting set back values of cassava flours and starches, R = 0.92, R^2 = 0.85, SEP = 40.98 BU, SD = 105.89 BU. Therefore, the NIRs technique can predict viscosity values in cassava flours and starches.

Keywords: cassava, viscosity, Near Infrared Spectroscopy

6. คำนำ

การใช้มันสำปะหลังภายในประเทศไทย ปี 2560 เพิ่มขึ้นจากปี 2559 ความต้องการใช้เพื่อผลิตแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น เนื่องจากใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้หลากหลาย และมันเส้นมีความต้องการใช้ใกล้เคียงกับ ปี 2559 ทั้งนี้ความต้องการใช้ภายในประเทศ มีประมาณร้อยละ 20 ที่เหลือร้อยละ 80 เป็นการส่งออก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร , 2560) ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง และการตัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆ แป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป แป้งจากส่วนรากหรือส่วนกลางลำต้น เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการพองตัวและการการละลายสูงกว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า และเกิดเจลลาทีโนสที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งธัญพืช โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปร่างแห (micelles) การจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach et al., 1959) แต่เมื่อได้รับความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมี ความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลลาทีโนส (gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลลาทีโนส เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด (Sanders, 1996) แป้งมันสำปะหลังอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนสจะอยู่ในช่วง 58-70 องศาเซลเซียส (Moorthy, 1985) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง และการตัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆ ชนิดของแป้งฟลาว (flour) เป็นแป้งที่มีองค์ประกอบทั้งหมดยังคงอยู่ โดยแป้งฟลาวได้จากการบดเมล็ดธัญพืชที่มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้ง และยังมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีน เส้นใย และไขมันอยู่ แป้งสตาร์ช (starch) คือแป้งฟลาวที่แยกเอาองค์ประกอบอื่นออก เหลือแต่โมเลกุลแป้งล้วนๆ ซึ่งจะมีวิธีการแยกเอาองค์ประกอบต่างๆออกได้หลายวิธี เช่น การล้างน้ำหลายๆครั้ง การใช้สารเคมี เป็นต้น (จารุวรรณและคณะ , 2553) แป้งแต่ละชนิดมีสมบัติความหนืดแตกต่างกันไป เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืดขึ้น อุณหภูมิที่กราฟเริ่มเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีก รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้โครงสร้างภายในแตกออก ความหนืดลดลงต่อมาลดอุณหภูมิลง ทำให้เกิดการ รีโทรเกรดชัน (retrogradation) ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์และเกื้อกุล , 2550) เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น นำไปหาค่าบริกซ์ กรด ความแน่นเนื้อ ในมะม่วง (Schmilovitch et al., 2000) หาปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าว (Rittiron et al., 2005) หา

ความหนืดของแป้งสตาร์ชมันสำปะหลัง (จารุวรรณและคณะ , 2552) เป็นต้น ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยใช้หลักการการสร้างความสมการจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation) หรือ R ระหว่างค่าการดูดซับแสงเนียร์อินฟราเรดที่ส่องผ่านวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์ และค่าที่วิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ เมื่อได้สมการที่มีค่าความสัมพันธ์สูง ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP) ต่ำสามารถนำสมการที่ได้ใช้ทำนายค่าของตัวอย่างแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี เป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว และปลอดภัย ไม่ใช้สารเคมี

7. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. แป้งฟลาวและสตาร์ชมันสำปะหลังพันธุ์และสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 280 ตัวอย่าง
2. เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer จากบริษัท FOSS รุ่น 6500 (NIRSystems 6500)
3. เครื่องบดตัวอย่าง
4. วิเคราะห์ความหนืด ด้วยเครื่อง Brabender Micro Visco-Amylo-Graph

วิธีการ

1. รวบรวมตัวอย่างมันสำปะหลัง นำไปทำแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ช มันสำปะหลังพันธุ์และสายพันธุ์ที่อายุเก็บเกี่ยว และพื้นที่ปลูก ต่างๆ จำนวน 280 ตัวอย่าง บรรจุในเซลล์บรรจุตัวอย่างสำหรับแป้ง นำไป วัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRSystems 6500 ด้วยชุดอุปกรณ์ transportation module ในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร (nm) โดยวัดการสะท้อนกลับของแสง (reflectance)
2. สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นด้วยเทคนิค Partial Least Square Regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler® version 9.7 (CAMO, Oslo, Norway) ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ calibration set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างข้อมูลค่าความหนืด ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยการใช้เครื่อง Brabender กับข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง ในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 nm กลุ่มที่ 2 คือ validation set เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบสมการถดถอยเชิงเส้น ในการทำนายค่าความหนืด
3. ทดสอบสมการประเมินปริมาณความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง

เวลาและสถานที่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ระยะดำเนินการ ตุลาคม 2559 - กันยายน 2560

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

นำแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชมันสำปะหลัง รวมจำนวน 280 ตัวอย่าง ไปวัดค่าการดูดซับแสงในย่าน Near Infrared ความยาวคลื่น 800-2500 nm ได้สเปกตรัมของแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชมันสำปะหลัง ซึ่งค่าการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่น 990 1580 และ 2100 nm เป็นค่าการดูดซับแสงของโมเลกุลแป้งสตาร์ช (Williams and Norris 2001) (Figure 1) ในการทดลองใช้แป้งฟลาวและสตาร์ชมันสำปะหลังพันธุ์และสายพันธุ์ต่างๆ เนื่องจากมีการศึกษาผลกระทบของพันธุ์ อายุเก็บเกี่ยว และสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง ที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของขนาดของเม็ดแป้งในระดับอายุต่างๆกัน และการเปลี่ยนแปลงของการพองตัวและความหนืด (Sriroth, 1999)

สร้างสมการจากแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชมันสำปะหลัง จำนวน 280 ตัวอย่าง ด้วยวิธี PLS regression แบบ full cross validation โดยการใช้ spectra เริ่มต้น (original) กับค่าวิเคราะห์ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (break down) และค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (set back)

1. ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีค่าสหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนาย เท่ากับ 0.95 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนาย Standard Error of Prediction (SEP) เท่ากับ 34.08 Brabender Unit (BU) ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่ม Standard Error of Calibration (SEC) เท่ากับ 30.68 BU มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (F) 7 ปัจจัย ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation, SD) จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 119.93 BU (Table 1) และสมการประเมินค่าวิเคราะห์ความหนืดสูงสุด ตั้งแต่ 242-766 BU และมีค่าเฉลี่ย 533.06 BU (Table 2) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของสมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) ของแป้งมันสำปะหลังในการประเมินค่าความหนืดสูงสุด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient ที่ 984 1582 1900 2100 2272 และ 2464 nm เป็นค่าของแป้งสตาร์ช และตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient ที่ 1940 nm เป็นค่าของน้ำ (Figure 2)

2. ค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (break down) มีค่าสหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนาย เท่ากับ 0.91 ค่า SEP เท่ากับ 15.65 BU ค่า SEC เท่ากับ 14.06 BU มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (F) 9 ปัจจัย ค่า SD จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 38.54 BU (Table 1) และสมการประเมินค่า break down ตั้งแต่ 189-353 BU และมีค่าเฉลี่ย 265.01 BU (Table 2) ค่า regression coefficient ของแป้งมันสำปะหลังในการประเมินค่า break down ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient ที่ 994 1440 1526 1552 1582 2256 2278 และ 2458 nm เป็นค่าของแป้งสตาร์ช และตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient ที่ 1932 nm เป็นค่าของน้ำ (Figure 2)

3. ค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (set back) มีค่าสหสัมพันธ์ (R) ระหว่างการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกับค่าการทำนาย เท่ากับ 0.92 ค่า SEP เท่ากับ 40.98 BU ค่า SEC เท่ากับ 38.45 BU มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (F) 8 ปัจจัย ค่า SD จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 105.89 BU (Table 1) และ

สมการประเมินค่า set back ตั้งแต่ 40-423 BU และมีค่าเฉลี่ย 265.34 BU (Table 2) ค่า regression coefficient ของแป้งมันสำปะหลังในการประเมินค่า set back ตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient ที่ 996 1434 1582 1908 2000 2082 และ 2250 nm เป็นค่าของแป้งสตาร์ช และตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีค่า regression coefficient ที่ 972 nm เป็นค่าของน้ำ (Figure 2)

การหาความสัมพันธ์จากการทำนายค่าความหนืดสูงสุด ค่า break down และค่า set back กับค่าวิเคราะห์ค่าความหนืดสูงสุด ค่า break down และค่า set back ของแป้งมันสำปะหลังที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่า 0.93 0.83 และ 0.85 ตามลำดับ (Figure 3) ทดสอบสมการประเมินค่าความหนืดสูงสุด ค่า break down และ ค่า set back ของแป้งมันสำปะหลัง โดยนำตัวอย่างแป้งสำปะหลังจำนวน 10 ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างไปสแกนด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer และทำนายค่าความหนืดสูงสุด ค่า break down และ ค่า set back เปรียบเทียบกับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ทดสอบการทำนายปริมาณค่าความหนืดสูงสุดในแป้งฟลาวและสตาร์ชมันสำปะหลัง

ขั้นตอนการทำ validation หลังจากได้สมการ calibration แล้ว ทำการทวนสอบว่าสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำมาทำนายข้อมูลชุดอื่นได้ ซึ่งการทดสอบสมการประเมินค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังโดยนำตัวอย่างแป้งสำปะหลังจำนวน 10 ตัวอย่าง นำตัวอย่างไปสแกนด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer และทำนาย (predicted) ค่าความหนืดสูงสุด ค่า break down และ ค่า set back ของแป้งฟลาวและสตาร์ชมันสำปะหลัง เปรียบเทียบกับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีความถูกต้องมากน้อยแค่ไหน (Standard Error of Prediction; SEP) ค่าเฉลี่ยของการทำนายกับค่าเฉลี่ยของค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกันหรือไม่ (bias) ค่าสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบว่าสมการ calibration ที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้งานได้คือ ค่า SEP และ bias ควรมีค่าน้อยๆ ถึงจะแสดงว่าสมการ calibration มีความเหมาะสมที่จะนำเครื่อง NIR มาใช้ในการทำนายคุณลักษณะที่ต้องการหา รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ควรมีค่าเข้าใกล้ 1 การคำนวณค่า SEP = 17.57 BU และค่า bias = 2.96 BU ของสมการค่าความหนืดสูงสุด (Table 3) ค่า SEP = 5.57 BU และค่า bias = -4.02 BU ของสมการค่า break down (Table 4) ค่า SEP = 13.97 BU และค่า bias = -4.21 BU ของสมการค่า set back (Table 5) ที่ทำนายกับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ไม่แตกต่างกันมาก ค่า bias มีค่าเป็นลบแสดงว่า ค่าที่ทำนายได้มีค่ามากกว่าค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และนำสถิติ t-test ใช้ทดสอบความแตกต่างหรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวิธีการ 2 วิธี พบว่า สมการสำหรับการประเมินค่าความหนืดสูงสุด ค่า break down และ ค่า set back ของแป้งมันสำปะหลังกับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ดังนั้นจึงสามารถนำสมการไปใช้ประเมิน ค่าความหนืดสูงสุด ค่า break down และค่า set back แป้งมันสำปะหลังได้ แต่ความหนืดของแป้งมันสำปะหลังมีความแปรปรวนมาก อาจเนื่องจาก พันธุ์ อายุเก็บเกี่ยว และแหล่งปลูก (จารุวรรณและคณะ, 2552) หากมีการทดลองเพิ่มควรหาตัวอย่างที่มีค่าความหนืดสูงสุดช่วง 350-400 BU และ 550-600 BU ส่วนค่า set back ช่วง 180-200 BU และช่วง 300-320 BU เพื่อปรับปรุงสมการให้ดีขึ้นต่อไป

Table 1 Partial Least Square Regression calibration result for predicting peak viscosity, break down, and set back values in cassava flours and starches.

Viscosity Analysis	Math method	Wavelength (nm)	F	R	SEC	SEP	SD	Bias	N
peak viscosity	Original	800-2500	7	0.95	30.68	34.08	119.93	- 0.187749	164
break down	Original	800-2500	9	0.91	14.06	15.65	38.54	- 0.155607	127
set back	Original	800-2500	8	0.92	38.45	40.98	105.89	0.208246	205

R: Multiple correlation coefficients

F: The number of factors used in the calibration equation

SEC: Standard error of calibration, SEP: Standard error of prediction

SD: Standard Deviation of actual value

Bias: The average of difference between actual value and NIR value, N: Number of samples

Table 2 The characteristics of samples used in model for, peak viscosity, break down and set back values in cassava flours and starches.

Items	min-max	mean	unit
peak viscosity	242-766	533.06	BU
break down	189-353	265.01	BU
set back	40-423	265.34	BU

Table 3 Comparison of predicted and actual values when used NIR model to evaluate peak viscosity values in cassava flours and starches.

Samples	Method to determine peak viscosity		d (x-y)	d ² (x-y) ²
	Reference Method	NIR Prediction		
	X	Y		
1	583.50	578.29	5.21	27.14
2	608.50	605.57	2.93	8.57
3	626.00	613.10	12.90	166.51
4	615.00	641.68	-26.68	712.04
5	561.50	583.39	-21.89	479.26
6	292.00	272.64	19.36	374.81
7	270.00	241.96	28.04	786.41
8	262.00	251.02	10.98	120.63
9	262.00	248.25	13.75	189.04
10	268.00	283.02	-15.02	225.54
Total	4348.50	4318.92	29.58	3089.95
Average	434.85	431.89	2.96	308.99

Table 4 Comparison of predicted and actual values when used NIR model to evaluate break down values in cassava flours and starches.

Samples	Method to determine break down		d (x-y)	d ² (x-y) ²
	Reference Method	NIR Prediction		
	X	Y		
1	205.00	207.97	-2.97	8.84
2	230.50	232.28	-1.78	3.16
3	239.00	237.74	1.26	1.58
4	224.00	222.63	1.37	1.88
5	306.50	314.35	-7.85	61.62
6	241.50	245.59	-4.09	16.75
7	248.00	249.29	-1.29	1.67
8	253.00	262.71	-9.71	94.30
9	256.50	262.33	-5.83	33.94
10	257.50	266.80	-9.30	86.53
Total	2461.50	2501.70	-40.20	310.28
Average	246.15	250.17	-4.02	31.03

Table 5 Comparison of predicted and actual values when used NIR model to evaluate set back values in cassava flours and starches.

Samples	Method to determine set back		d (x-y)	d ² (x-y) ²
	Reference Method	NIR Prediction		
	X	Y		
1	298.00	320.61	-22.61	511.26
2	352.50	380.74	-28.24	797.44
3	375.50	384.59	-9.09	82.57
4	233.00	245.48	-12.48	155.75
5	277.00	270.93	6.07	36.91
6	269.00	253.24	15.76	248.28
7	286.00	314.09	-28.09	789.05
8	235.00	245.59	-10.59	112.15
9	302.00	271.61	30.39	923.55
10	298.00	281.25	16.75	280.63
Total	2926.00	2968.12	-42.12	1774.35
Average	292.60	296.81	-4.21	17.74

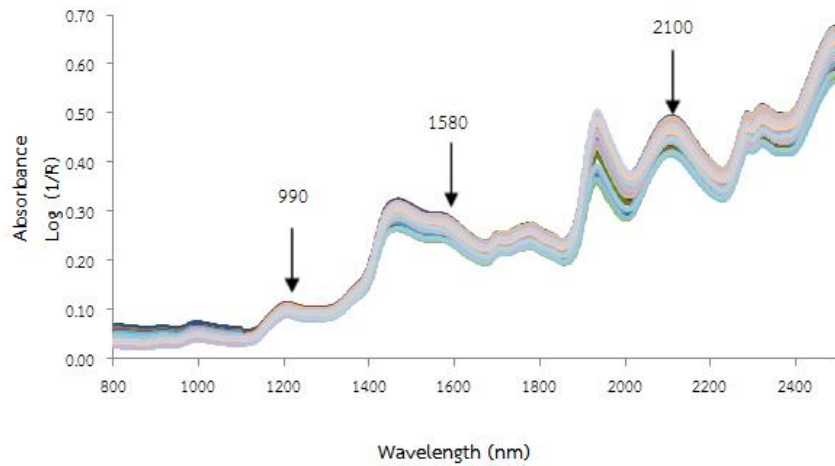


Figure 1 The original NIR spectra of cassava flours and starches of 800-2500 nm.

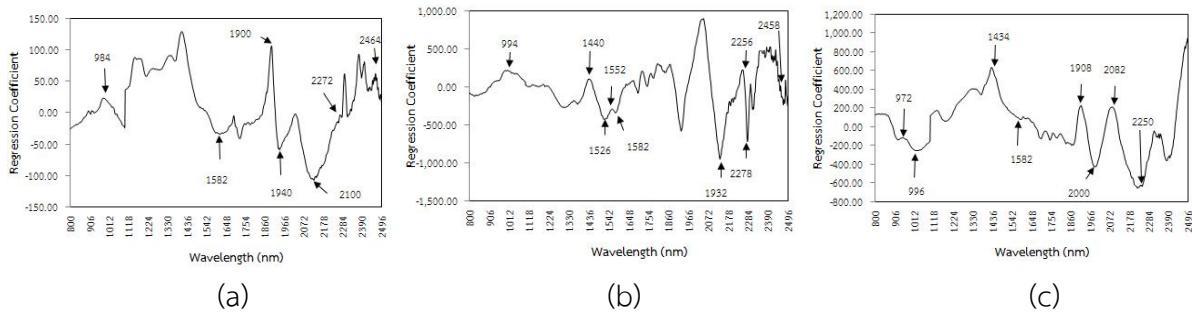


Figure 2 Regression coefficient plots to evaluate peak viscosity (a), break down (b), and set back (c) values in cassava flours and starches.

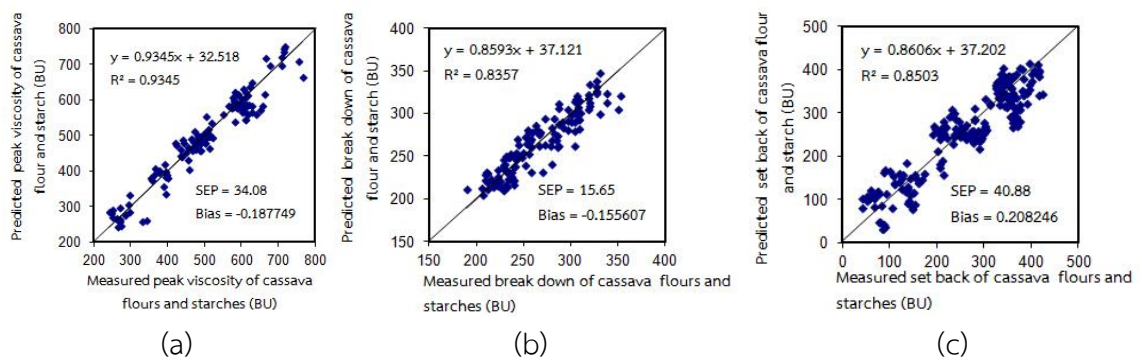


Figure 3 Scatter plots of actual peak viscosity (a), break down (b) and set back (c) values in cassava flours and starches vs. NIR-predicted peak viscosity, break down (b), and set back (c) values in validation set.

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความหนืดของแป้งสำปะหลังได้ผลการสำหรับประเมินค่าความหนืด ได้แก่ ค่าความหนืดสูงสุด ตั้งแต่ 242-766 BU ค่า break down ตั้งแต่ 189-353 BU และค่า set back ตั้งแต่ 40-423 BU ของแป้งสำปะหลัง ซึ่งสามารถนำไปประเมินค่าความหนืดของแป้งสำปะหลังทั้งชนิดฟลาวและสตาร์ชได้

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

นักวิชาการ กลุ่มเกษตรกร และผู้ประกอบการ สามารถนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีไปประเมินปริมาณ ความหนืดในแป้งมันสำปะหลัง เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีไม่ใช้สารเคมีในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ไม่ต้องทำลายตัวอย่างในการประเมิน และใช้ระยะเวลาสั้น

11. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่ ที่ช่วยเหลือให้งานวิจัย ลุล่วงไปด้วยดี

12. เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. *เทคโนโลยีแป้ง*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 303 หน้า.
- จากรุวรรณ บางแวก อรรุวรรณ จิตต์ธรรม อรณิชา สุวรรณโณม และจากรุรัตน์ พุ่มประเสริฐ. 2552. การประเมินคุณภาพผลผลิตเกษตรโดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy. หน้า 256-272. ใน: *รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2552 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร*. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- จากรุวรรณ บางแวก อรรุวรรณ จิตต์ธรรม จากรุรัตน์ พุ่มประเสริฐ และฐิติภัทร มีบุบผา . 2553. การประเมินคุณสมบัติของแป้งพืช. หน้า 520-534. ใน: *รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2553 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร*. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 206 หน้า.
- Leach, H.W., L.D. McCowen and T.J. Scoch. 1959. Structure of starch granule 1.Swelling and solubility patterns of various starches. *J. Cereal Chem.* 36: 534-544.
- Moorthy, S.N. 1985. Acetylation of Cassava Starch Using Perchloric Acid Catalysis. *J. Starch/Starke.* 37 (9): 307-308.

- Rittiron, R., S. Saranwong and S. Kawano. 2005. Detection of variety contamination in milled Japanness rice using single kernel near infrared technique in transmittance mode. *J. Near Infrared Spectrosc.* 13: 19-25.
- Sanders, J.P.M. 1996. Starch manufacturing in the world. *In: Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology.* Jan. 22-26 and Feb. 19-23, 1996. AIT Center, Bangkok.
- Schmilovitch, Z., A. Mizrach, A. Hoffman, H. Egozi, and Y. Fuchs, 2000. Determination of mango physiology indices by near-infrared spectrometry. *J. Postharvest Biol. Technol.* 19: 245-252.
- Sriroth, K., V. Santisopasri, C. Petchalanuwat, K. Kurotjanawong, K. Piyachomkwan and C. G. Oates, 1999. Cassava starch granule structure–function properties: influence of time and conditions of harvest on four cultivars of cassava starch. *J. Carbohydrate Polymers.* 38 :161–170.
- Williams, P. and K. Norris. 2001. *Near Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries.* Inc.: St Paul, Minesota. 312 p.

13. ภาคผนวก

-