



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรด
ย่านใกล้ เพื่อใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ
(Development of Analytical Method for Fructooligosaccharide using NIR Spectroscopy in
Quality Monitoring of Functional Banana Fig Syrup)

ผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินณวงศ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2557-2558

ภายใต้ชุดโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาวิธีการตรวจสอบอย่างรวดเร็วเพื่อวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพใน
ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

ปีที่ดำเนินการเสร็จ พ.ศ 2559

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ปีงบประมาณ 2557-2558 และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินดวงศ์ ที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงการ และขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหารสำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงสนับสนุนเครื่องมือในการทำวิจัย

ชื่อโครงการ การพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปี
อินฟราเรดย่านใกล้ เพื่อใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพในผลิตภัณฑ์ไซรัป
กล้วยตากเพื่อสุขภาพ

ชื่อผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต อินดวงศ์ (หัวหน้าโครงการ)
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

แหล่งอุดหนุนทุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2557-2558
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีที่เสร็จ พ.ศ. 2559

ประเภทการวิจัย การวิจัยประยุกต์

สาขาวิชา (อ้างอิงตามวช.) สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา

บทคัดย่อ

ไซรัปกล้วยตากที่มีฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นผลผลิตที่เพิ่มช่องทางตลาดและส่งผลให้เกิดการแข่งขันทางเศรษฐกิจของประเทศไทย แต่เนื่องด้วยวิธีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์นั้นสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค high performance liquid chromatography (HPLC) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษา การพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) เพื่อใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ โดยเมื่อใช้เทคนิค NIR ที่ช่วงคลื่น $12500-4000\text{ cm}^{-1}$ และทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ร่วมกับการสร้างสมการด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLS) พบว่า สมการทำนายปริมาณซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส เคสโทส นีสโทส และฟรุกโตฟูโรโนซิลนีสโทส มีค่า coefficients of determination (R^2) เท่ากับ 0.70, 0.55, 0.62, 0.96, 0.96 และ 0.96 โดยสมการดังกล่าวมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการทำนายและตรวจวัดปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ จากผลดังกล่าวบ่งชี้ให้เห็นว่าเทคนิค NIR สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในไซรัปกล้วยตากได้

คำสำคัญ : ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Research Title: Development of Analytical Method for Fructooligosaccharide using NIR Spectroscopy in Quality Monitoring of Functional Banana Fig Syrup

Researcher: Assist. Prof. Bhundit Innawong, Ph.D. (Project leader)
Department of Food Technology,
Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Silpakorn University

Research Grants: Fiscal Year 2014-2015

Research and Development Institute, Silpakorn University

Year of complement: 2016

Type of research: Applied Research

Subjects (based NRCT): Agriculture and Biology

Abstract

Functional banana fig syrup (FBS) with fructooligosaccharides (FOS) is a product having more marketing chain in Thailand nowadays. FOS was analyzed via high performance liquid chromatography technique (HPLC), the method was difficult, expensive and spent more time for analysis. The aim of this study, to develop analytical method of FOS via using near infrared spectroscopy technique (NIR) in quality monitoring of FBS. NIR have region $12500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ (wave number) it was used with modifying spectrum to find an equation via partial least squares regression (PLS) for detect FOS in the syrup sample. The result of prediction was found that coefficients of determination (R^2) of sucrose, glucose, fructose, kestose, nystose and fructofuranosyl nystose were 0.70, 0.55, 0.62, 0.96, 0.96 and 0.96 respectively. This equation can use for prediction and evaluate fructooligosaccharides in functional banana fig syrup. NIR technique was applied for detecting sugar component in functional banana fig syrup.

Key word: fructooligosaccharides, functional banana fig syrup, near-infrared spectroscopy

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
คำสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
กล้วย	3
ไซรัปกล้วยตาก	4
ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharides: FOS)	6
เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near infrared spectroscopy, NIR)	8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	15
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	19
การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในการวิเคราะห์สารสาร	
มาตรฐาน	19
การติดตามการเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพของโยอาหารฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์	
ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพในระหว่างการเก็บรักษา ด้วยการ	23
ประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้	
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	34
บรรณานุกรม	35
ภาคผนวก ก. ค่าทางเคมีของไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพจากวิธีมาตรฐาน	39
ภาคผนวก ข. ค่าจากสมการที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR ของสารมาตรฐาน	44
ภาคผนวก ค. ค่าจากสมการที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR ของไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ	66

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ $GF_2 =$ เคสโตส, $GF_3 =$ นีสโทส และ $GF_4 =$ ฟรุกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	6
2	ปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหอม และกล้วยเล็บมือนาง	7
3	โครมาโตแกรมของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ทางการค้า	7
4	โครมาโตแกรมของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากกล้วยแต่ละชนิด 1)กล้วยไข่ 2)กล้วยน้ำว้า 3)กล้วยหอม และ 4)กล้วยเล็บมือนาง	8
5	รังสีอินฟราเรดในแถบ Electromagnetic spectrum	9
6	การวัดสเปกตรัมจากตัวอย่างในรูปแบบต่างๆ	10
7	ความยาวคลื่นที่สะท้อนขององค์ประกอบอินทรีย์ ของเครื่อง NIR	13
8	ความยาวคลื่นที่เกิดฟลักของฟรุกโตสและกลูโคส	13
9	สมการมาตรฐานของกลูโคสมาตรฐาน	19
10	สมการมาตรฐานของฟรุกโตสมาตรฐาน	20
11	สมการมาตรฐานของซูโครสมาตรฐาน	20
12	สมการมาตรฐานของเคสโทสมาตรฐาน	21
13	สมการมาตรฐานของนีสโทสมาตรฐาน	21
14	สมการมาตรฐานของฟรุกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	22
15	สมการมาตรฐานของสารละลายผสม	22
16	เส้นสเปกตรัมของไซรัปกล้วยตากจากเทคนิค NIR	25
17	เส้นสเปกตรัมหลังการปรับแต่งด้วยเทคนิค second derivative (2D) ของไซรัปกล้วยตาก	25
18	สมการทำนายปริมาณซูโครสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR	26
19	สมการทำนายปริมาณกลูโคสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR	27
20	สมการทำนายปริมาณฟรุกโตสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR	28
21	สมการทำนายปริมาณเคสโทสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR	29
22	สมการทำนายปริมาณนีสโทสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR	30
23	สมการทำนายปริมาณฟรุกโตฟูเรโนซิลนีสโทสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR	31
24	สมการทำนายปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR	33

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของผลกล้วยสุก น้ก 100 กรัม	3
2	องค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ	5
3	ประสิทธิภาพของสมการทำนาย โดยพิจารณาจากค่า R และ R ²	11
4	ตำแหน่งพิกในแถบสเปกตรัม NIR ที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบต่างๆ ในผลผลิต	12
5	องค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ	24
6	ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลซูโครสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	27
7	ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลกลูโคสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	28
8	ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	29
9	ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลเคสโทสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	30
10	ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลนิสโทสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	31
11	ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุคโตฟูเรโนซิลนิสโทสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	32
12	ค่าทางสถิติของปริมาณของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค HPLC ที่วิเคราะห์ตัวอย่างในส่วนของการสร้างสมการทำนาย และตัวอย่างที่ใช้สำหรับทวนสอบสมการ ที่ใช้สำหรับการสร้างความสัมพันธ์ของเทคนิค NIR	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมมาก สืบเนื่องมาจากผู้บริโภคในปัจจุบันนั้นมีความใส่ใจต่อสุขภาพและการบริโภคอาหารเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นหนึ่งในส่วนของประกอบของอาหารกลุ่มเพื่อสุขภาพ โดยในปัจจุบันกระบวนการวิเคราะห์ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยโครมาโตกราฟีประสิทธิภาพสูงที่มีความซับซ้อน โดยต้องอาศัยการสารประกอบมาตรฐานในการตรวจวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้ปริมาณ ทำให้มีต้นทุนในการวิเคราะห์ที่สูง และไม่สามารถวิเคราะห์หรือติดตามปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้ขณะการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาการวิเคราะห์ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้เป็นวิธีที่สามารถวัดฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้โดยไม่มีการทำลายตัวอย่าง การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR Spectroscopy) นั้นเป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่สามารถลดต้นทุนในการวิเคราะห์ได้ รวมถึงความโดดเด่นในเรื่องของระยะเวลาที่รวดเร็ว และไม่ต้องใช้ระยะเวลาในการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก ทั้งนี้พบว่าการศึกษาด้าน NIR ในการติดตามปริมาณ/คุณภาพของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์อาหารยังไม่ปรากฏอย่างชัดเจน ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนากระบวนการติดตามและตรวจวัด ตลอดจนการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของชนิด ปริมาณ และคุณลักษณะที่สำคัญของใยอาหารฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ โดยเปรียบเทียบกับเทคนิคตรวจวัดแบบ HPLC รวมถึงการติดตามการเปลี่ยนแปลงปัจจัยด้านคุณภาพของใยอาหารฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพในระหว่างการเก็บรักษา

1.2 คำสำคัญ (Key word)

ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนากระบวนการติดตามและตรวจวัด ตลอดจนการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของชนิด ปริมาณ และคุณลักษณะที่สำคัญของใยอาหารฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ โดยเปรียบเทียบกับเทคนิคตรวจวัดแบบ HPLC

2.2 เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงปัจจัยด้านคุณภาพใยอาหารฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพในระหว่างการเก็บรักษา ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการพัฒนากระบวนการติดตามและตรวจวัด การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของชนิด ปริมาณ และคุณลักษณะที่สำคัญของใยอาหารฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ โดยเปรียบเทียบกับเทคนิคตรวจวัดแบบ HPLC โดยใช้น้ำตาลมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ซูโครส, กลูโคส และฟรุคโตส และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์มาตรฐาน ได้แก่ 1-kestose (GF₂), 1-nistose (GF₃) และ 1-fructofuranosylsucrose (GF₄) เพื่อนำมาใช้ในรูปของสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ซึ่งจะถูกระบุด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ รวมทั้งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ทั้งนี้จะอาศัยกระบวนการทาง Chemometrics ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองต่อไป

นอกจากนี้ยังให้ความสำคัญกับการติดตามการเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพของใยอาหารฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์โซร่ากล้วยตากเพื่อสุขภาพในระหว่างการเก็บรักษา ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้น 75 องศาบริกซ์ และจะเก็บรักษาไว้ที่ 3 สภาวะ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (สภาวะควบคุม), อุณหภูมิ 40 °C , และ 50°C โดยนำวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทุกๆ 4 สัปดาห์ (อุณหภูมิห้อง) และ 2 สัปดาห์ (อุณหภูมิ 40 และ 50°C) เป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยผลิตภัณฑ์ทุกๆ สภาวะจะผ่านการวิเคราะห์เช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐานข้างต้น รวมถึงการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพร่วมด้วย ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, ค่าความเป็นกรดต่าง, ค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในรูปของกรดมาลิก, ปริมาณความชื้น, ค่าออกซิเจนอิสระ, และค่าสี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วย

กล้วยเป็นพืชที่ปลูกมากในเขตร้อน เขตกึ่งร้อนกึ่งอบอุ่น (Izidoro และคณะ, 2007; Pan และคณะ, 2008; Tribess และคณะ, 2009) ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วย โดยทั่วโลกมีกล้วยประมาณ 1000 ชนิด (Waliszewski และคณะ, 2003) และปริมาณผลิตผลทั่วโลกประมาณ 81 ล้านตันต่อปี (Panis และคณะ, 1996) ส่วนใหญ่แล้วผู้บริโภคจะรับประทานกล้วยแบบสด (Guerrero และคณะ, 2005) เพราะกล้วยเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่มีไขมันคอเลสเตอรอล และเกลือแร่ต่ำ (เบญจมาศ, 2538; Tortoe และคณะ, 2009) รวมถึงเป็นแหล่งพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 1 กล้วยจึงเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับบุคคลที่ต้องการควบคุมอาหาร (Aurore และคณะ, 2009)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของผลกล้วยสุก หนัก 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ	หน่วย
น้ำ	75.7	กรัม
พลังงาน	85	แคลอรี
โปรตีน	1.1	กรัม
ไขมัน	0.2	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	22.2	กรัม
ใย	0.8	กรัม
แคลเซียม	8	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.7	มิลลิกรัม
โปแตสเซียม	370	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	33	มิลลิกรัม
วิตามินเอ	190	หน่วยสากล
วิตามิน บี1	0.05	มิลลิกรัม
วิตามิน บี2	0.06	มิลลิกรัม
ไนอะซิน	0.7	มิลลิกรัม
วิตามินซี	10	มิลลิกรัม

ที่มา: เบญจมาศ (2538)

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีการสุกแบบ ไคลแมคเทอริก (climacteric) โดยเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการสุก ซึ่งการสุกจะมีความสัมพันธ์กับก๊าซเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้น (Rouseff และ Leahy, 1993) เมื่อมีการหายใจเพิ่มสูงขึ้นก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อต่างๆ ทำให้เกิดการอ่อนนุ่ม และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในนำไปสู่การเสื่อมสภาพของกล้วย (จริงแท้, 2538; Khalafalla และ Palzkill, 1990) โดยระหว่างการสุกของผลไม้จะมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ซึ่งกรดที่พบในกล้วยได้แก่ กรดมาลิก กรดซิตริก และกรดออกซาลิก (Oscar และคณะ, 1981) โดยกล้วยดิบจะมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 5-5.6 แต่เมื่อกล้วยสุกค่าความเป็นกรดต่างจะลดลงประมาณ 4.2-4.75

นอกจากนี้กล้วยน้ำว้ามีปริมาณวิตามินซีสูง และเมื่อกล้วยมีการสุกเต็มที่ปริมาณวิตามินซีจะค่อยๆ ลดลง (Ratapa และคณะ, 1989)

โดยเมื่อกล้วยสุกสีเขียวที่เปลือกกล้วยจะหายไป และเกิดสีเหลืองขึ้นมาแทน โดยปกติแล้วผลไม้จะมีแคโรทีน (carotene) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) เป็นองค์ประกอบ แต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) บดบังอยู่ แต่ในระหว่างการสุกจะเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ จนกระทั่งคลอโรฟิลล์หมดไป จากนั้นจะปรากฏสีของแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ขึ้นมาแทน ซึ่งชนิดแคโรทีนอยด์ที่พบในกล้วยได้แก่ แอลฟาแคโรทีน (α -carotene), เบต้าแคโรทีน (β -carotene) และลูทีน (lutein) (Goldstein และ Wick, 1969)

ระยะการสุกของกล้วยน้ำว้าสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วย ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ระดับการสุกของกล้วย และกล้วยแต่ละระดับการสุกจะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน โดยมีการแบ่งความสุกของกล้วยตามสีเปลือกเป็น 8 ขั้น ซึ่งเรียกว่าดัชนีสีน้ำตาลของกล้วย (Peel Color Index) (เบญจมาศ, 2538; Zhang และคณะ, 2005)

2.2 ไซรัปกล้วยตาก

ปัจจุบันการผลิตไซรัปที่มีในประเทศไทย จะผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรที่นำมาผ่านกระบวนการเคี้ยวหรือการระเหยน้ำออก (Evaporated syrup) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตไซรัปจากน้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลจาก และไซรัปจากน้ำอ้อย ซึ่งจะเห็นได้ว่าวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นไซรัปมีวัตถุดิบเริ่มต้นเป็นของเหลวแล้วจึงมาผ่านกระบวนการเคี้ยวเพื่อให้ได้เป็นไซรัป ซึ่งผลิตภัณฑ์ไซรัปจะต้องมีองค์ประกอบของของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 65 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นสูง ดังนั้นจึงมีอายุการเก็บรักษานาน ไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ แต่เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นจะเกิดการเสื่อมเสียทางกายภาพ คือ มีสีคล้ำ เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด และเกิดการตกตะกอนเพราะไซรัปจากวัตถุดิบธรรมชาตินั้นมีสารประกอบอื่นๆ นอกจากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ อาทิ เช่น โปรตีน วิตามิน และไขมัน เป็นต้น

กระบวนการผลิตไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

กล้วยตากของวิสาหกิจชุมชนกล้วยตากบุปผา จังหวัดพิษณุโลก โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกล้วยตากบุปผานั้นมีการผลิตไซรัปกล้วยตาก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับกล้วยตากพิษณุโลก โดยผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากมีคุณค่าทางโภชนาการ ดังตารางที่ 2 โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบของคุณค่าทางโภชนาการ และองค์ประกอบของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตาก พบว่า ผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเริ่มต้นนั้นไม่พบองค์ประกอบของสารฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ แต่พบว่ามีปริมาณน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก ซึ่งน้ำตาลซูโครสนั้นเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันประชากรของประเทศไทย ซึ่งก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ซึ่งมีความต้องการอาหารที่ให้คุณประโยชน์แก่ร่างกาย และประชากรผู้สูงอายุมักพบว่ามีปัญหาโรคแทรกซ้อนเป็นส่วนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคเบาหวาน ทำให้ผลิตภัณฑ์นี้มีความสามารถในการตอบโจทย์สถานะสังคมผู้สูงอายุในประเทศไทย เนื่องจากเมื่อผลิต

เป็นไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพแล้วนั้น องค์ประกอบของน้ำตาลทั้งโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่ จะเป็นสารตั้งต้นในการผลิตฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้

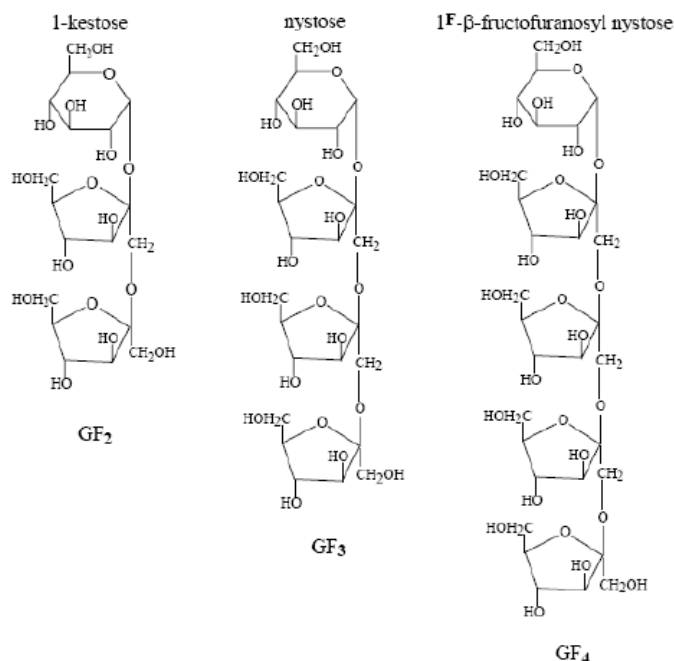
กระบวนการผลิตไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ สามารถผลิตได้โดยนำไซรัปกล้วยตากที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 75 ° Brix สามารถผลิตไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพได้โดยใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L โดยอัตราส่วนของไซรัปต่อเอนไซม์ เท่ากับ 3:1 (v/v) ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง เมื่อทำปฏิกิริยาเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้วนั้น หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาโดยการให้ความร้อนและเป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ โดยพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที ซึ่งผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพนั้น มีฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบร้อยละ 36.45 (w/w) มีค่าความเป็นกรดต่าง pH 4.25

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

องค์ประกอบทางเคมีกายภาพ	ไซรัปกล้วยตาก	หน่วย
ค่า L*	9.89 ± 0.10	-
ค่า a*	-0.81 ± 0.10	-
ค่า b*	3.42 ± 0.50	-
ปริมาณความชื้น	16.75 ± 0.30	ร้อยละ (%)
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี	0.67 ± 0.11	-
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	75.00 ± 1.50	° Brix
ค่าความเป็นกรดต่าง	4.25 ± 0.30	-
ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (มอลิก)	1.99 ± 0.00	ร้อยละ (%)
น้ำตาลกลูโคส	568.86 ± 9.56	g/kg
น้ำตาลฟรุคโตส	563.74 ± 10.08	g/kg
น้ำตาลซูโครส	16.97 ± 2.15	g/kg
น้ำตาลฟรุคโตฟูเรโนซิลนิสโทส	55.45 ± 1.06	g/kg
น้ำตาลนิสโทส	53.82 ± 0.78	g/kg
น้ำตาลเคสโทส	60.56 ± 1.15	g/kg
ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์	169.83 ± 0.95	g/kg

2.3 ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharides: FOS)

ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharides: FOS) คือ โอลิโกแซคคาไรด์ของน้ำตาลฟรุคโตสที่ประกอบด้วยโมเลกุลเดี่ยวของน้ำตาลกลูโคส สามารถผลิตโดยเอนไซม์ฟรุคโตซิลทรานส์เฟอเรส (fructosyltransferase) จากพืชหรือจุลินทรีย์หลายชนิด FOS ประกอบด้วย 1-คีสโตส (GF₂), นีสโตส (GF₃) และ 1-เบต้าฟรุคโตฟูโรโนซิลนีสโตส (GF₄) (Sanchez และคณะ, 2008) ซึ่งมีโครงสร้างแสดงไว้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ GF₂ = เคสโตส, GF₃ = นีสโตส และ GF₄ = ฟรุคโตฟูโรโนซิลนีสโตส
ที่มา: Oku และคณะ (1984)

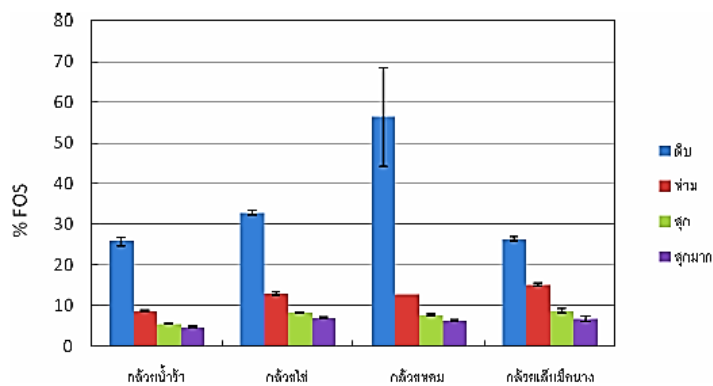
โอลิโกเมอร์ของน้ำตาลฟรุคโตสที่มีโครงสร้างคล้ายกับฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ คือ อินูลิโนโอลิโกแซคคาไรด์ (inulino – oligosaccharides, IOS) ผลิตได้จากการย่อยอินูลิน (inulin) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของฟรุคโตสที่มีขนาดยาวให้สั้นลง ย่อยอินูลินเป็นโพลิเมอร์ของฟรุคโตสที่เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงที่ตำแหน่งบีต้า 2, 1 (β -2,1 linked polyfructan) โดยปลายด้านหนึ่งคือกลูโคสที่เชื่อมต่อกับฟรุคโตส ในลักษณะการเชื่อมของซูโครส มีโครงสร้างเป็น GF_n โดยมีค่าดีกรีโพลิเมอร์ไรเซชัน ตั้งแต่ 10–60 โดยพบในหัวบัวตอง รำเร่ เป็นต้น เมื่อย่อยโพลิเมอร์นี้โดยไฮโดรไลซ์ด้วยกรดหรือเอนโดอินูลิเนสจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้าง GF_n และ F_n ซึ่งมีค่าดีกรีโพลิเมอร์ไรเซชัน ตั้งแต่ 2 – 8 ซึ่งประกอบด้วย GF_n ประมาณร้อยละ 63 และ F_n ประมาณร้อยละ 37 เรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ว่า อินูลิโนโอลิโกแซคคาไรด์ (Salminen และคณะ)

Oku และคณะ (1984) ได้รวบรวมฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ไว้ดังนี้คือ

- ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์มีความหวาน 1 ใน 3 เท่าของน้ำตาลซูโครส

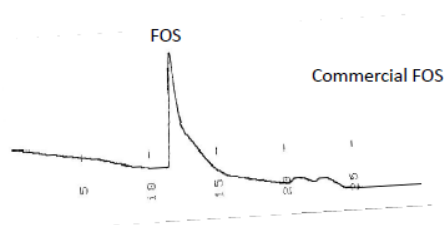
- ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์มีความหนืดมากกว่าน้ำตาลซูโครสที่เข้มข้นเดียวกันเนื่องจากมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าและความเสถียรต่ออุณหภูมิมากกว่าซูโครสด้วย 1- เคสโทส มีค่าจำเพาะการหมุน $[\alpha]_D^{20}$ เท่ากับ 28.5° และอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 199 – 200 องศาเซลเซียส
- ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เกิดเป็นผลึกสีขาวเล็ก ๆ ได้อย่างรวดเร็วและผลึกฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์นั้นดูดความชื้นได้ดี จึงไม่เหมาะที่จะทำให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ผง
- ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์มีความเสถียรในค่า pH ทั่วไปของอาหารคือช่วง pH 4 – 7 ดังนั้นสามารถใช้น้ำตาลฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นส่วนประกอบในอาหารได้และสามารถเก็บ ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ไว้ในห้องเย็นได้เป็นระยะเวลา 1 ปี

ในกล้วยจะมี FOS เป็นองค์ประกอบโดย FOS ที่มีในกล้วยจะขึ้นกับสายพันธุ์ และระดับการสุกของกล้วย สุวัฒน์ (2552) กล่าวว่า จะมีปริมาณ FOS ที่ระดับกล้วยดิบมากที่สุดในกล้วยทุกสายพันธุ์ ดังภาพที่ 2

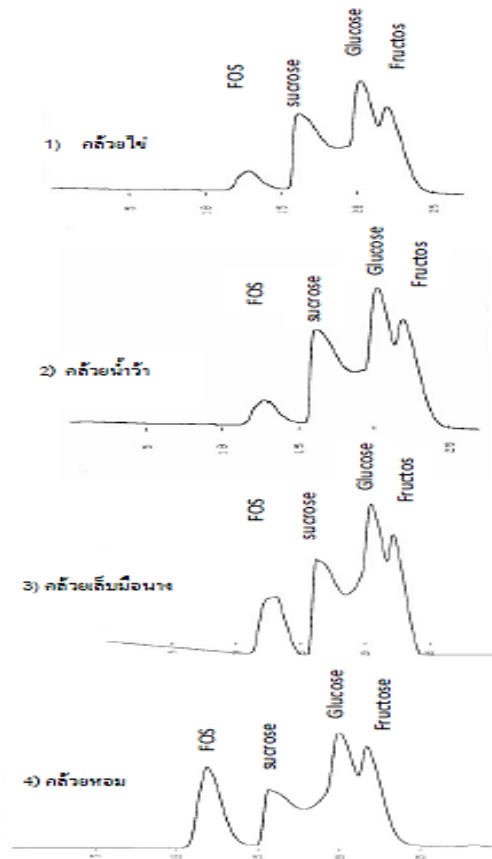


ภาพที่ 2 ปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ในกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหอม และกล้วยเล็บมือนาง

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ที่ได้จากกล้วยกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหอม และกล้วยเล็บมือนาง กับโครมาโตแกรมของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ทางการค้าภายใต้ชื่อ Fibersure บริษัท Metamucil ประเทศเบลเยียม พบว่าจะมีลักษณะที่คล้ายกัน แต่จะมีความแตกต่างกันที่ว่า ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ที่ได้จากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ จะมีพีกของน้ำตาลอื่นๆ มากกว่า ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ทางการค้า ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4



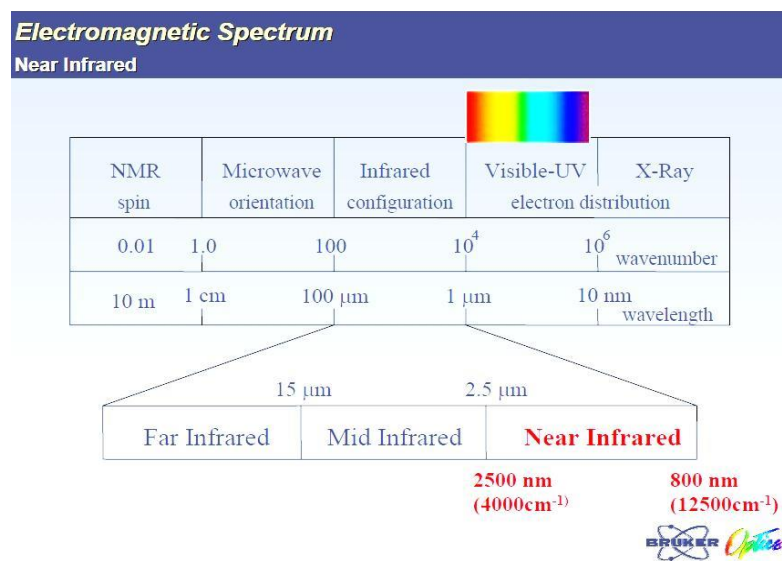
ภาพที่ 3 โครมาโตแกรมของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ทางการค้า
ที่มา: สุวัฒน์ (2552)



ภาพที่ 4 โครมาโตแกรมของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากกล้วยแต่ละชนิด 1)กล้วยไข่ 2)กล้วยน้ำว่า 3)กล้วยหอม และ 4)กล้วยเล็มมือนาง
ที่มา: สุวัฒนา (2552)

2.4 เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near infrared spectroscopy, NIR)

แสงใกล้อินฟราเรด (near infrared) เป็นคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 800 - 2500 นาโนเมตร หรือ ที่เลขคลื่น $12500-4000\text{ cm}^{-1}$ (ภาพที่ 5) โดยมีหลักการดังนี้ คือ เมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ แล้วสารเกิดการดูดกลืนคลื่นแสงความยาวคลื่นในช่วง near infrared ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูง ในการสั่นของพันธะต่างๆจะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละพันธะรวมทั้งตำแหน่งของโมเลกุลและช่วงการดูดกลืนแสงก็เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชันด้วย ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลก็จะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้ ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติ จากเดิมที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะพื้น (ground vibration level) เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะอยู่ในสภาวะกระตุ้น (excited vibration level) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้าไปออกมาในรูปพลังงานความร้อน ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (Absorbance, A) เป็นไปตาม กฎของ เบียร์ - แลมเบิร์ต (Beer-Lambert) พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne และคณะ, 1993)

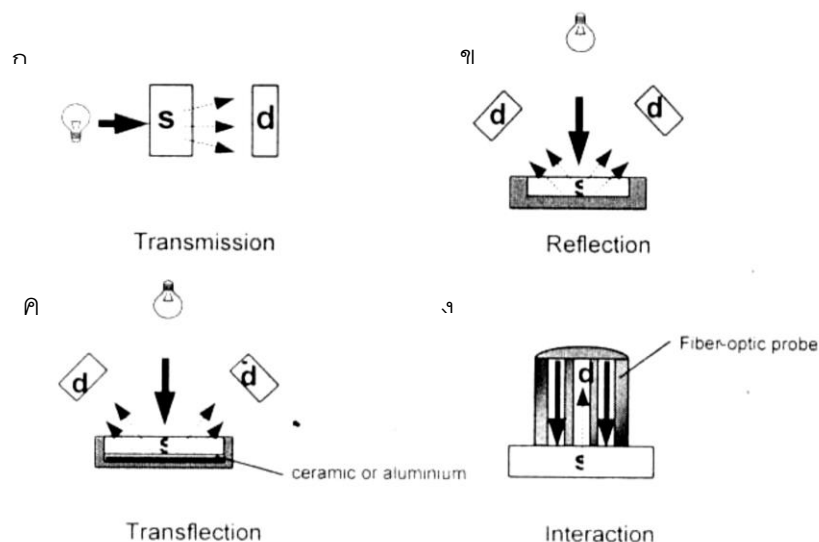


ภาพที่ 5 รังสีอินฟราเรดในแถบ Electromagnetic spectrum
ที่มา: Bruker Optic Korea (2556)

2.4.1 รูปแบบการวัดตัวอย่างด้วย NIR

รูปแบบการให้แสงส่องผ่านตัวอย่างในเครื่อง NIR มีหลายแบบได้แก่เช่น transmission, reflection, transfection และ interaction (ศุมาพร, 2545)

- Transmission แสดงกระทบตัวอย่างด้านหนึ่งโดยที่ detector จะวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาจากตัวอย่างในด้านตรงกันข้าม (ภาพที่ 6 ก) ส่วนมากจะใช้กับตัวอย่างที่เป็นของเหลวที่แสงสามารถส่องผ่านได้
- Reflection แสงจะตกกระทบที่ผิวของตัวอย่าง และอาจแพร่กระจายในปริมาณหนึ่งก่อนแล้ววัดปริมาณแสงสะท้อนกลับออกมาโดย detector (ภาพที่ 6 ข) ใช้กับตัวอย่างที่เป็นของแข็ง
- Transfection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่างและส่องผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบวัตถุที่ไม่ดูดกลืนแสง (แผ่นเซรามิก, ทอง หรืออลูมิเนียม) ที่อยู่ด้านหลังตัวอย่างแล้วเกิดการสะท้อนกลับมายัง detector (ภาพที่ 6 ค)
- Interaction กระบวนการนี้เกิดในกรณีที่ใช้หัววัดใยแก้วนำแสง (fiber optics probe) แสงจะออกมาจากส่วนวงแหวนด้านนอกของหัววัดมาตกกระทบตัวอย่าง และแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างจะถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลางของใยแก้วนำแสง (ภาพที่ 6 ง)



ภาพที่ 6 การวัดสเปกตรัมจากตัวอย่างในรูปแบบต่างๆ
ที่มา: ศุมาพร (2545)

การแปลงหรือการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม (Spectrum pretreatment)

การแปลงข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR เพื่อลดอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ เช่น ความชื้น การบรรจุ และ อุณหภูมิของตัวอย่าง เป็นต้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้สเปกตรัมมีความแตกต่างกัน ส่งผลต่อสมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำในการทำนายลดลง (Bokobza, 1998) ดังนั้นการแปลงข้อมูลสเปกตรัมโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ถือเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้ขั้นตอนการสร้างสมการทำนายมีความแม่นยำมากขึ้น วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการแปลงข้อมูลสเปกตรัมได้แก่

1. วิธีอนุพันธ์ (derivative) เป็นการหาความชันของสเปกตรัม เพื่อแก้ปัญหาฟีกที่มีฐานกว้าง (broad peak) เนื่องจากการซ้อนทับกันของฟีก (overlapping) และอิทธิพลจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัม (base line shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattering light) เมื่อแสงตกกระทบที่ตัวอย่างทำให้แสงเปลี่ยนทิศทาง ซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ การอัดตัวและการกระจายตัวของตัวอย่างภายในเซลล์บรรจุที่แตกต่างกัน รวมทั้งความชื้นภายในตัวอย่างที่แตกต่างกันด้วย (William และ Norris, 2001) โดยการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 1 สามารถลดปัญหาการเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ของค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมตลอดช่วงความยาวคลื่นตามแกน Y ทำให้เส้นสเปกตรัมเลือนมาชิดกัน แต่ฟีกของสเปกตรัมยังมีรากฐานกว้าง จึงไม่สามารถแยกฟีกออกจากกันอย่างชัดเจนได้อีกทั้งวิธีอนุพันธ์อันดับ 1 ให้ความหมายเป็นค่าความชันของเส้นสเปกตรัมแต่ละความยาวคลื่นซึ่งทำให้แปลความหมายได้ยาก แต่การแปลงข้อมูลด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 2 (second derivative) สามารถลดผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมมีขนาดเพิ่มขึ้นตลอดช่วงความยาวคลื่นตามแกน Y ที่ชัดเจนกว่าอนุพันธ์อันดับที่ 1 และแยกฟีกสเปกตรัมที่มีการซ้อนทับกันออกจากกันได้อย่างชัดเจน ทำให้ทราบตำแหน่งความยาวคลื่น แต่สเปกตรัมมีลักษณะหัวกลับลงมาด้านล่าง (Osborne และคณะ, 1993) ดังนั้น การคำนวณการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 2 จึงเป็นที่นิยมมากกว่าวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1 โดยการเพิ่มอันดับของอนุพันธ์สูงขึ้น ก็จะได้สเปกตรัมที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นข้อมูลที่ตีในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ แต่การทำอนุพันธ์ที่สูงเกินไป ทำให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณวัดกับสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio) ลดลง เนื่องจากแถบสัญญาณรบกวนมักมีรูปร่างแคบชัน ดังนั้นเมื่อแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยอนุพันธ์สเปกตรัมที่ได้ของสัญญาณรบกวน จึงมีแอมพลิจูด (amplitude) เด่นชัดมากยิ่งขึ้นจนสามารถรบกวนการวิเคราะห์ได้ (ธีรศักดิ์ และวนิดา, 2550)

2. การปรับแก้การกระเจิงแบบพหุคูณ (multiplicative scatter correction, MSC) เป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัม เพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงของแสงที่เกิดจากสาเหตุที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยการปรับเส้นสเปกตรัมทุกเส้นให้หมุนเข้าใกล้เส้นสเปกตรัมเฉลี่ยมากที่สุด ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการลดค่าผิดพลาด (Barnes และคณะ, 1989) ใช้ NIR แบบวัดการสะท้อนกลับของแสง เพื่อหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดพืช โดยแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี MSC พบว่า มีค่าผิดพลาดของสมการต่ำกว่าสมการของสเปกตรัมดั้งเดิม (original spectrum)

3. วิธีปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (standard normal variate, SNV) เส้นสเปกตรัมที่ได้จะเกิดได้จากการกระเจิงแสงของตัวอย่าง ซึ่งแต่ละเส้นสเปกตรัมมีการกระเจิงแสงที่แตกต่างกันเนื่องจากการกระทบกับองค์ประกอบภายในของตัวอย่างที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การกระเจิงแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง ขนาดอนุภาค การกระจายตัวของอนุภาค และดัชนีหักเหของตัวอย่าง ดังนั้นตลอดช่วงของเส้นสเปกตรัมจึงเกิดการกระเจิงแสงไม่เท่ากัน โดยเส้นสเปกตรัมที่ได้รับผลกระทบจากการกระเจิงแสงจะมีการเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง มีการหมุนของเส้นสเปกตรัม ซึ่งวิธีการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมใช้วิธีปรับความแปรปรวนจะให้ผลลัพธ์คล้ายคลึงกับการปรับแก้การกระเจิงแบบพหุคูณ

4. การปรับค่าเป็นมาตรฐาน (Normalization) เป็นวิธีที่นำมาใช้กำจัดความแปรปรวนของเส้นสเปกตรัม โดยนำค่าดูดกลืนแสงอ้างอิงหรืออาจเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดมาลบออกจากค่าการดูดกลืนแสงในเส้นสเปกตรัมเดียวกันที่มีความยาวคลื่นต่างๆ หรืออาจนำค่าการดูดกลืนแสงอ้างอิงมาหารค่าการดูดกลืนแสงที่แต่ละความยาวคลื่น

วิธีการแปลงข้อมูลสเปกตรัมที่ดีที่สุดก็คือ วิธีที่ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้สมการทำนายที่มีความสามารถในการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างได้ใกล้เคียงที่สุด อย่างไรก็ตามไม่มีกฎตายตัวแน่นอนสำหรับแน่นอนสำหรับการตัดสินใจเลือกวิธีที่จะใช้ในการแปลงข้อมูล วิธีที่ดีที่สุด คือการลองผิดลองถูกในการทดลองใช้แต่ละวิธีจนกว่าจะได้สมการทำนายที่แม่นยำสุด โดยต้องเข้าใจความหมายและคำนึงถึงข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีให้ชัดเจน (Hruschka, 2001)

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของสมการทำนาย โดยพิจารณาจากค่า R และ R^2

R	R^2	ประสิทธิภาพของสมการทำนาย
± 0.5	0.25	ไม่ควรใช้ในการทำนาย
$\pm 0.51-0.70$	0.26-0.49	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ
$\pm 0.71-0.80$	0.50-0.64	สามารถใช้คัดเลือกเบื้องต้นได้
$\pm 0.81-0.90$	0.65-0.81	สามารถใช้ในการคัดเลือกหรือประมาณค่าเบื้องต้น
$\pm 0.91-0.95$	0.82-0.90	สามารถใช้ตรวจสอบคุณภาพได้
$\pm 0.96-0.98$	0.92-0.96	สามารถใช้ในงานประกันคุณภาพ
± 0.99 ขึ้นไป	± 0.98 ขึ้นไป	สามารถใช้ได้กับทุกงาน

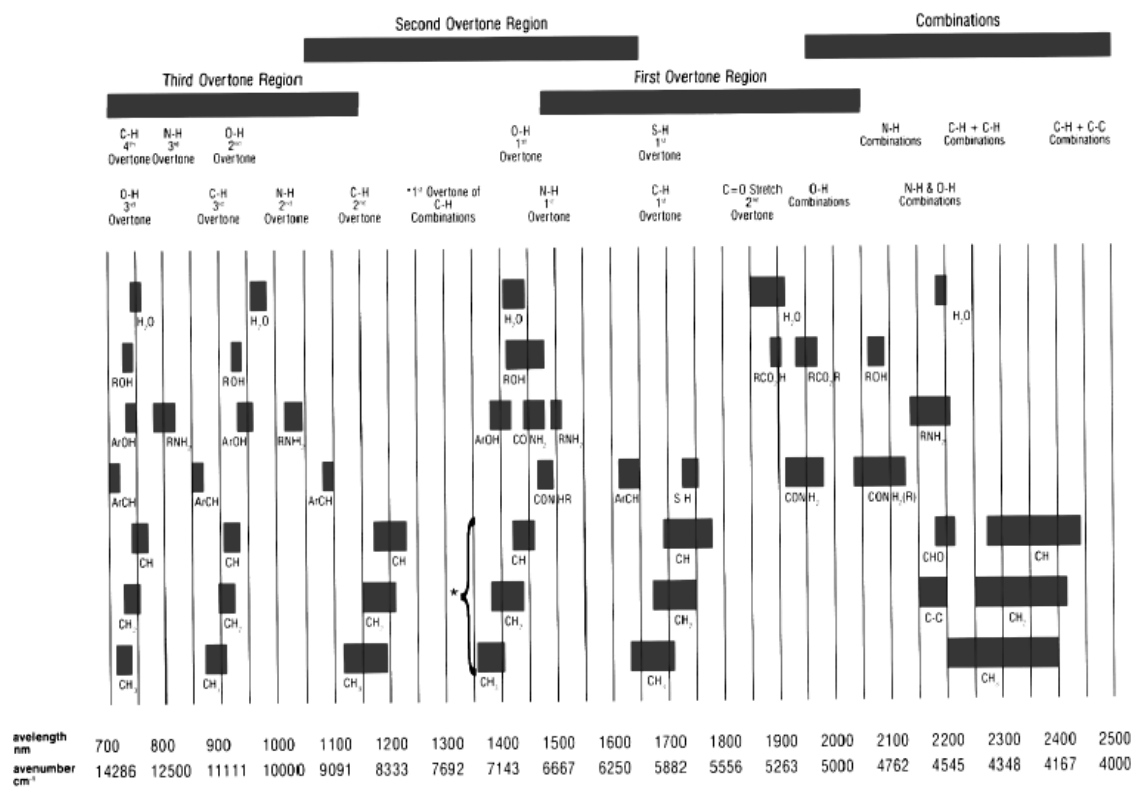
ตารางที่ 4 ตำแหน่งพีกในแถบสเปกตรัม NIR ที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบต่างๆ ในผลผลิต

Wavelength (nm)	Bond vibration	Structure
1440	O-H str. 1st overtone	sucrose, starch
1450	O-H str. 1st overtone	starch, H ₂ O
1528	O-H str.1st overtone (intramol. H-bond)	starch
1540	O-H str.1st overtone (intramol. H-bond)	starch, glucose
1580	O-H str.1st overtone (intramol. H-bond)	starch
1900	O-H str. _ 2xC-O str. Combination	starch
1930	O-H str. + H-O-H def. combination	starch, cellulose
1940	O-H bend 2nd overtone	H ₂ O
1960	O-H str. + O-H bend combination	starch
2000	2x O-H def. + C-O def. combination	starch
2080	O-H str. + O-H def. combination	ROH, sucrose, starch
2100	2xO-H str. + 2xC-O str. Combination	starch
	C-O-O asym.str.3rd overtone	starch, cellulose
2252	O-H str. + C-C str. combination	starch
2276	O-H str. + O-H dif. combination	starch
2323	C-H str. + C-H def. combination	CH ₂ , starch
2461	C-H str. + C-C str. combination	starch
2488	C-H str. + C-C str. combination	starch, cellulose
2500	C-H str. + C-C str. combination	starch

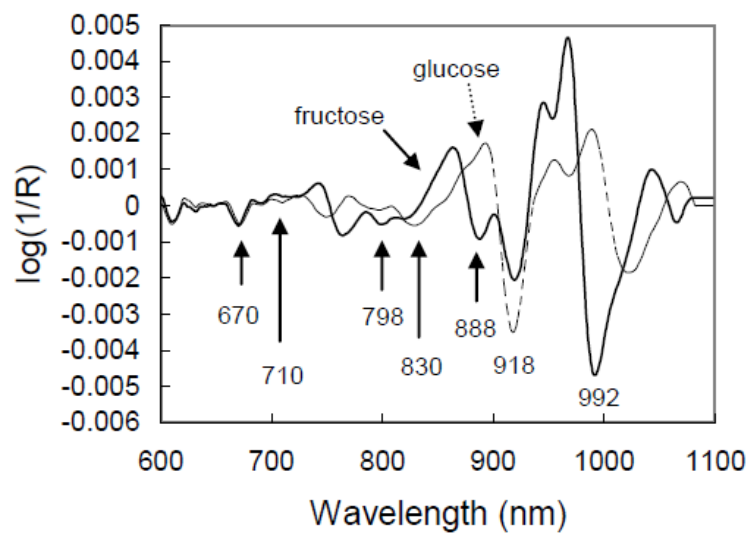
ที่มา: Osborne และคณะ (1993) และ Williams และ Norris (2001)

str. = stretch def. = deformation sym. = symmetric asym. = asymmetric

*amideI: C=O stretch. Amide II: N-H in-plane bend, C-N stretch. Amide III: C-N stretch, N-H in-plane bend



ภาพที่ 7 ความยาวคลื่นที่สะท้อนขององค์ประกอบอินทรีย์ ของเครื่อง NIR



ภาพที่ 8 ความยาวคลื่นที่เกิดฟลักของฟรุกโตสและกลูโคส
ที่มา: Chen และคณะ (2010)

2.4.2 ประโยชน์ที่ได้รับและข้อจำกัดของเครื่อง NIR

(Osborne และคณะ, 1993) กล่าวว่า เครื่องมือแต่ละประเภทต่างก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน แต่เครื่อง NIR มีประโยชน์และข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทางเคมีหรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น

2.4.2.1 ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง เนื่องจากบางตัวอย่างการบดให้มีขนาดเล็กก็อาจทำให้การทดลองเกิดการคลาดเคลื่อน เช่น ขนมอบเคี้ยวมีองค์ประกอบของไขมันสูงซึ่งจะมีปัญหาจากการบดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กและความคลาดเคลื่อนจากการสุมตัวอย่าง แต่ในการวัดด้วยเครื่อง NIR ไม่ต้องการเตรียมตัวอย่าง ถึงแม้จะมีการเตรียมตัวอย่างแต่ก็ไม่ยุ่งยากขึ้นอยู่กัลักษณะของตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ วิธีการเตรียมตัวอย่าง เช่น การตัด การคั้น การบด เป็นต้น (ศุมาพร, 2545)

2.4.2.2 มีความรวดเร็วในการวัดค่า

2.4.2.3 ได้ผลการตรวจสอบที่แม่นยำและแน่นอน ซึ่งขึ้นอยู่กับสมการที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทำนายค่าคุณภาพ รวมทั้งสามารถควบคุมการผลิตได้อย่างใกล้ชิด เริ่มตั้งแต่วัตถุดิบขณะทำการผลิต รวมถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ออกมาให้มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด

2.4.2.4 การตรวจสอบเป็นวิธีแบบไม่ทำลาย ทำให้ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบสามารถนำไปจำหน่าย ส่งออกหรือบริโภคได้

2.4.2.5 ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมทำให้ลดต้นทุนในการดูแลรักษาสภาพแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทางเคมี

2.4.2.6 สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากในการปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ หรือต้องได้รับการฝึกฝนโดยเฉพาะ สามารถปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานได้ทันที

2.4.3 ข้อจำกัดการวัดค่าด้วยเครื่อง NIR

2.4.3.1 ข้อมูลการสะท้อนกลับของแสงขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่าง รูปร่าง การบรรจุ และความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่าง เนื่องจากถ้าตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะแตกต่างกันส่งผลให้ความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ค่าต่ำลง รวมทั้งการสุมตัวอย่างที่ไม่ครอบคลุมและความชื้นที่สูงสูญเสียไประหว่างการเตรียมตัวอย่างก็มีผลต่อความแม่นยำที่ได้เช่นกัน

2.4.3.2 การรบกวนอันเนื่องมาจากกลุ่มไฮดรอกซิล (O-H) หรือมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความชื้นภายในตัวอย่างดังนั้นในการตรวจสอบต้องมีการควบคุมความชื้น ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่าง เช่น ตัวอย่างที่มีคุณสมบัติไม่ดูดความชื้น หรือมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นยาก การควบคุมความชื้นจึงไม่จำเป็น แต่ถ้าตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสูงต้องหาภาชนะที่ปิดมิดชิดเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความชื้นตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้สเปกตรัมที่ได้แตกต่างไปจากเดิมด้วย

2.4.3.3 การตรวจสอบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการวิเคราะห์ ถึงแม้ว่าตัวอย่างเดียวกันทำการวัดที่อุณหภูมิต่างก็อาจทำให้สเปกตรัมที่ได้แตกต่างกัน ผลการทดสอบที่ได้จะเกิดการเบี่ยงเบน เนื่องจากสเปกตรัมย่านใกล้อินฟราเรดของน้ำค่อนข้างมากการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิต่างๆ ตัวอย่างที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจึงต้องควบคุมอุณหภูมิเป็นพิเศษ รวมทั้งต้องคำนึงถึงอุณหภูมิที่ใช้วัดตัวอย่างจริง เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อความแม่นยำที่ได้

2.4.3.4 ค่าใช้จ่ายเครื่องสเปกโตรสโกปีมีราคาแพง ทั้งตัวเครื่อง NIR และอุปกรณ์ประกอบ เนื่องจากอุปกรณ์ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับงานแต่ละประเภท

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

ผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากจากวิสาหกิจชุมชนกล้วยตากบุปผา อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก จะนำมาผ่านกระบวนการทางด้านชีวภาพ เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในให้มีองค์ประกอบของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ โดยอาศัยความร่วมมือจากผู้วิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ (ผศ.ดร.ประมุข ภาระกุลสุขสถิตย์ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) ในการจัดเตรียมผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยมีความเข้มข้น 75 องศาบริกซ์

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 กลูโคสมาตรฐาน (Sigma Aldrich) (Steinheim, Germany)
- 3.2.2 ฟรุกโตสมาตรฐาน (Sigma Aldrich) (Steinheim, Germany)
- 3.2.3 ซูโครสมาตรฐาน (Sigma Aldrich) (Steinheim, Germany)
- 3.2.4 เคสโทสมาตรฐาน (Wako Pure Chemical Industries) (Osaka, Japan)
- 3.2.5 นีสโทสมาตรฐาน (Wako Pure Chemical Industries) (Osaka, Japan)
- 3.2.6 ฟรุกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน (Wako Pure Chemical Industries) (Osaka, Japan)
- 3.2.7 น้ำกลั่น HPLC grade
- 3.2.8 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) (Merck, Germany)
- 3.2.9 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) (Merck, Germany)
- 3.2.10 ฟีนอล์ฟธาเลอิน (phenolphthalein) (Labchem, USA)
- 3.2.11 กรดมาลิกมาตรฐาน (malic acid)

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.3.1 กระดาษกรองเบอร์ 4 ขนาด 110 mm (Whatman, UK)
- 3.3.2 NIR sample cell สำหรับวัดตัวอย่างของเหลว มี path length 0.2 mm
- 3.3.3 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์อินฟราเรดย่านใกล้ (Near-infrared spectrophotometer)
- 3.3.4 เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC)
- 3.3.5 เครื่องวัดความหนืด (Brookfield)
- 3.3.6 เครื่องผสมแบบวอร์เท็กซ์ (vortex mixer)
- 3.3.7 ตู้บดรวม (Blender)
- 3.3.8 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด Hand refractometer
- 3.3.9 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
- 3.3.10 เครื่องวัดความชื้น Karl Fisher Titration (รุ่น 758 KFD Titrino, , Switzerland)
- 3.3.11 เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลาย (Decagon Aqualab 4TE, WA, USA)

3.3.12 เครื่องวัดสี (Hunter lab) (MiniScan, Hunter Lab, Virginia, USA)

3.3.13 คอลัมน์ Carbohydrate column-Rezex (Phenomenex, USA)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การพัฒนากระบวนการติดตามและตรวจวัด การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของชนิด ปริมาณ และคุณลักษณะที่สำคัญของใยอาหารฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ โดยเปรียบเทียบกับเทคนิคตรวจวัดแบบ HPLC

3.4.1.1 ตัวอย่างน้ำตาลและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์มาตรฐาน

น้ำตาลมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ซูโครส, กลูโคส และฟรุคโตส จากบริษัท Sigma Aldrich (Steinheim, Germany) และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์มาตรฐาน ได้แก่ 1-เคสโทส (GF2), 1-นีสโทส (GF3) และ 1-ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส (GF4) จากบริษัท Wako Pure Chemical Industries (Osaka, Japan)

ตัวอย่างน้ำตาลและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์มาตรฐาน ($n = 60$) ที่ใช้จะนำมาใช้ในรูปแบบของสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ สารละลายฟรุคโตสและซูโครสมาตรฐานความเข้มข้น ร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 (w/v) สารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น ร้อยละ 14, 16, 18 และ 20 (w/v) สารละลายเคสโทสมาตรฐานความเข้มข้น ร้อยละ 5, 6 และ 7 (w/v) และสารละลายนีสโทสมาตรฐานและสารละลายฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน ความเข้มข้น ร้อยละ 4, 5, และ 6 (w/v) โดยมีน้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย โดยการสอบเทียบมาตรฐานนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่เป็นสารละลายมาตรฐานเดี่ยว (ไม่มีการผสมระหว่างกัน) ที่มีความเข้มข้นต่างๆ และกลุ่มที่เป็นสารละลายมาตรฐานผสม 2 รูปแบบ คือ ผสมสารละลาย 2 ชนิดเข้าด้วยกัน และผสมสารละลาย 3 ชนิดเข้าด้วยกัน ซึ่งจะทำให้ได้รูปแบบของการสอบเทียบมาตรฐานที่หลากหลายและครอบคลุมมากที่สุดสำหรับนำไปใช้ในการตรวจติดตามในผลิตภัณฑ์ต่อไป

3.4.1.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

สารละลายตัวอย่างมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้นและระดับการผสมต่างๆ จะนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ โดยใช้เครื่อง NIR ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ทั้งในส่วนของการ Transflectance โดยจะนำสารมาตรฐาน 1 mm ซึ่งเป็นของเหลวใสใน quartz cuvette ทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 1200-2500 นาโนเมตร ตัวอย่างจะถูกแสง 32 ครั้ง อุณหภูมิของสารมาตรฐาน 25 °C ซึ่งตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์จะถูกเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR ในแต่ละรูปแบบการวิเคราะห์ ตลอดจนการศึกษาระยะห่าง (distance) ที่ระยะต่างๆ ที่อาจส่งผลต่อข้อมูลที่วัดค่าได้ โดยสารละลายตัวอย่างมาตรฐานทั้งหมดนี้จะนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC; Shimadzu, Japan) ร่วมด้วยเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ตามวิธีการมาตรฐานต่อไป โดยใช้คอลัมน์ Carbohydrate column-Rezex (Phenomenex, USA) ตรวจจับด้วย RI detector โดยใช้ น้ำเป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ควบคุมอัตราการไหลเป็น 0.4 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิ oven 80°C ทำการฉีดตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร ทั้งนี้สารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจะถูกนำมาเจือจาง 20 เท่า หลังจากนั้นนำไปกรองผ่านตัวกรองที่มีขนาด 0.45 ไมโครเมตร (micrometer) ก่อนจะฉีดวิเคราะห์ โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ 30 นาที (ประมุข, 2554)

3.4.2 การติดตามการเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพของใยอาหารฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพในระหว่างการเก็บรักษา ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

3.4.2.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

ผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากจากวิสาหกิจชุมชนกล้วยตากบุปผา อ.บางกระพุ่ม จ. พิษณุโลก จะนำมาผ่านกระบวนการทางด้านชีวภาพ เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในให้มีองค์ประกอบของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ โดยอาศัยความร่วมมือจากผู้วิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ (ผศ.ดร. ประมุข ภาระกุลสุขสถิตย์ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) ในการจัดเตรียมผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยมีความเข้มข้น 75 องศาบริกซ์ ซึ่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จะนำมาเก็บรักษาไว้ที่ 3 สภาวะ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (สภาวะควบคุม) , อุณหภูมิ 40 °C และ 50 °C โดยนำวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทุกๆ 4 สัปดาห์ สำหรับสภาวะอุณหภูมิห้อง และทุกๆ 2 สัปดาห์ สำหรับสภาวะเร่ง (อุณหภูมิ 40 และ 50 °C) เป็นระยะเวลา 6 เดือน

3.4.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

ผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน จำนวน 100 ตัวอย่าง เจือจางตัวอย่าง 20 เท่า โดยในเบื้องต้นจำเป็นต้องอาศัยการทดสอบเพื่อหาสภาวะความเข้มข้นที่เหมาะสมก่อนกับเครื่อง NIR ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ทั้งในส่วนของการ Transflectance โดยจะนำสารมาตรฐาน 1 mm ซึ่งเป็นของเหลวใส่ใน quartz cuvette ทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 1200-2500 นาโนเมตร ตัวอย่างจะถูกแสง 32 ครั้ง อุณหภูมิของสารมาตรฐาน 25 °C (Rambla และคณะ, 1997) ซึ่งตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์จะถูกเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR รวมถึงสภาวะของการวัดต่างๆ ทั้งนี้จะอาศัยข้อมูลการวิเคราะห์จากเครื่อง HPLC ร่วมด้วยเพื่อเป็นการสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้เทียบกับวิธีการมาตรฐาน

3.4.2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี-กายภาพ

3.1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid) ด้วยดัชนีหักเห (Hand refractometer) (AOAC, 1995) รายงานหน่วยเป็นองศาบริกซ์ (° Brix)

3.1.2 ค่าความเป็นกรดต่าง ด้วยเครื่อง pH meter (AOAC, 1995)

3.1.3 ค่าปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (Titratable Acidity) โดยการไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งมี pH 8.1 รายงานผลในรูปกรดมาลิก (AOAC, 1995)

3.1.4 ปริมาณความชื้น Karl Fisher Titration (รุ่น 758 KFD Titrino, , Switzerland)

3.1.5 ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ (Decagon Aqualab 4TE, WA, USA)

3.1.6 ค่าสี ในระบบ CIE L*a*b* ด้วยเครื่อง Hunter lab และรายงานในรูปของความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) (MiniScan, Hunter Lab, Virginia, USA)

3.1.7 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ได้แก่ นีสโทส เคสโทส และฟรุคโตเรโนซิลนีสโทส ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC; Shimadzu, Japan) ใช้คอลัมน์ Carbohydrate column-Rezex RNM (Phenomenex, USA) ในการวัดน้ำตาลตรวจจับด้วย RI detector โดยมีเฟส

เคลื่อนที่น้ำ (mobile phase) ควบคุมอัตราการไหล 0.4 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิ oven 80 °C ฉีดตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร โดยก่อนการฉีดวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างที่นำมาฉีดวิเคราะห์จะถูกเจือจางลงหลังจากการทำปฏิกิริยา 20 เท่า หลังจากนั้นกรองตัวอย่างผ่านตัวกรองเมมเบรนที่มีขนาด 0.45 ไมโครเมตร ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ 30 นาที สามารถระบุชนิดของน้ำตาลโดยการเปรียบเทียบ retention time กับสารน้ำตาลมาตรฐาน และคำนวณหาปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดจากกราฟมาตรฐาน ที่ได้จากการวิเคราะห์ HPLC ซึ่งคำนวณโดยวิธี Serial dilution

3.4.3 การสร้างสมการทำนายองค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตาก

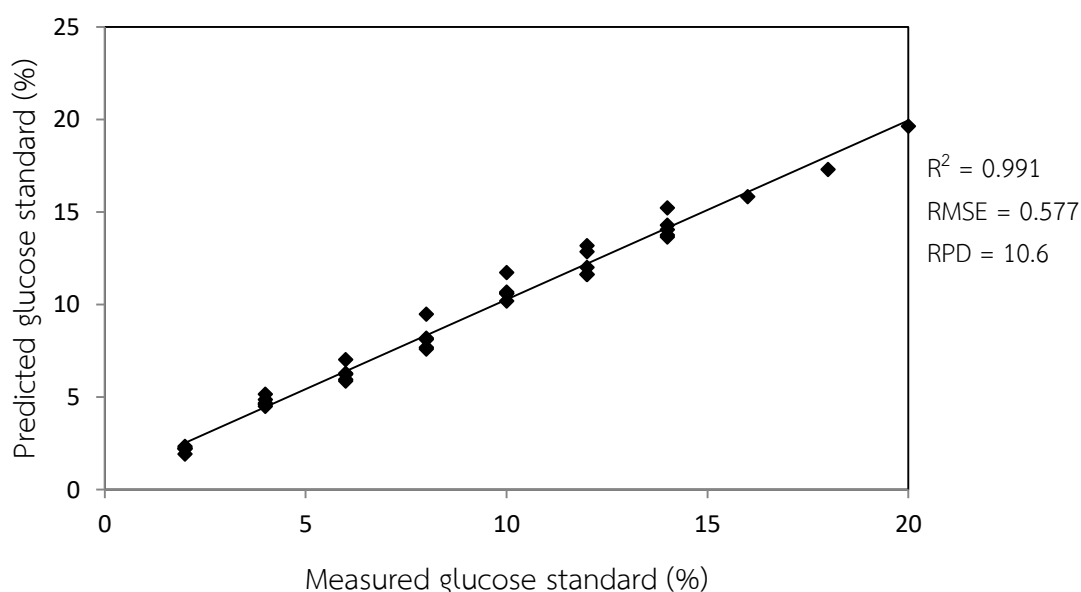
ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้ในข้อ 3.4.2.2 ถูกนำไปปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ (pretreatment) เพื่อลดผลกระทบจากการกระเจิงแสงที่แตกต่างกันของไซรัปกล้วยตากและเพิ่มความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลที่ได้ โดยทำทั้งหมด 7 วิธี ได้แก่ vector normalization (SNV), multiple scattering correction (MSC), first derivative (1D), second derivative (2D), first derivative กับ vector normalization (1+SNV), first derivative กับ multiple scattering correction (1+MSC) และเทคนิคไม่ปรับแต่งสเปกตรัม (no pretreatment) จากนั้นแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มข้อมูลสเปกตรัมที่ใช้สำหรับสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มข้อมูลสเปกตรัมที่ใช้ตรวจสอบสมการ (validation set) และแบ่งกลูในอัตราส่วน 2:1 (calibration set : validation set) โดยในกลุ่ม calibration set จะมีข้อมูลทางเคมีที่ต่ำสุดและสูงสุด เนื่องจากใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นตัวแทนของประชากรในการสร้างสมการเพื่อใช้ทำนายตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ เพื่อให้ครอบคลุมตัวอย่าง โดยการสร้างสมการของค่าทางเคมีของฟรุกโตสโกลิโกแซคคาร์ไรด์นไซรัปกล้วยตากและข้อมูลสเปกตรัมอาศัยเทคนิค partial least square regression (PLS) ด้วยโปรแกรม OPUS version 7.2 และสำหรับเทคนิคที่ใช้พิจารณาการปรับแต่งสเปกตรัมสำหรับงานวิจัยนี้ จะเลือกพิจารณาสมการที่ให้ค่า standard error of prediction (SEP) ต่ำ และให้ค่า coefficients of determination (R^2) สูง

บทที่ 4

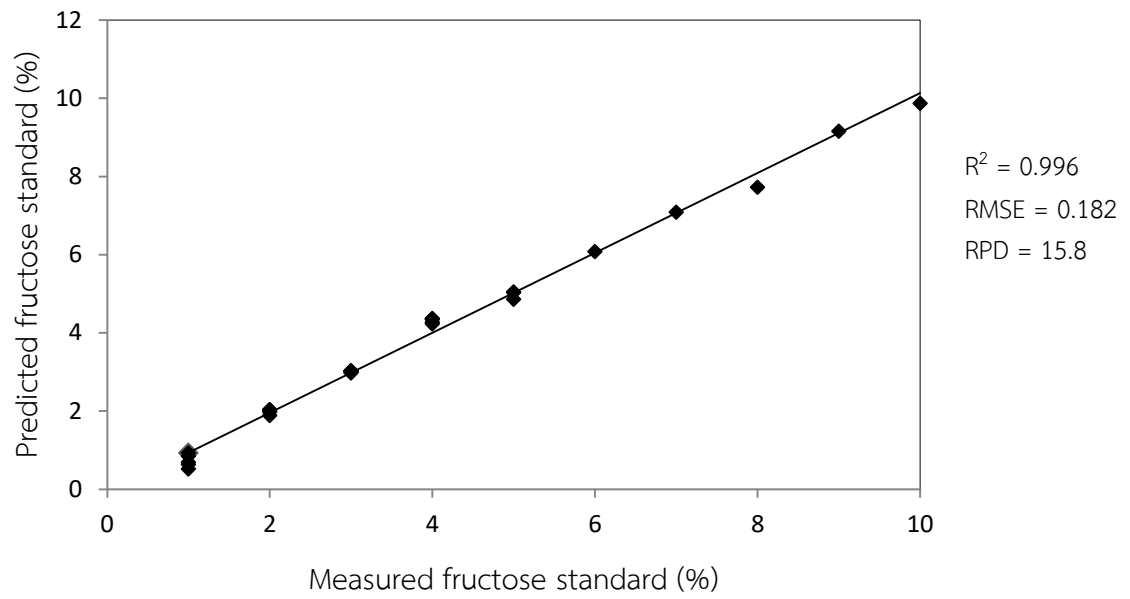
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในการวิเคราะห์สารมาตรฐาน

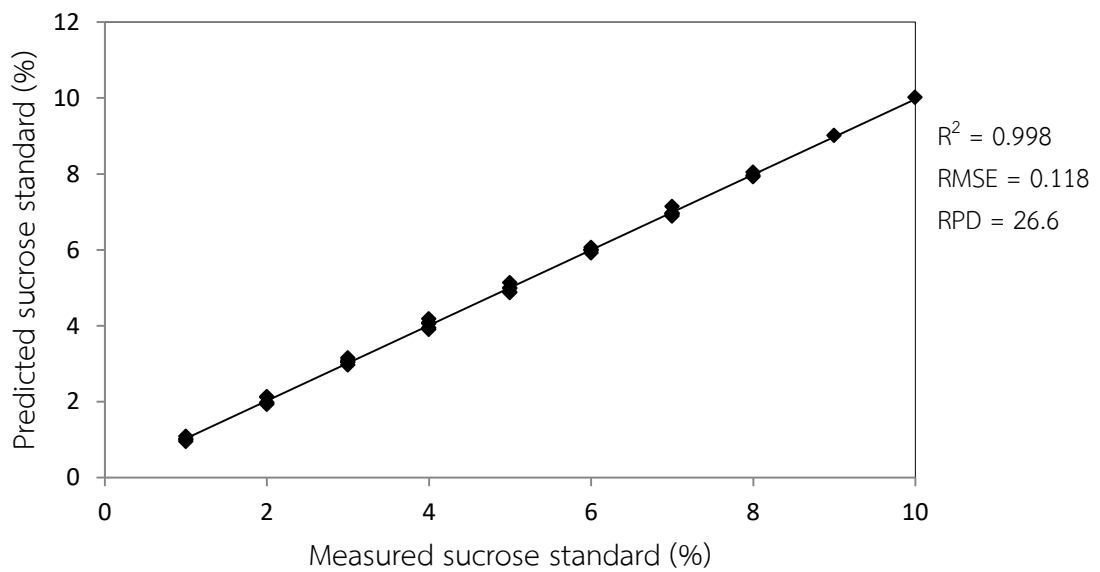
เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตากด้วยเครื่อง HPLC แล้วพบว่า ไซรัปกล้วยตากมีองค์ประกอบของน้ำตาลทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลซูโครส น้ำตาลเคสโทส น้ำตาลนิสโทส และน้ำตาลฟรุกโตฟูเรโนซิลนิสโทส ดังนั้นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตาก จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวิเคราะห์สารมาตรฐานของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของไซรัปกล้วยตาก โดยการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของสารละลายซูโครส สารละลายกลูโคส สารละลายฟรุกโตส สารละลายนิสโทส สารละลายเคสโทส และสารละลายฟรุกโตฟูเรโนซิลนิสโทส ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ พบว่า เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถวิเคราะห์ ดังภาพที่ 9-12 ซึ่งจากผลการทดลองสมการของกราฟมาตรฐานมีค่า R^2 สูง มากกว่าร้อยละ 97 และมีค่า RPD สูง แสดงว่าเครื่อง NIR สามารถวิเคราะห์น้ำตาลมาตรฐานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าเครื่อง NIR มีความสามารถในการวิเคราะห์ตัวอย่างไซรัปกล้วยตากซึ่งมีฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ



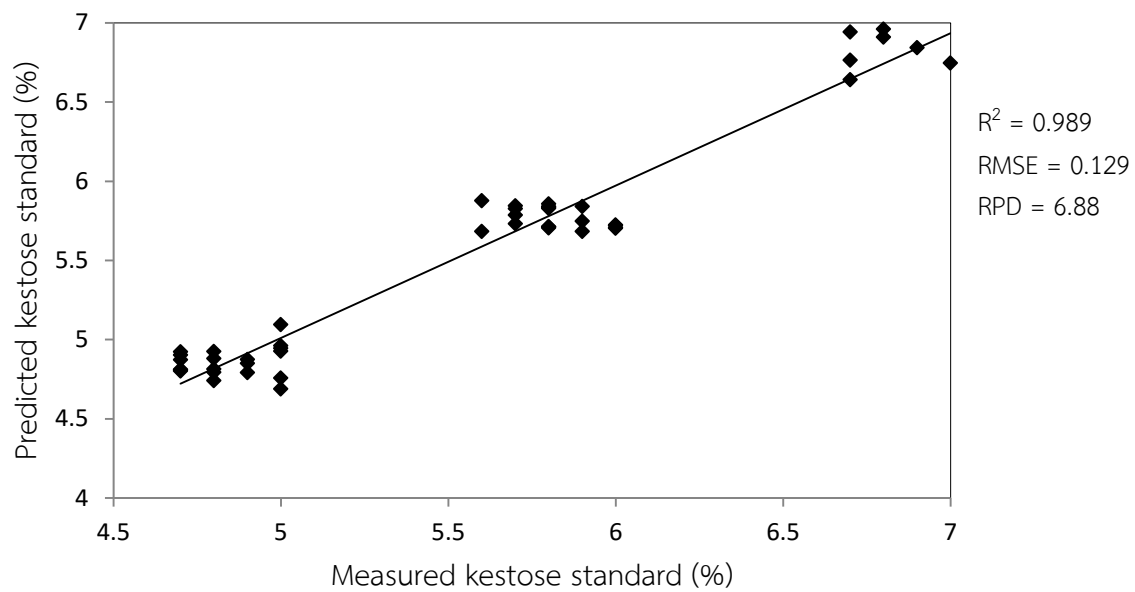
ภาพที่ 9 สมการมาตรฐานของกลูโคสมาตรฐาน



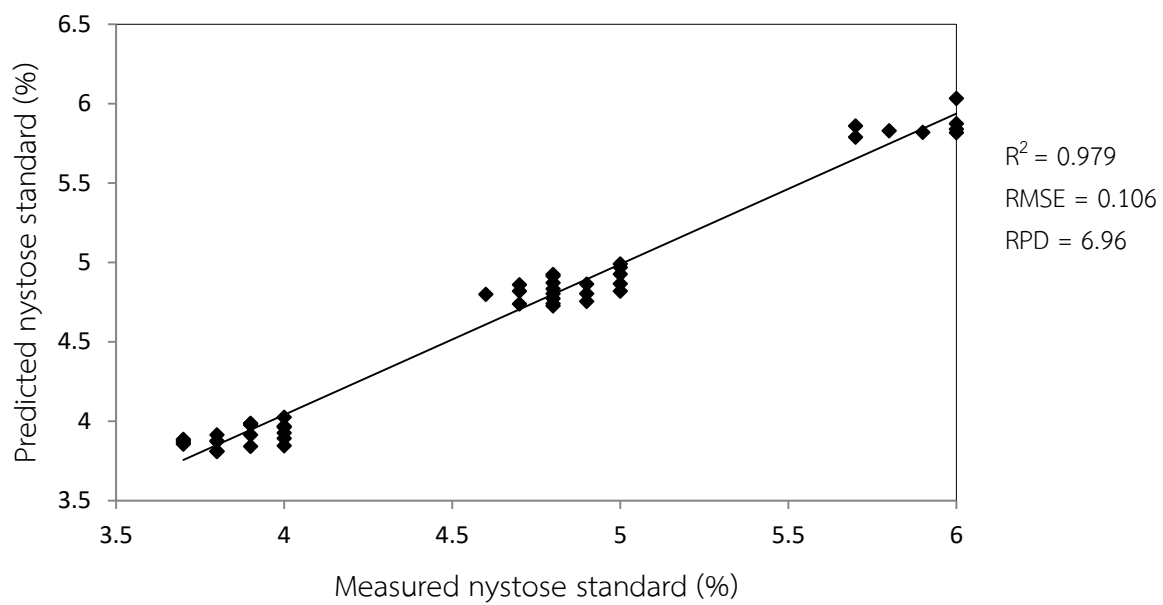
ภาพที่ 10 สมการมาตรฐานของฟรุคโตสมาตรฐาน



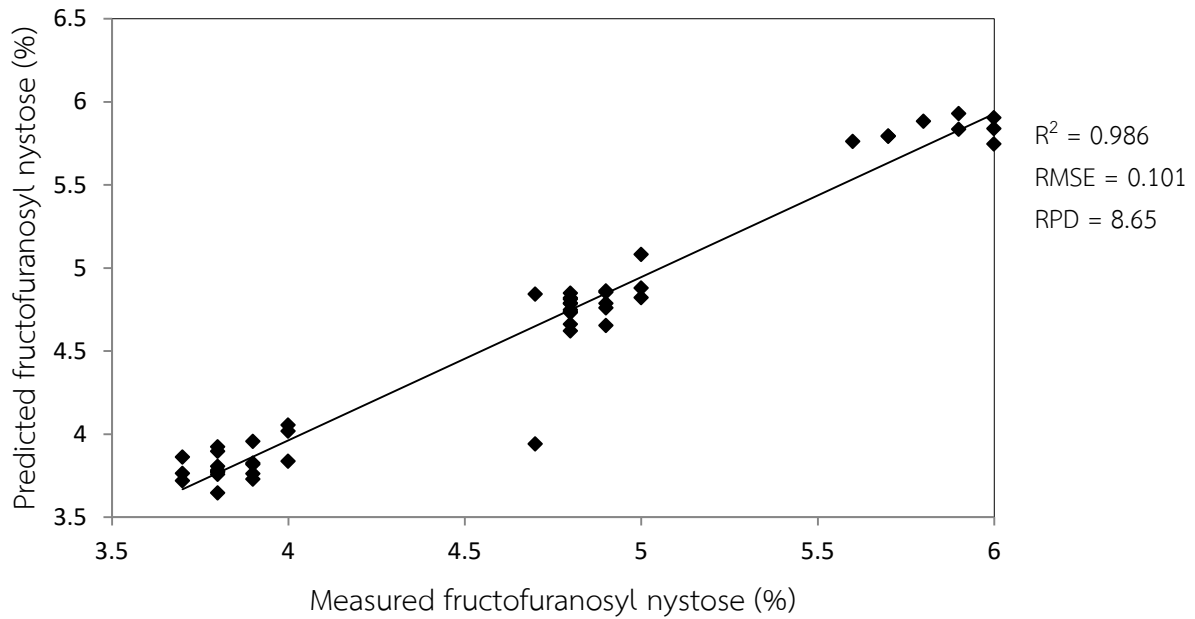
ภาพที่ 11 สมการมาตรฐานของซูโครสมาตรฐาน



ภาพที่ 12 สมการมาตรฐานของเคสโทสมมาตรฐาน

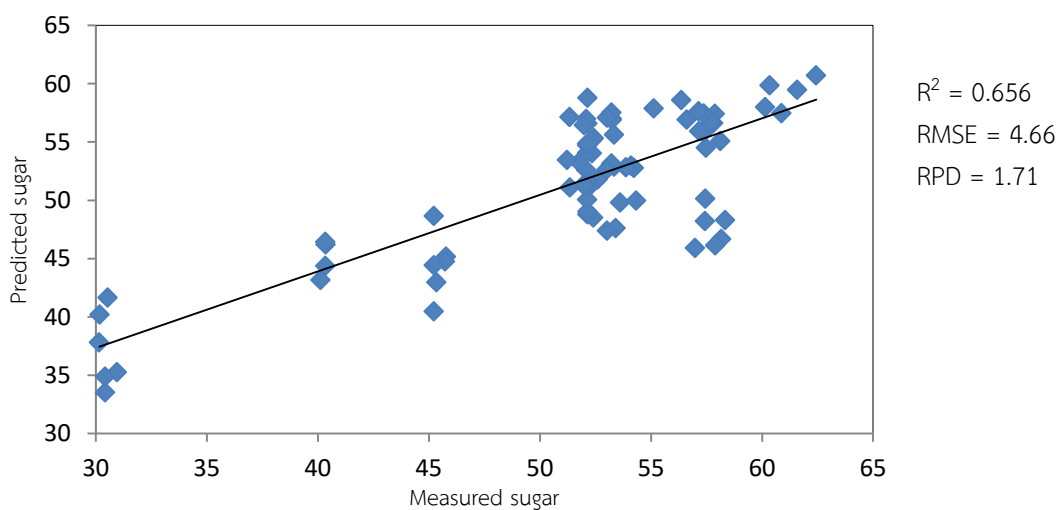


ภาพที่ 13 สมการมาตรฐานของนิสโทสมมาตรฐาน



ภาพที่ 14 สมการมาตรฐานของฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทสมมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์สารมาตรฐานด้วยเทคนิค NIR โดยเป็นการวิเคราะห์แบบสารมาตรฐานเดี่ยว โดยที่มึ่น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ซึ่งพบว่าเทคนิค NIR มีความสามารถในการวิเคราะห์ปริมาณของสารมาตรฐานกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส เคสโทส นีสโทส และฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส โดยมีความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์สูงที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ผสมสารมาตรฐานเพื่อจำลองสถานะของไซรัปกล้วยตาก และทดสอบด้วยเทคนิค NIR ซึ่งผลการทดลอง พบว่า เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างจำลองที่มีการผสมสัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิด เทคนิค NIR นั้นสามารถวิเคราะห์ปริมาณขององค์ประกอบน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในสารละลายผสมได้ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.656 ซึ่งสามารถใช้ในการคัดเลือกหรือประมาณค่าเบื้องต้นได้ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 สมการมาตรฐานของสารละลายผสม

4.2 การติดตามการเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพของใยอาหารฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพในระหว่างการเก็บรักษา ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

4.2.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตาก

เนื่องจากกล้วยตากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิต และจำหน่ายมากในท้องตลาด เนื่องจากกล้วยสามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ทั่วทุกภูมิภาคของภูมิประเทศ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กล้วยตากมีราคาขายต่ำ มีวัตถุดิบที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์กล้วยตาก จากการศึกษาไซรัปกล้วยตากเบื้องต้น พบว่าไซรัปกล้วยตากที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้จะมีลักษณะสีเหลืองเข้มจนถึงน้ำตาลแดง ซึ่งมีความสว่าง L^* เท่ากับ 9.89 ± 0.10 ค่าความเป็นสีแดง-เขียว a^* เท่ากับ -0.81 ± 0.10 และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน เท่ากับ b^* 3.42 ± 0.50 ไซรัปกล้วยตากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวมีปริมาณความชื้นร้อยละ 16.75 ± 0.30 และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี ประมาณ 0.67 ± 0.11 จากการศึกษาพบว่าไซรัปกล้วยตากมีค่าวอเตอร์วอเตอร์แอกติวิตีปริมาณต่ำ เนื่องจากไซรัปกล้วยตากประกอบด้วยของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดในระดับความเข้มข้น $75.00 \pm 1.50^\circ$ Brix ซึ่งมีปริมาณมาก จากการศึกษาไซรัปกล้วยตากมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก จากการศึกษางานวิจัยของ ประมุข (2554) พบว่า กระบวนการผลิตฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่เหมาะสม สามารถผลิตฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์โดยใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L อัตราส่วนของไซรัปกล้วยตากต่อเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L เป็น 3:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง ซึ่งหลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากที่มีฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์มาวิเคราะห์หาปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ วิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC ได้ของปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์และชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ นอกจากนี้ไซรัปกล้วยตากที่ไซรัปกล้วยตากมีความเป็นกรดต่าง 4.25 ± 0.30 และปริมาณกรดที่ไคเตรทได้ (มาลิก) ร้อยละ 1.99 ดังตาราง ที่ 8 ซึ่งฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้นั้น เกิดจากการทำปฏิกิริยาของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไซรัปเริ่มต้น โดยมีเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของกลูโคส และฟรุคโตส ได้เป็น ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

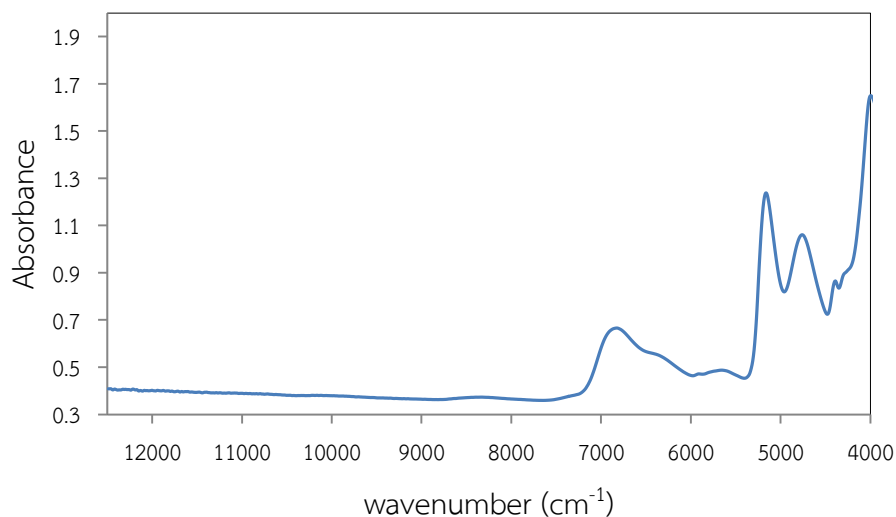
ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

องค์ประกอบทางเคมี	ไซรัปกล้วยตาก	หน่วย
ค่า L*	9.89 ± 0.10	-
ค่า a*	-0.81 ± 0.10	-
ค่า b*	3.42 ± 0.50	-
ปริมาณความชื้น	16.75 ± 0.30	ร้อยละ (%)
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี	0.67 ± 0.11	-
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	75.00 ± 1.50	° Brix
ค่าความเป็นกรดต่าง	4.25 ± 0.30	-
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (มิลลิกรัม)	1.99 ± 0.00	ร้อยละ (%)
น้ำตาลกลูโคส	186.15 ± 2.58	g/kg
น้ำตาลฟรุกโตส	57.45 ± 0.45	g/kg
น้ำตาลซูโครส	52.45 ± 1.23	g/kg
น้ำตาลฟรุกโตฟูแรโนซิลนิสโทส	55.45 ± 1.06	g/kg
น้ำตาลนิสโทส	53.82 ± 0.78	g/kg
น้ำตาลเคสโทส	60.56 ± 1.15	g/kg
ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์	169.83 ± 0.95	g/kg

จากผลการทดลองของสารละลายผสมแล้วสามารถใช้เทคนิค NIR ในการประมาณค่าองค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตาก ซึ่งในไซรัปกล้วยตากนั้นมีองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลายและมีองค์ประกอบของน้ำตาลชนิดเดียวกันกับสารละลายผสม นอกจากนี้พบว่าปริมาณของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่พบในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพนั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณรวมของน้ำตาลเคสโทส น้ำตาลนิสโทส และน้ำตาลฟรุกโตฟูแรโนซิลนิสโทส ซึ่งน้ำตาลทั้งสามชนิดนี้ เป็นน้ำตาลหน่วยย่อยของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่พบในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

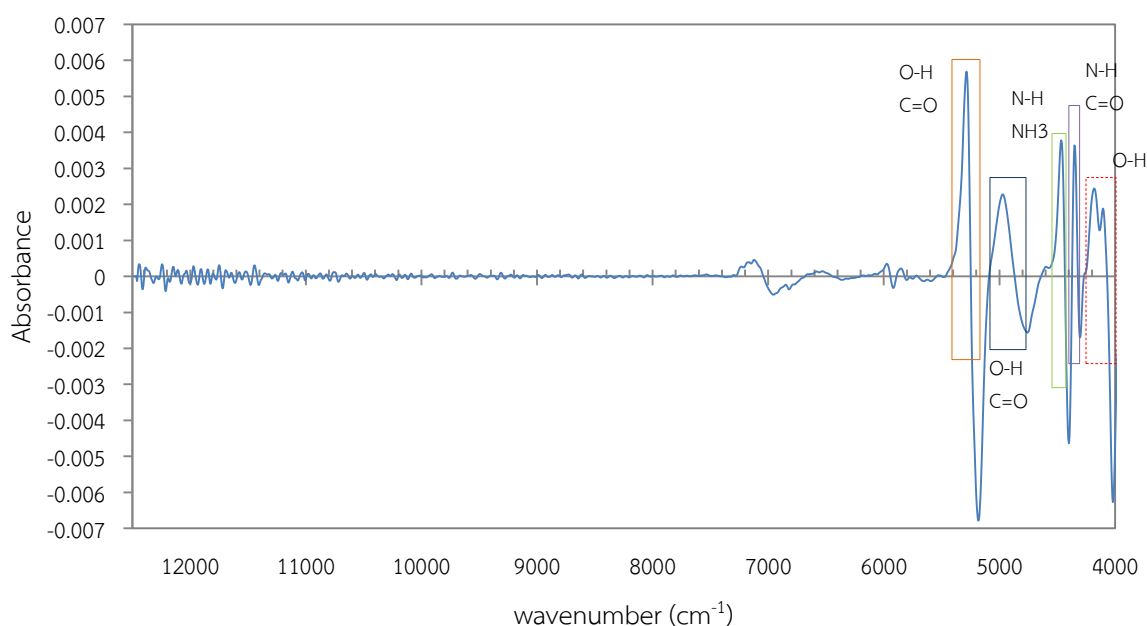
4.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

ผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน จำนวน 100 ตัวอย่าง เจือจาง 20 เท่า โดยในเบื้องต้นจำเป็นต้องอาศัยการทดสอบเพื่อหาสภาวะความเข้มข้นที่เหมาะสมก่อนกับเครื่อง NIR ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ทั้งในส่วนของการ Transflectance โดยจะนำสารมาตรฐาน 1 mm ซึ่งเป็นของเหลวใสใน quartz cuvette ทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 1200-2500 นาโนเมตร ตัวอย่างจะถูกแสง 32 ครั้ง อุณหภูมิของสารมาตรฐาน 25 °C (Rambla และคณะ, 1997) ซึ่งตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์จะถูกเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NIR รวมถึงสภาวะของการวัดต่างๆ ซึ่งเส้นสเปกตรัมของไซรัปกล้วยตาก แสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 เส้นสเปกตรัมของไช้ปกล้วยตากจากเทคนิค NIR

เมื่อได้เส้นสเปกตรัมเริ่มต้นของไช้ปกล้วยตากมาดั่งข้างต้นแล้วนั้น ก็นำมาปรับแต่งเส้นสเปกตรัมด้วยวิธี second derivative (2D) เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลและปรับเส้นสเปกตรัมให้สามารถเห็นช่วงการดูดกลืนแสงของไช้ปกล้วยตากได้ชัดเจนมากขึ้น ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 เส้นสเปกตรัมหลังการปรับแต่งด้วยเทคนิค second derivative (2D) ของไช้ปกล้วยตาก

จากภาพที่ 17 พบว่าเกิดการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่น 4200 cm^{-1} (2380 nm) ดูดกลืนพันธะ O-H second overtone ของโครงสร้างแอลกอฮอล์ เลขคลื่น 4350 cm^{-1} (2280 nm) ดูดกลืนพันธะ C-H ของโครงสร้าง CH_3 เลขคลื่น 4600 cm^{-1} (2242 nm) ดูดกลืนพันธะ N-H และ NH_3 ของโครงสร้างกรดอะมิโน เลขคลื่น 5000 cm^{-1} (2000 nm) ดูดกลืนพันธะ O-H และ C=O ของโครงสร้างสตาร์ช ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของไช้ปกล้วยตากที่เป็นน้ำตาล ซึ่ง

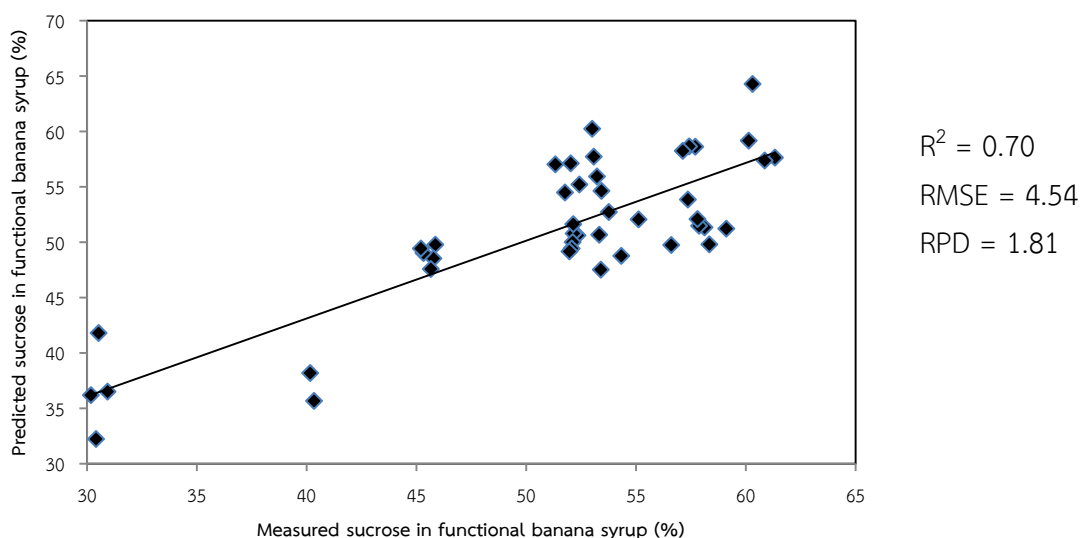
มีพันธะ O-H และ C=O สามารถดูดกลืนแสงในช่วงนี้เช่นกัน และเลขคลื่น 5250 cm^{-1} (1900 nm) ดูดกลืนพันธะ O-H และ C=O ของโครงสร้างสตาร์ช

เนื่องจากเส้นสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR นั้น สามารถวิเคราะห์ได้โดยอาศัยหลักการการดูดกลืนแสงในช่วงเลขคลื่น $12500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ โดยการดูดกลืนของพันธะที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่างกัน พันธะที่ถูกดูดกลืนนั้นแตกต่างกันด้วย แล้วเลขคลื่นดังกล่าวสามารถอนุมานโครงสร้างทางเคมีของพันธะที่ถูกดูดกลืน และนำไปสัมพันธ์กับตัวอย่างไซรัปกล้วยตากได้ดังข้างต้นที่กล่าวมาแล้วนั้น

ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากการวัด NIR อาจมีสัญญาณรบกวน (noise) มีการเกิดการกระเจิงแสงเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์ของตัวอย่างไซรัปกล้วยตาก ส่งผลให้เกิด baseline shift และ tangent effect ดังนั้นเพื่อให้สมการมีความถูกต้องแม่นยำน่าเชื่อถือจึงจำเป็นต้องทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมด 6 เทคนิค คือ first derivative (1D), second derivative (2D), vector normalization (SNV), multiplicative scattering correlation (MSC), first derivative กับ vector normalization (1D+SNV) และ first derivative กับ multiplicative scattering correlation (1D+MSC) รวมทั้งเทคนิคที่ไม่ผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม (raw) โดยเทคนิค SNV และ เทคนิค MSC สามารถลดอิทธิพลการกระเจิงแสงของอนุภาคของตัวอย่าง เทคนิค 1D สามารถแก้ปัญหาข้อมูลสเปกตรัมเพิ่มคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น (baseline offset) และ เทคนิค 2D ลดผลกระทบการกระเจิงแสง ทั้งที่เป็นผลเชิงบวก (additive effect) และผลเชิงคูณ (multiplicative effect) ข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยเทคนิคแตกต่างกัน 6 เทคนิค ถูกนำมาสร้างสมการโดยใช้เทคนิค PLS

4.2.3 สมการทำนายปริมาณน้ำตาลซูโครสของไซรัปกล้วยตาก

สมการทำนายปริมาณน้ำตาลซูโครสที่สร้างด้วยเทคนิค PLS จากข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วย 6 เทคนิค ของตัวอย่างไซรัปกล้วยตากจำนวน 120 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการ 80 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมการจำนวน 40 ตัวอย่าง มีค่าสถิติ ดังตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาสมการทำนายของข้อมูลสเปกตรัมที่ไม่ผ่านการปรับแต่งและผ่านการปรับแต่งจาก 6 เทคนิค พบว่า การปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิค SNV ก่อนการวิเคราะห์ ให้ค่า R^2 สูงสุด เท่ากับ 0.70 ซึ่งสามารถทำนายนี้มีความสามารถสำหรับประมาณค่าตัวอย่างเบื้องต้น



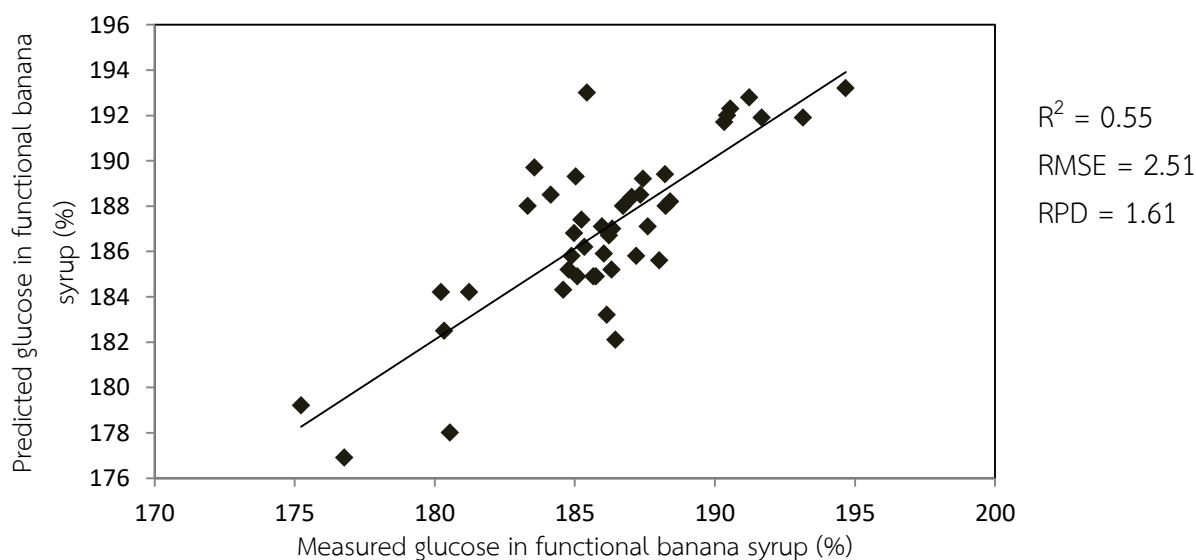
ภาพที่ 18 สมการทำนายปริมาณซูโครสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR

ตารางที่ 6 ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลซูโครสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เทคนิค	Calibration			Validation			
	R^2	SEC	RPD	R^2	SEP	RPD	Bias
Raw	0.597	5.01	1.57	0.726	4.65	1.94	-0.76
1D	0.617	4.95	1.62	0.711	4.77	1.89	-0.85
2D	0.645	4.70	1.68	0.716	4.74	1.90	-0.710
SNV	0.702	4.54	1.81	0.734	4.58	1.95	-0.58
MSC	0.598	4.97	1.58	0.734	4.58	1.97	-0.82
1D+SNV	0.627	4.82	1.64	0.734	4.59	1.94	-0.33
1D+MSC	0.619	4.90	1.62	0.723	4.68	1.93	-0.81

4.2.4 สมการทำนายปริมาณน้ำตาลกลูโคสของไซรัปกล้วยตาก

สมการทำนายปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่สร้างด้วยเทคนิค PLS จากข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วย 6 เทคนิค ของตัวอย่างไซรัปกล้วยตากจำนวน 120 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการ 80 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมการจำนวน 40 ตัวอย่าง มีค่าสถิติ ดังตารางที่ 7 เมื่อพิจารณาสมการทำนายของข้อมูลสเปกตรัมที่ไม่ผ่านการปรับแต่งและผ่านการปรับแต่งจาก 6 เทคนิค พบว่า การปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิค 1D+SNV ก่อนการวิเคราะห์ ให้ค่า R^2 สูงสุด เท่ากับ 0.55 ซึ่งสมการทำนายนี้มีความสามารถสำหรับคัดเลือกตัวอย่างเบื้องต้น



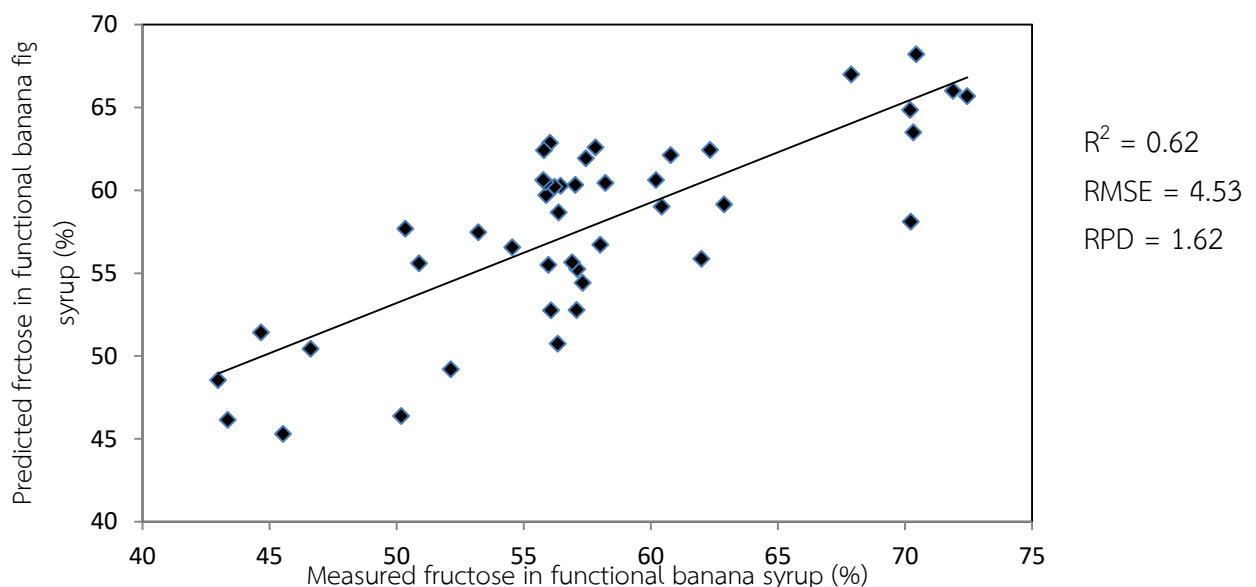
ภาพที่ 19 สมการทำนายปริมาณกลูโคสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR

ตารางที่ 7 ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลกลูโคสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เทคนิค	Calibration			Validation			
	R ²	SEC	RPD	R ²	SEP	RPD	Bias
Raw	0.223	5.25	1.13	0.475	2.96	1.45	-0.89
1D	0.234	5.14	1.14	0.336	3.33	1.45	-1.79
2D	0.200	5.26	1.12	0.362	3.27	1.27	-0.56
SNV	0.226	5.17	1.14	0.499	2.90	1.55	-1.19
MSC	0.225	5.17	1.14	0.499	2.89	1.55	-1.19
1D+SNV	0.550	2.51	1.61	0.647	1.75	1.69	-1.31
1D+MSC	0.440	4.42	1.34	0.547	2.75	1.69	-1.31

4.2.5 สมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสของไซรัปกล้วยตาก

สมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสที่สร้างด้วยเทคนิค PLS จากข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วย 6 เทคนิค ของตัวอย่างไซรัปกล้วยตากจำนวน 120 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการ 80 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมการจำนวน 40 ตัวอย่าง มีค่าสถิติ ดังตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาสมการทำนายของข้อมูลสเปกตรัมที่ไม่ผ่านการปรับแต่งและผ่านการปรับแต่งจาก 6 เทคนิค พบว่า การปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิค SNV ก่อนการวิเคราะห์ ให้ค่า R² สูงสุด เท่ากับ 0.62 ซึ่งสมการทำนายนี้มีความสามารถสำหรับคัดเลือกตัวอย่างเบื้องต้น



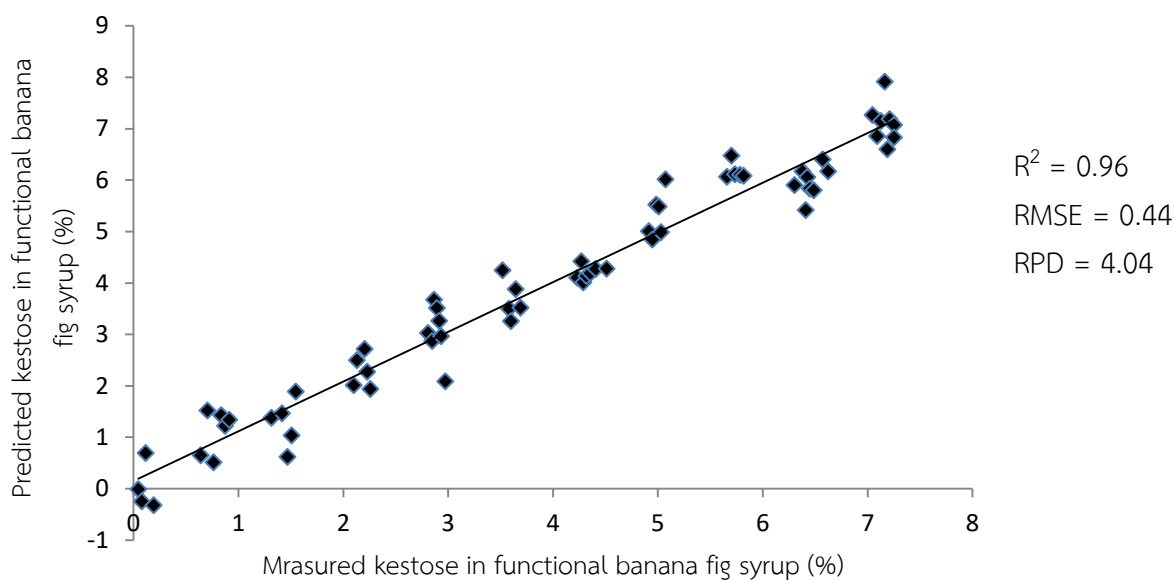
ภาพที่ 20 สมการทำนายปริมาณฟรุคโตสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR

ตารางที่ 8 ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เทคนิค	Calibration			Validation			
	R^2	SEC	RPD	R^2	SEP	RPD	Bias
Raw	0.439	5.22	1.34	0.611	5.20	1.61	0.27
1D	0.323	5.66	1.22	0.551	5.58	1.49	-0.31
2D	0.434	5.21	1.33	0.583	5.38	1.55	-0.02
SNV	0.621	4.53	1.62	0.688	4.65	1.79	0.32
MSC	0.306	5.73	1.20	0.573	5.45	1.53	-0.27
1D+SNV	0.463	5.04	1.36	0.595	5.30	1.57	0.17
1D+MSC	0.504	4.85	1.42	0.592	5.32	1.57	0.44

4.2.6 สมการทำนายปริมาณน้ำตาลเคสโทสของไซรัปกล้วยตาก

สมการทำนายปริมาณน้ำตาลเคสโทสที่สร้างด้วยเทคนิค PLS จากข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วย 6 เทคนิค ของตัวอย่างไซรัปกล้วยตากจำนวน 120 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการ 80 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมการจำนวน 40 ตัวอย่าง มีค่าสถิติ ดังตารางที่ 9 เมื่อพิจารณาสมการทำนายของข้อมูลสเปกตรัมที่ไม่ผ่านการปรับแต่งและผ่านการปรับแต่งจาก 6 เทคนิค พบว่า การปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิค MSC ก่อนการวิเคราะห์ ให้ค่า R^2 สูงสุด เท่ากับ 0.96 ซึ่งสามารถทำนายปริมาณน้ำตาลเคสโทสในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพได้



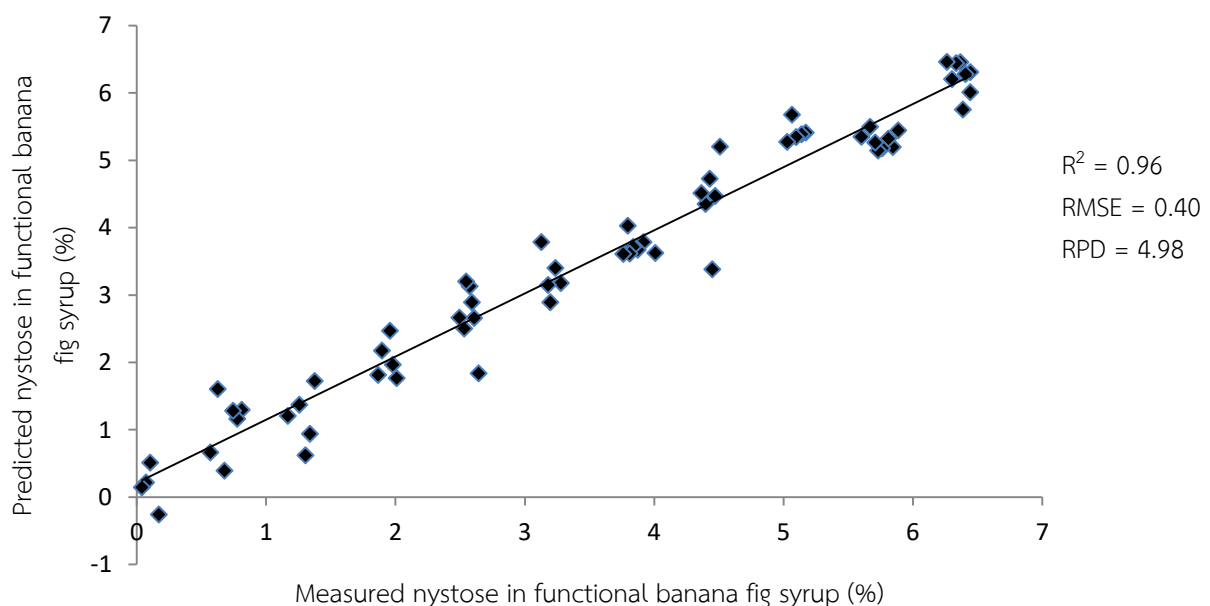
ภาพที่ 21 สมการทำนายปริมาณเคสโทสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR

ตารางที่ 9 ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลเคสโทสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เทคนิค	Calibration			Validation			
	R^2	SEC	RPD	R^2	SEP	RPD	Bias
Raw	0.703	3.57	1.84	0.541	4.58	1.48	0.01
1D	0.535	4.37	1.47	0.436	5.08	1.33	-0.30
2D	0.471	4.66	1.38	0.480	4.87	1.43	-1.17
SNV	0.599	4.03	1.58	0.556	4.50	1.50	0.16
MSC	0.964	0.44	4.04	0.957	0.61	1.52	0.31
1D+SNV	0.643	3.86	1.67	0.540	4.58	1.47	0.06
1D+MSC	0.622	4.00	1.63	0.514	4.71	1.44	0.08

4.2.7 สมการทำนายปริมาณน้ำตาลเคสโทสของไซรัปกล้วยตาก

สมการทำนายปริมาณน้ำตาลเคสโทสที่สร้างด้วยเทคนิค PLS จากข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแก้ด้วย 6 เทคนิค ของตัวอย่างไซรัปกล้วยตากจำนวน 120 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการ 80 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมการจำนวน 40 ตัวอย่าง มีค่าสถิติ ดังตารางที่ 10 เมื่อพิจารณาสมการทำนายของข้อมูลสเปกตรัมที่ไม่ผ่านการปรับแก้และผ่านการปรับแก้จาก 6 เทคนิค พบว่า การปรับแก้ข้อมูลด้วยเทคนิค 1D+MSC ก่อนการวิเคราะห์ให้ค่า R^2 สูงสุด เท่ากับ 0.96 ซึ่งสามารถทำนายปริมาณน้ำตาลเคสโทสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพได้



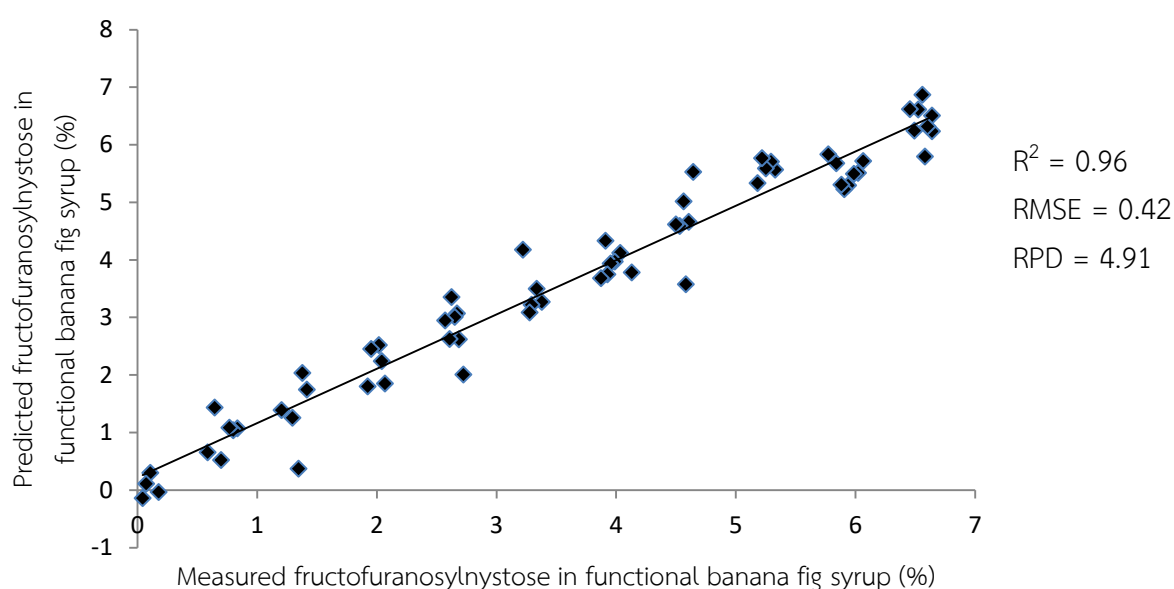
ภาพที่ 22 สมการทำนายปริมาณน้ำตาลเคสโทสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR

ตารางที่ 10 ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุคโตฟูเรโนซิลในสโทสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เทคนิค	Calibration			Validation			
	R^2	SEC	RPD	R^2	SEP	RPD	Bias
Raw	0.604	3.19	1.59	0.586	3.77	1.59	0.78
1D	0.650	3.06	1.69	0.566	3.86	1.57	0.95
2D	0.518	3.52	1.44	0.467	4.27	1.40	0.87
SNV	0.509	3.12	1.57	0.437	4.32	1.14	0.85
MSC	0.629	3.13	1.64	0.605	3.68	1.64	0.87
1D+SNV	0.688	2.91	1.79	0.610	3.65	1.67	1.00
1D+MSC	0.962	0.40	4.98	0.957	0.53	1.18	0.89

4.2.8 สมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุคโตฟูเรโนซิลในสโทสของไซรัปกล้วยตาก

สมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุคโตฟูเรโนซิลในสโทสที่สร้างด้วยเทคนิค PLS จากข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแก้ด้วย 6 เทคนิค ของตัวอย่างไซรัปกล้วยตากจำนวน 120 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการ 80 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสมการจำนวน 40 ตัวอย่าง มีค่าสถิติ ดังตารางที่ 11 เมื่อพิจารณาสมการทำนายของข้อมูลสเปกตรัมที่ไม่ผ่านการปรับแก้และผ่านการปรับแก้จาก 6 เทคนิค พบว่า การไม่ปรับแก้ข้อมูลสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ ให้ค่า R^2 สูงสุด เท่ากับ 0.96 ซึ่งสามารถทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุคโตฟูเรโนซิลในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพได้



ภาพที่ 23 สมการทำนายปริมาณฟรุคโตฟูเรโนซิลในสโทสในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR

ตารางที่ 11 ค่าทางสถิติของสมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุกโตฟูเรโนซิลนีสโทสจากข้อมูลสเปกตรัมต่างๆ ของไซรัปกล้วยตากที่สภาวะการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

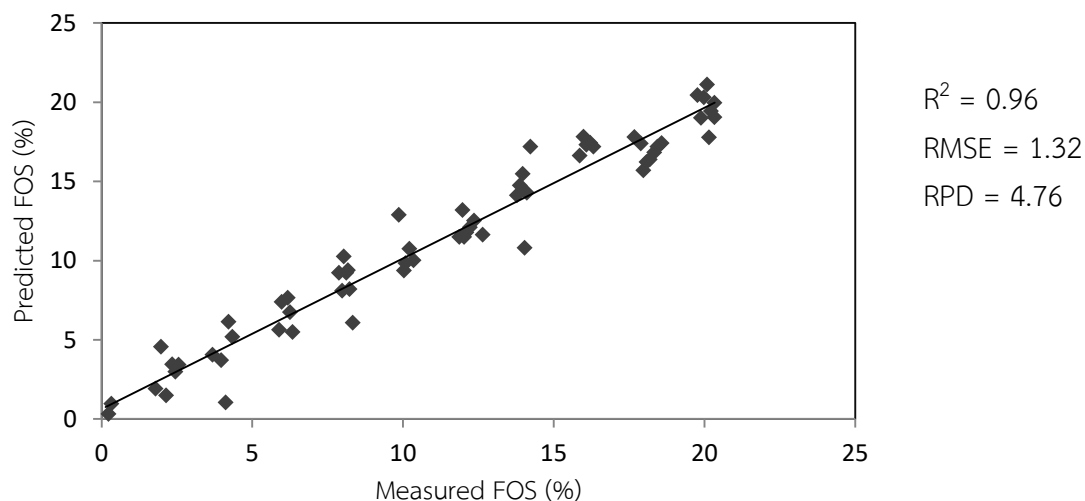
เทคนิค	Calibration			Validation			
	R ²	SEC	RPD	R ²	SEP	RPD	Bias
Raw	0.961	0.42	4.91	0.958	0.56	4.17	0.48
1D	0.584	4.30	1.55	0.497	5.52	1.41	0.23
2D	0.401	5.09	1.29	0.488	5.57	1.40	0.07
SNV	0.683	3.80	1.78	0.600	4.92	1.59	0.59
MSC	0.683	3.80	1.78	0.599	4.92	1.59	0.59
1D+SNV	0.578	4.27	1.54	0.552	5.21	1.54	1.19
1D+MSC	0.435	4.94	1.33	0.536	5.30	1.49	0.90

จากการวิเคราะห์ปริมาณขององค์ประกอบของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค HPLC ของทั้งตัวอย่างที่ในส่วนของการสร้างสมการทำนาย (calibration set) และตัวอย่างที่ใช้สำหรับทวนสอบสมการ (validation set) ที่ใช้สำหรับการสร้างความสัมพันธ์ของเทคนิค NIR เพื่อสำหรับการตรวจวัดหาปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ พบว่ามีปริมาณของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตาก ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าทางสถิติของปริมาณของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค HPLC ที่วิเคราะห์ตัวอย่างในส่วนของการสร้างสมการทำนาย และตัวอย่างที่ใช้สำหรับทวนสอบสมการ ที่ใช้สำหรับการสร้างความสัมพันธ์ของเทคนิค NIR

ชนิดของน้ำตาล	Calibration set				Validation set			
	Max	Min	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD
กลูโคส	229.28	174.89	186	6.34	194.67	175.23	184.56	6.28
ฟรุกโตส	73.22	40.23	58.32	0.72	72.45	42.98	55.66	0.83
ซูโครส	62.44	30.15	51.01	0.39	61.34	30.18	51.23	0.46
เคสโทส	7.48	0.04	3.48	0.15	7.25	0.05	3.93	0.21
นีสโทส	6.65	0.03	3.09	0.12	6.44	0.04	3.49	0.23
ฟรุกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	6.85	0.04	3.18	0.39	6.64	0.04	3.6	0.18

เนื่องจากน้ำตาลเคสโทส น้ำตาลนิสโทส และน้ำตาลฟรุกโตฟูเรโนซิลนิสโทส เป็นองค์ประกอบของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งพบว่า ปริมาณของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพนั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณรวมของน้ำตาลทั้งสาม ดังกล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงสร้างสมการทำนายปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ ดังภาพที่ 24 พบว่ามีค่า R^2 สูงสุด เท่ากับ 0.96 ซึ่งสามารถทำนายปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพได้



ภาพที่ 24 สมการทำนายปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเพื่อสุขภาพ ด้วยเทคนิค NIR

เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ โดยการเจือจางตัวอย่าง 20 เท่า สามารถลดการกระเจิงแสงในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ เนื่องจากความหนืดนั้นส่งผลต่อความสามารถในการส่องผ่านของตัวอย่าง และโครงสร้างของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์นั้น ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H และ C=O ซึ่งความยาวคลื่นในช่วงคลื่น NIR นั้นสามารถดูดกลืนพันธะดังกล่าวได้ ส่งผลให้เทคนิค NIR สามารถใช้ทำนายและการตรวจวัดปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การประยุกต์ใช้เทคนิค NIR เลขคลื่น $12500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ ในการติดตามปริมาณของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตาก สามารถทำได้โดยอาศัยการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้นโดยการเจือจาง 20 เท่า พร้อมทั้งใช้เทคนิคการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ เพื่อลดการกระเจิงของข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมร่วมกับการสร้างสมการด้วยเทคนิค PLS ทำให้ได้สมการในการทำนายค่าทางเคมีของไซรัปกล้วยตาก

จากการสร้างสมการทำนายองค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตาก พบว่าสมการทำนายปริมาณซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส เคสโทส นีสโทส และฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.70, 0.55, 0.62, 0.96, 0.96 และ 0.96 ซึ่งพบว่าสมการทำนายดังกล่าวมีความสามารถนำไปคัดเลือกและประมาณค่าองค์ประกอบของน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสของไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพเบื้องต้นได้ และสามารถใช้เทคนิค NIR ในการทำนายปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพได้ ซึ่งตัวอย่างไซรัปกล้วยตากที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ จึงส่งผลให้มีองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลายเป็นอนุภาคที่ทำให้เกิดการกระเจิงแสงการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นของ NIR แต่เนื่องการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้นโดยการเจือจาง 20 เท่า สามารถลดการกระเจิงแสงการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่น NIR ได้ ทำให้สมการทำนายปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ของไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพได้

บรรณานุกรม

- จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- ธีรศักดิ์ โรจนราธา และวนิดา คำพา. 2550. Derivative spectroscopy เทคนิคที่ไม่ยุ่งยาก สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ซับซ้อน. LAB.TODAY, 41:31-35.
- เบญจมาศ ศิลาชัย. 2538. กล้วย. บริษัท ประชาชน จำกัด, กรุงเทพฯ.
- เบญจมาศ ศิลาชัย. 2545. กล้วย. เล่ม 3. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประมุข ภระมุลสุขสถิตย์. 2554. การผลิตไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2548. ไซรัปผลไม้ (Fruit Syrup). วสารเกษตรแปรรูป 1 (37): 107-110.
- สุวัฒนา พุกชะศรี. 2552. การหาปริมาณฟรักโตโอลิโกแซคคาไรด์จากกล้วยพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทย. ชุดโครงการสมุนไพรเพื่อสุขภาพชีวิต. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในทางเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. ในวารุณี ธนะแพทย์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์ วรกุล และ ธงชัย สุวรรณสินธุ์, (ผู้รวบรวม). การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก (หน้า 131-151). กรุงเทพฯ: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- Aurore, G., Parfail, B., Fahrasmane, L. 2009. Bananas, raw materials for making processed food products. Trends in Food Science and Technology. 20: 78-91.
- Barnes, R.J., Dhanoa, M.S. and Lister, S.J. 1989. Standard normal variate transformation and de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra. Applied Spectroscopy, 43(5): 772-777.
- Bokobza, L. 1998. Near infrared spectroscopy. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 6: 3-17.
- Bruker Optic Korea. 2556. FT-NIR solutions for Today's Industries (Online). Available: http://ccrf.skku.ac.kr/pcnbbs/files/200705181037573NIR%C0%C7%B1%E2%BA%BB_2.pdf

(5 เมษายน 2557)

- Chen, J.Y., Zhang, H., Miao, Y. and Asakura, M. 2010. Nondestructive Determination of Sugar Content in Potatp Tubers Using Visible and Near Infrared Spectroscopy. *Journal of Food Engineering*. 11(1): 59-64.
- Cozzolino, D., Kwiatkowski, M.J., Parker, M., Cynkar, W.U., Dambergs, R.G., Gishen, M. and Herderich, M.J. 2004. Prediction of phenolic compound in red wine fermentations by visible and near infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*. 513: 73-80.
- Garza, S., Ibarz, A., Pagan, J., Giner, J. 1999. Non-enzymatic browning in peach puree during heating. *Food Research International*. 32: 335 - 343.
- Goldstein, J.L., Wick, E.L. 1969. Lipid in ripening banana fruit. *Journal of Food Science*. 34: 482-484.
- Guerrero-Beltran, J.A., Swanson, B.G., Barbosa-Canovas, G.V. 2005. Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. *Lebensmittel Wissenschaft and Technology*. 38: 625–630.
- Hruschka, W. R. 2001. Data analysis: wavelength selection methods. In: *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. Williams, P. and Norris, K., eds. American Society of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pp 39-58.
- Izidoro, D.R., Sierakowski, M.R., Haminiuk, C.W., Scheer, A.P. 2007. Influence of green banana pulp on the rheological behavior and chemical characyeristics of emulsions (mayonnaises). *Lebensmittel Wissenschaft ang Technology*, 7: 262-269
- Khalafalla, M.S., Palzkill, D.A. 1990. Carbohydrates and praline in jojoba clones that differ in frost susceptibility. *Journal of Hort Science*. 25: 103-105.
- Mojica, E., M. and Lopez, M., G. 2015. Identification, classification and discrimination of agave Syrups from natural sweeteners by infrared spectroscopy and HPAEC-PAD. *Food Chemistry*. 167: 349-357.
- Oku, T., T. Tokunaga and N. Hosoya. 1984. Nondigestibility of a new sweetener, 'Neosugar', in the rat. *Journal of Nutrition*. 114: 1574–1581.
- Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P.H. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Application in Food and Beverage Analysis*. Longman Scientific & Technical, Singapore, 227.
- Oscar, P., Harry, W., Beth, A. and Frenkel, C. 1981. Ehancement of fruit sensory quality by

- postharvest applications of acetaldehyde and ethanol. *Journal of Food Science*. 47: 270-276.
- Pan, Z., Shih, C., McHugh, T.H., Hirschberg, E. 2008. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. *Food Science and Technology*. 41: 1944-1951.
- Panis, B., Tottk, N., Nimmen, K.V., Withersb, L.A., Swennen, R. 1996. Cryopreservation of banana (*Muss spp.*) meristem cultures after preculture on sucrose. *Plant Science*. 121: 95-106.
- Ratapa, W., Surojanamatakul, V., Tangkanakul, P. 1989. Study on nutrient content in some *Musa* (ABB group). *Journal of food (Thailand)*. 19: 247-256.
- Rouseff, R.L. and Leahy, M.M. 1993. *Fruit flavors*. American Chemical Society. Washington. 292 p.
- Sanchez, O., Guio, F., Garcia, D., Silva, E. and Caicedo, L. 2008. Fructooligosaccharides production by *Aspergillus sp.* N74 in a mechanically agitated airlift reactor. *Food and Bioproducts Processing*. 86: 109-115.
- Sri Lanka Standards Institution. 1985. *Fruit Syrup*. Available source : http://www.tistrfoodprocess.net/Fruit/article_fruit4.htm, September 1, 2009.
- Tortoe, C., Johnson, P-N.T., Nyarko, A.I. 2009. Effects of osmo-dehydration, blanching and semi-ripening on the viscoelastic, water activity and colorimetry properties of flour from three cultivars of plantain (*Musa AAB*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 10: 82–86.
- Tribess, T.B., Hernandez-Urbe, J.P., Mendez-Montealvo, M.G.C., Menezes, E.W., Bello-Perez, L.A., Tadini, C.C. 2009. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musacavendishii*) produced at different drying conditions. *Lebensmittel Wissenschaft and Technology* 42: 1022–1025.
- Waliszewski, K.N., Aparicio, M.A., Bello, L.A., Monroy, J.A. 2003. Changes of banana starch by chemical and physical modification. *Carbohydrate Polymers*. 52:237–242.
- Williams, P. C., and K. Norris. 2001. Method development and implementation of near-

infrared spectroscopy in industrial manufacturing processes. In *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*, 2nd ed., St. Paul, Minn.: American Association of Cereal Chemists.

Yun, J.W., D.H. Kim, B.W. Kim, S.K. Song. 1997. Comparison of sugar compositions between inulo- and fructooligosaccharides produced by different enzyme forms. *Biotechnology Letters* 19(6): 553-556.

Zhang, P., Whistler, R.L., BeMiller, J. N., Hamaker, B. R. 2005. Banana starch:production, physicochemical properties,and digestibility—a review. *Carbohydrate Polymers*. 59: 443–458.

ภาคผนวก ก.

ค่าทางเคมีของไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพจากวิธีมาตรฐาน

กล้วยตากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิต และจำหน่ายมากในท้องตลาด เนื่องจากกล้วยสามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ทั่วทุกภูมิภาคของภูมิประเทศ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กล้วยตากมีราคาขายต่ำ มีวัตถุดิบที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์กล้วยตาก จากการศึกษาไซรัปกล้วยตากเบื้องต้น พบว่าไซรัปกล้วยตากที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้จะมีลักษณะสีเหลืองเข้มจนถึงน้ำตาลแดง ซึ่งมีความสว่าง L^* เท่ากับ 9.89 ± 0.10 ค่าความเป็นสีแดง-เขียว a^* เท่ากับ -0.81 ± 0.10 และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน เท่ากับ b^* 3.42 ± 0.50 ไซรัปกล้วยตากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวมีปริมาณความชื้นร้อยละ 16.75 ± 0.30 และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี ประมาณ 0.67 ± 0.11 จากการศึกษาพบว่าไซรัปกล้วยตากมีค่าวอเตอร์วอเตอร์แอกติวิตีปริมาณต่ำ เนื่องจากไซรัปกล้วยตากประกอบด้วยของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดในระดับความเข้มข้น $75.00 \pm 1.50^\circ \text{Brix}$ ซึ่งมีปริมาณมาก จากการศึกษาไซรัปกล้วยตากมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก ซึ่งน้ำตาลที่พบในในไซรัปกล้วยตาก คือ น้ำตาลกลูโคส $568.86 \pm 9.56 \text{ g/kg}$ น้ำตาลฟรุคโตส $563.74 \pm 10.08 \text{ g/kg}$ และน้ำตาลซูโครส $16.97 \pm 2.15 \text{ g/kg}$ นอกจากนี้ไซรัปกล้วยตากที่ไซรัปกล้วยตากมีความเป็นกรดต่าง 4.25 ± 0.30 และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (มาลิก) ร้อยละ 1.99 ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 13 องค์ประกอบทางเคมีของไซรัปกล้วยตากเริ่มต้น

องค์ประกอบทางเคมี	ไซรัปกล้วยตาก	หน่วย
ค่า L^*	9.89 ± 0.10	
ค่า a^*	-0.81 ± 0.10	
ค่า b^*	3.42 ± 0.50	
ปริมาณความชื้น	16.75 ± 0.30	ร้อยละ (%)
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	0.67 ± 0.11	
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	75.00 ± 1.50	$^\circ \text{Brix}$
ค่าความเป็นกรดต่าง	4.25 ± 0.30	
ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (มาลิก)	1.99 ± 0.00	ร้อยละ (%)
น้ำตาลกลูโคส	568.86 ± 9.56	g/kg
น้ำตาลฟรุคโตส	563.74 ± 10.08	g/kg
น้ำตาลซูโครส	16.97 ± 2.15	g/kg
น้ำตาลฟรุคโตฟูเรโนซิลนิสโทส	0.00 ± 0.0	g/kg
น้ำตาลนิสโทส	0.00 ± 0.0	g/kg
น้ำตาลเคสโทส	0.00 ± 0.0	g/kg

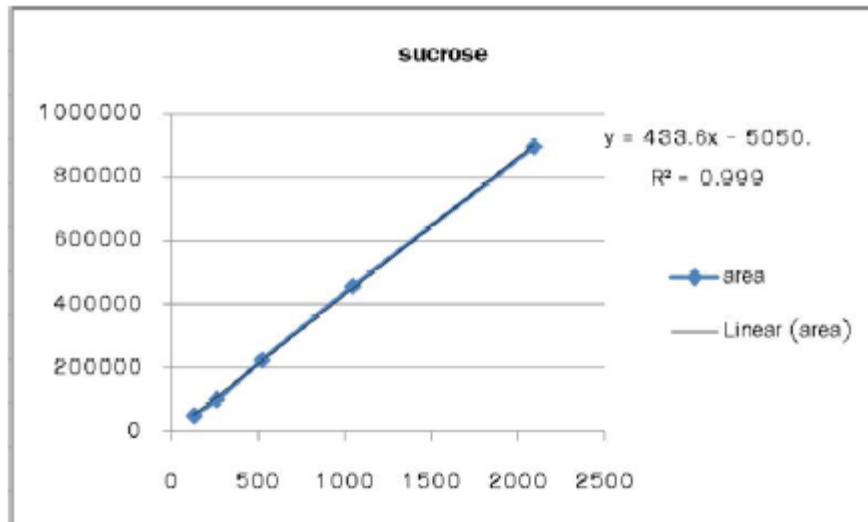
จากผลการศึกษาดังกล่าวที่ 4 พบว่าองค์ประกอบของไซรัปกล้วยตากเริ่มต้นไม่มีใยอาหารฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ ส่งผลให้ต้องมีการผลิตฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ จากการศึกษางานวิจัยของ ประมุข (2554) พบว่ากระบวนการผลิตฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่เหมาะสม สามารถผลิตฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์โดยใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L อัตราส่วนของไซรัปกล้วยตากต่อเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L เป็น 3:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง ซึ่งหลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากที่มีฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์มาวิเคราะห์หาปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ วิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC ได้ของปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ และชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ดังตารางที่ 5 ซึ่งฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้นั้น เกิดจากการทำปฏิกิริยาของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไซรัปเริ่มต้น โดยมีเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของกลูโคส และฟรุคโตส ได้เป็นฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย

ตารางที่ 14 ชนิดและปริมาณน้ำตาลที่พบในไซรัปกล้วยตาก ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

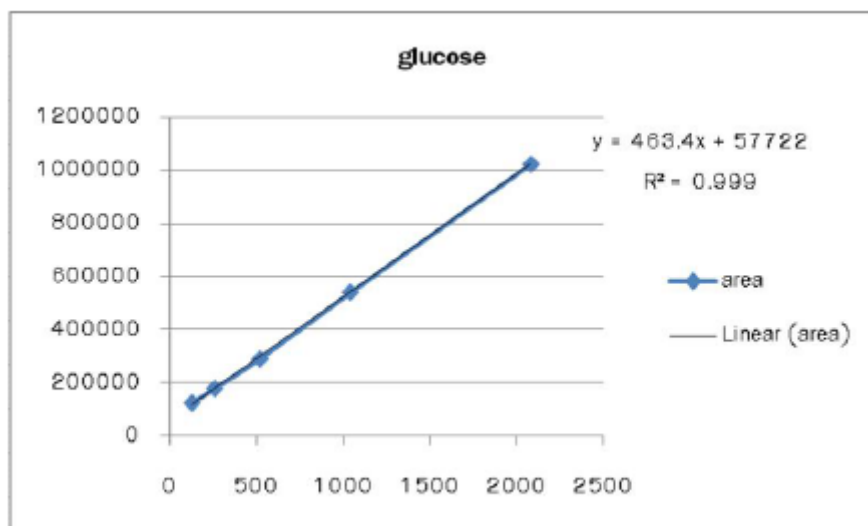
ชนิดของน้ำตาล	ปริมาณ (g/kg)
ซูโครส	52.45 ± 1.23
กลูโคส	186.15 ± 2.58
ฟรุคโตส	57.45 ± 0.45
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนิสโทส	55.45 ± 1.06
นิสโทส	53.82 ± 0.78
คีสโทส	60.56 ± 1.15
ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์	169.83 ± 0.95

กราฟมาตรฐานน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

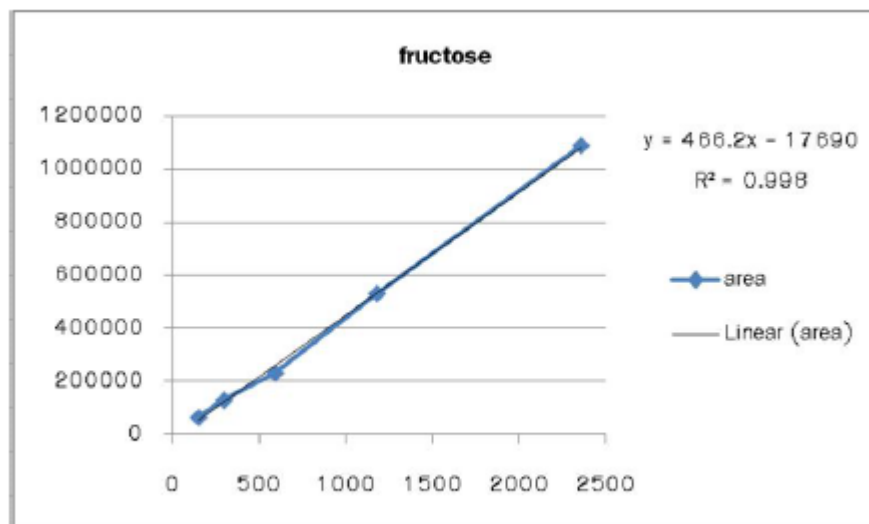
จากการศึกษาชนิดและปริมาณของน้ำตาลฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่พบในไซรัปกล้วยตาก วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า น้ำตาลซูโครสมีปริมาณ 52.45 ± 1.23 กรัม/กิโลกรัม น้ำตาลกลูโคส 186.15 ± 2.58 กรัม/กิโลกรัม ฟรุคโตฟูเรโนซิลนิสโทส 55.45 ± 1.06 กรัม/กิโลกรัม นิสโทส 53.82 ± 0.78 กรัม/กิโลกรัม คีสโทส 60.56 ± 1.15 กรัม/กิโลกรัม และมีปริมาณน้ำตาลฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ทั้งหมด 169.83 ± 0.95 กรัม/กิโลกรัม ที่พบในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตาก ซึ่งจากปริมาณที่พบสามารถคำนวณหากราฟมาตรฐานของน้ำตาลซูโครส (ภาพที่ 18) น้ำตาลกลูโคส (ภาพที่ 19) น้ำตาลฟรุคโตส (ภาพที่ 20) น้ำตาลคีสโทส (ภาพที่ 21) น้ำตาลนิสโทส (ภาพที่ 22) และน้ำตาลฟรุคโตฟูเรโนซิลนิสโทส (ภาพที่ 23)



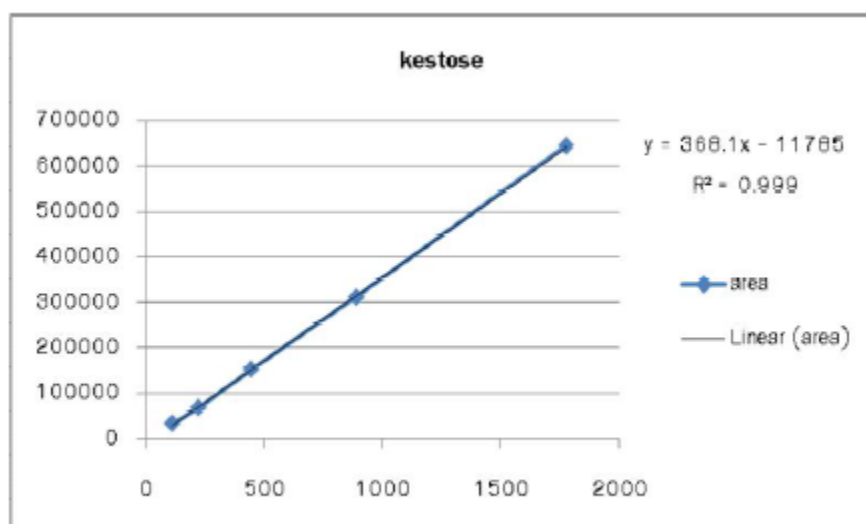
ภาพที่ 25 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลซูโครส



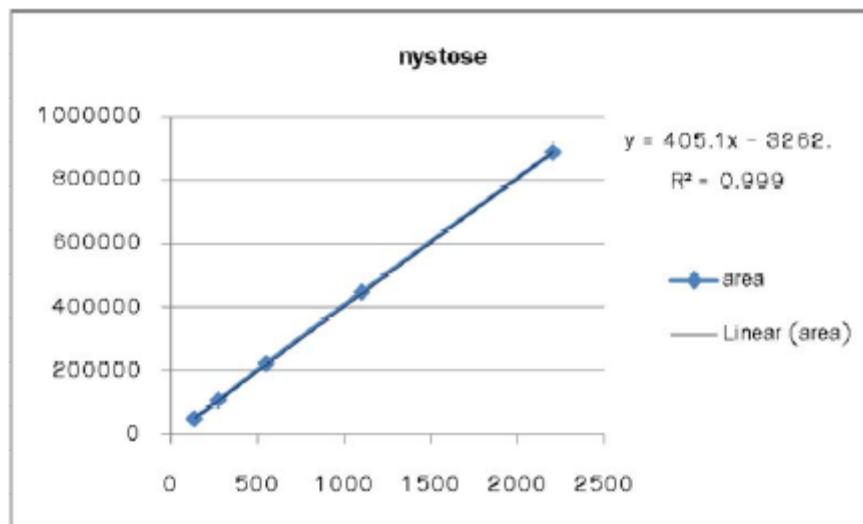
ภาพที่ 26 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส



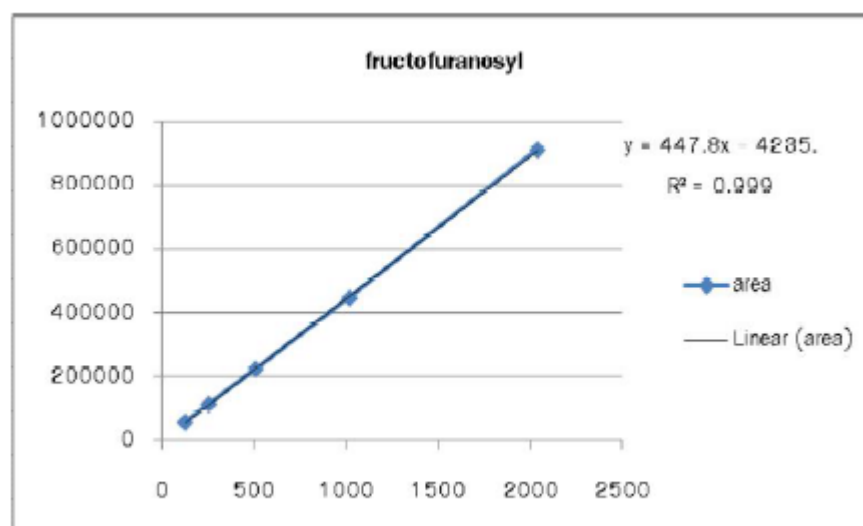
ภาพที่ 27 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลฟรุกโตส



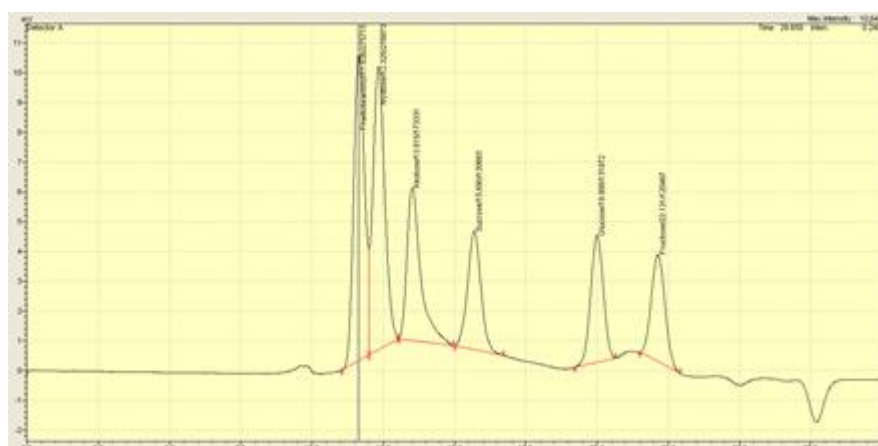
ภาพที่ 28 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลคีสโทส



ภาพที่ 29 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลนิสโทส



ภาพที่ 30 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลน้ำตาลฟรุคโตฟูเรโนซิลนิสโทส



ภาพที่ 31 โครมาโตแกรมขององค์ประกอบน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

ภาคผนวก ข

ค่าจากสมการที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR ของสารมาตรฐาน

ตารางที่ 15 สมการ calibration set ของซูโครสมาตรฐาน

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
ซูโครสมาตรฐาน	10	10.06	-0.059	16.88
ซูโครสมาตรฐาน	10	10.2	-0.059	5.05
ซูโครสมาตรฐาน	10	10.04	-0.059	23.15
ซูโครสมาตรฐาน	10	10.03	-0.059	30.73
ซูโครสมาตรฐาน	10	10.07	-0.059	13.35
ซูโครสมาตรฐาน	10	9.962	-0.059	26.55
ซูโครสมาตรฐาน	10	9.996	-0.059	272.64
ซูโครสมาตรฐาน	10	10.11	-0.059	9.04
ซูโครสมาตรฐาน	10	10.06	-0.059	17.52
ซูโครสมาตรฐาน	9	9.002	-0.059	410.24
ซูโครสมาตรฐาน	9	8.865	-0.059	7.43
ซูโครสมาตรฐาน	9	8.975	-0.059	39.92
ซูโครสมาตรฐาน	9	8.842	-0.059	6.32
ซูโครสมาตรฐาน	9	8.889	-0.059	9.00
ซูโครสมาตรฐาน	9	8.937	-0.059	15.90
ซูโครสมาตรฐาน	9	8.844	-0.059	6.42
ซูโครสมาตรฐาน	9	8.936	-0.059	15.62
ซูโครสมาตรฐาน	9	8.883	-0.059	8.58
ซูโครสมาตรฐาน	8	7.891	-0.059	9.19
ซูโครสมาตรฐาน	8	7.803	-0.059	5.07
ซูโครสมาตรฐาน	8	7.888	-0.059	8.95
ซูโครสมาตรฐาน	8	8.07	-0.059	14.32
ซูโครสมาตรฐาน	8	8.023	-0.059	43.97
ซูโครสมาตรฐาน	8	7.861	-0.059	7.21
ซูโครสมาตรฐาน	8	7.963	-0.059	26.82
ซูโครสมาตรฐาน	7	7.038	-0.059	5.20
ซูโครสมาตรฐาน	7	6.912	-0.059	4.44
ซูโครสมาตรฐาน	7	7.007	-0.059	5.83

ซูโครสมาตรฐาน	7	7.021	-0.059	5.54
ซูโครสมาตรฐาน	7	7.009	-0.059	5.79
ซูโครสมาตรฐาน	6	6.068	-0.059	4.71
ซูโครสมาตรฐาน	6	6.107	-0.059	4.20
ซูโครสมาตรฐาน	6	5.861	-0.059	3.86
ซูโครสมาตรฐาน	6	6.151	-0.059	3.74
ซูโครสมาตรฐาน	6	6.178	-0.059	3.50
ซูโครสมาตรฐาน	5	5.149	-0.059	3.76
ซูโครสมาตรฐาน	5	5.235	-0.059	3.09
ซูโครสมาตรฐาน	5	5.191	-0.059	3.40
ซูโครสมาตรฐาน	5	5.154	-0.059	3.71
ซูโครสมาตรฐาน	5	4.978	-0.059	5.51
ซูโครสมาตรฐาน	4	4.325	-0.059	2.61
ซูโครสมาตรฐาน	4	4.039	-0.059	5.18
ซูโครสมาตรฐาน	4	3.922	-0.059	4.57
ซูโครสมาตรฐาน	4	3.913	-0.059	4.45
ซูโครสมาตรฐาน	4	4.046	-0.059	5.07
ซูโครสมาตรฐาน	3	2.849	-0.059	3.74
ซูโครสมาตรฐาน	3	2.981	-0.059	5.58
ซูโครสมาตรฐาน	3	3.043	-0.059	5.11
ซูโครสมาตรฐาน	3	2.987	-0.059	5.70
ซูโครสมาตรฐาน	3	2.955	-0.059	5.08
ซูโครสมาตรฐาน	2	1.995	-0.059	5.87
ซูโครสมาตรฐาน	2	1.912	-0.059	4.43
ซูโครสมาตรฐาน	2	1.996	-0.059	5.91
ซูโครสมาตรฐาน	2	1.8	-0.059	3.33
ซูโครสมาตรฐาน	2	1.849	-0.059	3.74
ซูโครสมาตรฐาน	1	0.8503	-0.059	6.68
ซูโครสมาตรฐาน	1	0.9905	-0.059	105.35
ซูโครสมาตรฐาน	1	0.9706	-0.059	34.04
ซูโครสมาตรฐาน	1	1.11	-0.059	9.06
ซูโครสมาตรฐาน	1	1.013	-0.059	77.46

ตารางที่ 16 สมการ validation set ของซูโครสมาตรฐาน

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
ซูโครสมาตรฐาน	10	10.02	-0.023	43.32
ซูโครสมาตรฐาน	9	9.014	-0.014	73.89
ซูโครสมาตรฐาน	8	7.957	0.043	23.30
ซูโครสมาตรฐาน	8	7.924	0.076	13.19
ซูโครสมาตรฐาน	8	8.042	-0.042	23.67
ซูโครสมาตรฐาน	7	6.892	0.108	4.19
ซูโครสมาตรฐาน	7	6.936	0.064	4.77
ซูโครสมาตรฐาน	7	7.143	-0.143	3.81
ซูโครสมาตรฐาน	7	6.974	0.026	5.43
ซูโครสมาตรฐาน	7	6.951	0.049	5.01
ซูโครสมาตรฐาน	6	6.062	-0.062	4.81
ซูโครสมาตรฐาน	6	6	0.000	5.99
ซูโครสมาตรฐาน	6	5.999	0.001	5.97
ซูโครสมาตรฐาน	6	5.921	0.079	4.56
ซูโครสมาตรฐาน	6	5.98	0.020	5.55
ซูโครสมาตรฐาน	5	4.985	0.015	5.66
ซูโครสมาตรฐาน	5	5.001	-0.001	5.98
ซูโครสมาตรฐาน	5	4.869	0.131	3.94
ซูโครสมาตรฐาน	5	4.892	0.108	4.19
ซูโครสมาตรฐาน	5	5.138	-0.138	3.86
ซูโครสมาตรฐาน	4	4.052	-0.052	4.96
ซูโครสมาตรฐาน	4	3.907	0.093	4.37
ซูโครสมาตรฐาน	4	4.079	-0.079	4.56
ซูโครสมาตรฐาน	4	4.178	-0.178	3.50
ซูโครสมาตรฐาน	4	3.949	0.052	4.98
ซูโครสมาตรฐาน	3	3.088	-0.088	4.43
ซูโครสมาตรฐาน	3	3.153	-0.153	3.72
ซูโครสมาตรฐาน	3	3.043	-0.043	5.12
ซูโครสมาตรฐาน	3	3.034	-0.034	5.28
ซูโครสมาตรฐาน	3	2.966	0.034	5.28

ซูโครสมาตรฐาน	2	1.95	0.050	5.00
ซูโครสมาตรฐาน	2	1.98	0.020	5.55
ซูโครสมาตรฐาน	2	1.931	0.069	4.70
ซูโครสมาตรฐาน	2	2.134	-0.134	3.90
ซูโครสมาตรฐาน	2	2.119	-0.119	4.06
ซูโครสมาตรฐาน	1	1.09	-0.090	11.08
ซูโครสมาตรฐาน	1	1.021	-0.021	48.68
ซูโครสมาตรฐาน	1	0.9973	0.003	365.52
ซูโครสมาตรฐาน	1	0.9551	0.045	22.28

ตารางที่ 17 สมการ calibration set ของกลูโคสมาตรฐาน

File Name	TRUE	Fit	Residuum	Component Value Density
กลูโคสมาตรฐาน	20	19.44	0.565	1.77
กลูโคสมาตรฐาน	20	19.62	0.382	2.62
กลูโคสมาตรฐาน	20	19.9	0.099	10.15
กลูโคสมาตรฐาน	20	19.78	0.224	4.46
กลูโคสมาตรฐาน	20	19.89	0.107	9.35
กลูโคสมาตรฐาน	20	19.69	0.312	3.21
กลูโคสมาตรฐาน	18	17.43	0.566	1.77
กลูโคสมาตรฐาน	18	17.44	0.560	1.79
กลูโคสมาตรฐาน	18	17.53	0.470	2.13
กลูโคสมาตรฐาน	18	17.63	0.367	2.73
กลูโคสมาตรฐาน	18	17.67	0.328	3.05
กลูโคสมาตรฐาน	18	17.55	0.453	2.21
กลูโคสมาตรฐาน	18	18.34	-0.343	2.92
กลูโคสมาตรฐาน	18	18.78	-0.777	1.29
กลูโคสมาตรฐาน	18	19	-1.000	1.00
กลูโคสมาตรฐาน	16	15.5	0.502	1.99
กลูโคสมาตรฐาน	16	15.69	0.311	3.21
กลูโคสมาตรฐาน	16	15.9	0.097	10.28
กลูโคสมาตรฐาน	16	16.04	-0.037	26.74
กลูโคสมาตรฐาน	16	15.95	0.047	21.31

กลูโคสมาตรฐาน	16	16.03	-0.032	31.61
กลูโคสมาตรฐาน	16	16.2	-0.197	5.09
กลูโคสมาตรฐาน	16	17.05	-1.050	1.05
กลูโคสมาตรฐาน	16	17.17	-1.170	1.20
กลูโคสมาตรฐาน	14	13.52	0.478	2.09
กลูโคสมาตรฐาน	14	14.02	-0.024	41.06
กลูโคสมาตรฐาน	14	13.91	0.087	11.44
กลูโคสมาตรฐาน	14	14.2	-0.200	5.01
กลูโคสมาตรฐาน	14	14.91	-0.905	1.10
กลูโคสมาตรฐาน	12	12	0.000	5761.41
กลูโคสมาตรฐาน	12	11.83	0.169	5.92
กลูโคสมาตรฐาน	12	11.62	0.383	2.61
กลูโคสมาตรฐาน	12	11.71	0.289	3.46
กลูโคสมาตรฐาน	12	12.95	-0.955	1.05
กลูโคสมาตรฐาน	10	9.714	0.286	3.49
กลูโคสมาตรฐาน	10	10.19	-0.193	5.19
กลูโคสมาตรฐาน	10	10.63	-0.625	1.60
กลูโคสมาตรฐาน	10	10.61	-0.607	1.65
กลูโคสมาตรฐาน	10	8.43	1.570	2.32
กลูโคสมาตรฐาน	8	7.401	0.599	1.67
กลูโคสมาตรฐาน	8	7.423	0.577	1.73
กลูโคสมาตรฐาน	8	8.13	-0.13	7.71
กลูโคสมาตรฐาน	8	7.412	0.588	1.7
กลูโคสมาตรฐาน	8	7.999	0.00106	939.16
กลูโคสมาตรฐาน	6	5.888	0.112	8.9
กลูโคสมาตรฐาน	6	6.236	-0.236	4.23
กลูโคสมาตรฐาน	6	5.847	0.153	6.53
กลูโคสมาตรฐาน	6	6.087	-0.0866	11.55
กลูโคสมาตรฐาน	6	6.087	-0.0873	11.46
กลูโคสมาตรฐาน	4	3.887	0.113	8.86
กลูโคสมาตรฐาน	4	5.008	-1.01	1.01
กลูโคสมาตรฐาน	4	4.939	-0.939	1.07

กลูโคสมาตรฐาน	4	4.557	-0.557	1.79
กลูโคสมาตรฐาน	4	4.687	-0.687	1.46
กลูโคสมาตรฐาน	2	1.019	0.981	1.02
กลูโคสมาตรฐาน	2	1.299	0.701	1.43
กลูโคสมาตรฐาน	2	2.042	-0.0417	23.97
กลูโคสมาตรฐาน	2	2.296	-0.296	3.38
กลูโคสมาตรฐาน	2	2.296	-0.296	3.38

ตารางที่ 18 สมการ validation set ของกลูโคสมาตรฐาน

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
กลูโคสมาตรฐาน	20	19.64	0.362	2.76
กลูโคสมาตรฐาน	18	17.29	0.708	1.41
กลูโคสมาตรฐาน	16	15.82	0.181	5.54
กลูโคสมาตรฐาน	14	13.65	0.351	2.85
กลูโคสมาตรฐาน	14	13.75	0.246	4.07
กลูโคสมาตรฐาน	14	14.05	-0.046	21.95
กลูโคสมาตรฐาน	14	14.29	-0.289	3.45
กลูโคสมาตรฐาน	14	15.23	-1.230	1.30
กลูโคสมาตรฐาน	12	11.62	0.381	2.62
กลูโคสมาตรฐาน	12	11.62	0.379	2.64
กลูโคสมาตรฐาน	12	12	0.001	732.76
กลูโคสมาตรฐาน	12	12.86	-0.862	1.16
กลูโคสมาตรฐาน	12	13.18	-1.180	1.22
กลูโคสมาตรฐาน	10	10.19	-0.193	5.17
กลูโคสมาตรฐาน	10	10.67	-0.666	1.50
กลูโคสมาตรฐาน	10	10.61	-0.611	1.64
กลูโคสมาตรฐาน	10	10.58	-0.575	1.74
กลูโคสมาตรฐาน	10	11.72	-1.720	3.52
กลูโคสมาตรฐาน	8	7.675	0.325	3.07
กลูโคสมาตรฐาน	8	8.105	-0.105	9.53
กลูโคสมาตรฐาน	8	7.595	0.405	2.47
กลูโคสมาตรฐาน	8	8.186	-0.186	5.37

กลูโคสมาตรฐาน	8	9.476	-1.480	1.91
กลูโคสมาตรฐาน	6	5.861	0.139	7.22
กลูโคสมาตรฐาน	6	5.943	0.057	17.43
กลูโคสมาตรฐาน	6	6.276	-0.276	3.63
กลูโคสมาตรฐาน	6	6.22	-0.220	4.55
กลูโคสมาตรฐาน	6	7.027	-1.030	1.03
กลูโคสมาตรฐาน	4	4.859	-0.859	1.16
กลูโคสมาตรฐาน	4	4.493	-0.493	2.03
กลูโคสมาตรฐาน	4	4.663	-0.663	1.51
กลูโคสมาตรฐาน	4	4.6	-0.600	1.67
กลูโคสมาตรฐาน	4	5.154	-1.150	1.18
กลูโคสมาตรฐาน	2	1.921	0.079	12.60
กลูโคสมาตรฐาน	2	2.203	-0.203	4.94
กลูโคสมาตรฐาน	2	2.343	-0.343	2.91
กลูโคสมาตรฐาน	2	2.241	-0.241	4.14
กลูโคสมาตรฐาน	2	2.211	-0.211	4.75
กลูโคสมาตรฐาน	1	0.9551	0.045	22.28

ตารางที่ 19 สมการ calibration set ของฟรุกโตสมาตรฐาน

File Name	TRUE	Fit	Residuum	Component Value Density
ฟรุกโตสมาตรฐาน	1	0.822	0.178	2.16
ฟรุกโตสมาตรฐาน	1	0.840	0.160	2.24
ฟรุกโตสมาตรฐาน	1	0.801	0.199	2.06
ฟรุกโตสมาตรฐาน	1	0.648	0.352	1.57
ฟรุกโตสมาตรฐาน	1	0.589	0.411	1.43
ฟรุกโตสมาตรฐาน	2	1.975	0.025	3.38
ฟรุกโตสมาตรฐาน	2	2.004	-0.004	3.48
ฟรุกโตสมาตรฐาน	2	2.122	-0.122	2.96
ฟรุกโตสมาตรฐาน	2	2.142	-0.142	2.89
ฟรุกโตสมาตรฐาน	2	1.951	0.049	3.26
ฟรุกโตสมาตรฐาน	3	2.970	0.030	3.35
ฟรุกโตสมาตรฐาน	3	3.130	-0.130	2.93

พริกโตสมมาตรฐาน	3	3.101	-0.101	3.04
พริกโตสมมาตรฐาน	3	2.954	0.046	3.27
พริกโตสมมาตรฐาน	3	2.978	0.022	3.39
พริกโตสมมาตรฐาน	4	4.370	-0.370	2.25
พริกโตสมมาตรฐาน	4	4.411	-0.411	2.16
พริกโตสมมาตรฐาน	4	4.268	-0.268	2.50
พริกโตสมมาตรฐาน	4	4.345	-0.345	2.31
พริกโตสมมาตรฐาน	4	4.329	-0.329	2.34
พริกโตสมมาตรฐาน	5	4.836	0.164	6.10
พริกโตสมมาตรฐาน	5	4.983	0.017	58.40
พริกโตสมมาตรฐาน	5	4.937	0.063	15.88
พริกโตสมมาตรฐาน	5	4.855	0.145	6.89
พริกโตสมมาตรฐาน	5	5.065	-0.065	15.34
พริกโตสมมาตรฐาน	5	5.106	-0.106	9.43
พริกโตสมมาตรฐาน	5	4.899	0.101	9.93
พริกโตสมมาตรฐาน	6	6.242	-0.242	4.14
พริกโตสมมาตรฐาน	6	6.102	-0.102	9.83
พริกโตสมมาตรฐาน	6	6.222	-0.222	4.49
พริกโตสมมาตรฐาน	6	6.085	-0.085	11.77
พริกโตสมมาตรฐาน	6	6.031	-0.031	31.82
พริกโตสมมาตรฐาน	6	6.185	-0.185	5.41
พริกโตสมมาตรฐาน	6	6.302	-0.302	3.31
พริกโตสมมาตรฐาน	6	5.990	0.010	99.73
พริกโตสมมาตรฐาน	6	6.074	-0.074	13.56
พริกโตสมมาตรฐาน	7	6.937	0.063	15.81
พริกโตสมมาตรฐาน	7	7.203	-0.203	4.93
พริกโตสมมาตรฐาน	7	6.907	0.093	10.71
พริกโตสมมาตรฐาน	7	6.989	0.0105	94.95
พริกโตสมมาตรฐาน	7	7.081	-0.0814	12.29
พริกโตสมมาตรฐาน	7	6.969	0.0311	32.18
พริกโตสมมาตรฐาน	7	7.063	-0.0631	15.84
พริกโตสมมาตรฐาน	7	7.082	-0.0822	12.17

พริกโตมาตรฐาน	7	7.032	-0.0319	31.34
พริกโตมาตรฐาน	8	7.759	0.241	4.15
พริกโตมาตรฐาน	8	7.697	0.303	3.31
พริกโตมาตรฐาน	8	7.779	0.221	4.52
พริกโตมาตรฐาน	8	7.756	0.244	4.1
พริกโตมาตรฐาน	8	7.830	0.17	5.9
พริกโตมาตรฐาน	8	7.679	0.321	3.11
พริกโตมาตรฐาน	8	7.841	0.159	6.29
พริกโตมาตรฐาน	8	7.852	0.148	6.75
พริกโตมาตรฐาน	8	7.804	0.196	5.11
พริกโตมาตรฐาน	9	9.020	-0.0196	50.92
พริกโตมาตรฐาน	9	9.095	-0.0946	10.57
พริกโตมาตรฐาน	9	9.071	-0.0708	14.12
พริกโตมาตรฐาน	9	9.095	-0.0946	10.57
พริกโตมาตรฐาน	9	9.152	-0.152	6.58
พริกโตมาตรฐาน	9	9.185	-0.185	5.41
พริกโตมาตรฐาน	9	9.083	-0.0828	12.07
พริกโตมาตรฐาน	9	9.125	-0.125	8.03
พริกโตมาตรฐาน	9	9.129	-0.129	7.76
พริกโตมาตรฐาน	10	9.940	0.0603	16.57
พริกโตมาตรฐาน	10	9.927	0.0728	13.74
พริกโตมาตรฐาน	10	9.826	0.174	5.75
พริกโตมาตรฐาน	10	9.821	0.179	5.58
พริกโตมาตรฐาน	10	9.959	0.041	24.4
พริกโตมาตรฐาน	10	9.908	0.0921	10.86
พริกโตมาตรฐาน	10	9.903	0.0968	10.33
พริกโตมาตรฐาน	10	9.871	0.129	7.77
พริกโตมาตรฐาน	10	9.971	0.0286	34.94

ตารางที่ 20 สมการ validation set ของฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	1	0.9247	0.075	2.77
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	1	0.8463	0.154	2.28
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	1	0.6894	0.311	1.68
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	1	0.6341	0.366	1.53
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	1	0.5179	0.482	1.3
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	2	2.022	-0.022	3.39
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	2	1.885	0.115	2.98
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	2	2.028	-0.028	3.36
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	2	1.976	0.024	3.38
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	2	2.029	-0.029	3.35
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	3	3.019	-0.019	3.4
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	3	3.029	-0.029	3.35
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	3	2.971	0.029	3.36
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	3	2.991	0.009	3.45
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	3	3.021	-0.021	3.39
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	4	4.225	-0.225	2.62
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	4	4.338	-0.338	2.32
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	4	4.362	-0.362	2.27
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	4	4.265	-0.265	2.51
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	4	4.355	-0.355	2.28
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	5	5.046	-0.046	21.82
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	5	5.025	-0.025	39.5
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	5	4.858	0.142	7.05
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	6	6.08	-0.080	12.56
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	7	7.084	-0.084	11.92
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	8	7.721	0.279	3.59
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	9	9.156	-0.156	6.43
ฟรุ๊กโตสมมาตรฐาน	10	9.871	0.129	7.74

ตารางที่ 21 สมการ calibration set ของเคสโทสมมาตรฐาน

File Name	TRUE	Fit	Residuum	Component Value Density
เคสโทสมมาตรฐาน	4.6	4.789	-0.189	30.12
เคสโทสมมาตรฐาน	4.6	5.006	-0.406	156.9
เคสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.72	-0.020	15.94
เคสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.996	-0.296	258.88
เคสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.741	0.059	18.57
เคสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.853	-0.053	20.15
เคสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.886	-0.086	22.28
เคสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.952	-0.152	20.73
เคสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.916	-0.116	22.12
เคสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.897	0.003	23.08
เคสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.887	0.013	22.36
เคสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.835	0.065	22.9
เคสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.938	-0.038	20.71
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.762	0.238	22.39
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.97	0.030	33.59
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.976	0.024	41.64
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.963	0.037	27.16
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.931	0.069	21.13
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.898	0.102	23.15
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.915	0.085	22.21
เคสโทสมมาตรฐาน	5.5	5.787	-0.287	42.89
เคสโทสมมาตรฐาน	5.6	5.718	-0.118	27.67
เคสโทสมมาตรฐาน	5.7	5.662	0.038	17.95
เคสโทสมมาตรฐาน	5.7	5.779	-0.079	33.83
เคสโทสมมาตรฐาน	5.7	5.726	-0.026	25.2
เคสโทสมมาตรฐาน	5.7	5.758	-0.058	22.58
เคสโทสมมาตรฐาน	5.7	5.719	-0.019	27.28
เคสโทสมมาตรฐาน	5.8	5.78	0.020	35.32
เคสโทสมมาตรฐาน	5.8	5.695	0.105	30.93
เคสโทสมมาตรฐาน	5.8	5.793	0.007	50.94

เคสโหลมาตรฐาน	5.8	5.873	-0.073	21.4
เคสโหลมาตรฐาน	5.8	5.817	-0.017	37.39
เคสโหลมาตรฐาน	5.8	5.791	0.009	48.32
เคสโหลมาตรฐาน	5.9	5.624	0.276	13.24
เคสโหลมาตรฐาน	5.9	5.673	0.227	20.92
เคสโหลมาตรฐาน	5.9	5.934	-0.034	20.98
เคสโหลมาตรฐาน	5.9	5.868	0.032	21.08
เคสโหลมาตรฐาน	6	5.727	0.273	24.89
เคสโหลมาตรฐาน	6	5.787	0.213	42.83
เคสโหลมาตรฐาน	6	5.719	0.281	27.38
เคสโหลมาตรฐาน	6.5	6.814	-0.314	69.97
เคสโหลมาตรฐาน	6.7	6.794	-0.0941	168.73
เคสโหลมาตรฐาน	6.7	6.868	-0.168	31.17
เคสโหลมาตรฐาน	6.7	7.049	-0.349	20.3
เคสโหลมาตรฐาน	6.8	6.84	-0.0398	25.11
เคสโหลมาตรฐาน	6.8	6.857	-0.0566	23.03
เคสโหลมาตรฐาน	6.8	6.774	0.0256	39.07
เคสโหลมาตรฐาน	6.8	6.841	-0.0413	24.23
เคสโหลมาตรฐาน	6.8	6.745	0.0547	19.74
เคสโหลมาตรฐาน	6.8	6.894	-0.0943	174.4
เคสโหลมาตรฐาน	6.8	6.977	-0.177	42.81
เคสโหลมาตรฐาน	6.8	6.919	-0.119	53.81
เคสโหลมาตรฐาน	6.8	6.896	-0.0958	239.4
เคสโหลมาตรฐาน	6.8	6.93	-0.13	33.51
เคสโหลมาตรฐาน	6.9	6.797	0.103	346.75
เคสโหลมาตรฐาน	6.9	6.786	0.114	70.43
เคสโหลมาตรฐาน	6.9	6.867	0.0327	30.61
เคสโหลมาตรฐาน	6.9	6.887	0.0134	74.74
เคสโหลมาตรฐาน	6.9	6.813	0.0873	78.7
เคสโหลมาตรฐาน	6.9	7.011	-0.111	93.09
เคสโหลมาตรฐาน	6.9	6.956	-0.0556	22.51
เคสโหลมาตรฐาน	6.9	6.999	-0.0987	753.83

เคสโทสมมาตรฐาน	7	6.775	0.225	39.55
เคสโทสมมาตรฐาน	7	6.87	0.13	33.72
เคสโทสมมาตรฐาน	7	6.829	0.171	34.97
เคสโทสมมาตรฐาน	7	6.734	0.266	19.15
เคสโทสมมาตรฐาน	7	6.842	0.158	23.83
เคสโทสมมาตรฐาน	7	6.84	0.16	25.07
เคสโทสมมาตรฐาน	7	6.897	0.103	325.49
เคสโทสมมาตรฐาน	7	6.888	0.112	81.25
เคสโทสมมาตรฐาน	7	6.942	0.058	23.81
เคสโทสมมาตรฐาน	7	7.01	-0.00972	102.83

ตารางที่ 22 สมการ validation set ของเคสโทสมมาตรฐาน

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
เคสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.811	-0.111	29.98
เคสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.801	-0.101	34.36
เคสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.807	-0.107	31.51
เคสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.903	-0.203	23.13
เคสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.872	-0.172	21.36
เคสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.924	-0.224	21.61
เคสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.742	0.0581	18.71
เคสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.813	-0.0131	29.27
เคสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.926	-0.126	21.45
เคสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.794	0.00634	31.96
เคสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.88	-0.0801	21.88
เคสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.791	0.109	30.76
เคสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.85	0.0496	20.02
เคสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.875	0.0255	21.51
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.689	0.311	13.13
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.758	0.242	21.38
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.945	0.0545	20.26
เคสโทสมมาตรฐาน	5	4.961	0.0389	25.67
เคสโทสมมาตรฐาน	5	5.095	-0.0951	10.52

เคสโสมมาตรฐาน	5	4.928	0.0722	21.36
เคสโสมมาตรฐาน	5.6	5.683	-0.0828	24.5
เคสโสมมาตรฐาน	5.6	5.878	-0.278	21.73
เคสโสมมาตรฐาน	5.7	5.732	-0.0315	23.77
เคสโสมมาตรฐาน	5.7	5.845	-0.145	21.54
เคสโสมมาตรฐาน	5.7	5.786	-0.0861	41.34
เคสโสมมาตรฐาน	5.7	5.827	-0.127	29.87
เคสโสมมาตรฐาน	5.8	5.712	0.0884	29.82
เคสโสมมาตรฐาน	5.8	5.713	0.0867	29.18
เคสโสมมาตรฐาน	5.8	5.706	0.0937	31.98
เคสโสมมาตรฐาน	5.8	5.828	-0.0281	29.13
เคสโสมมาตรฐาน	5.8	5.841	-0.0413	22.84
เคสโสมมาตรฐาน	5.8	5.835	-0.0352	25.38
เคสโสมมาตรฐาน	5.8	5.857	-0.0574	20.43
เคสโสมมาตรฐาน	5.9	5.748	0.152	20.27
เคสโสมมาตรฐาน	5.9	5.841	0.0594	23.1
เคสโสมมาตรฐาน	5.9	5.683	0.217	24.77
เคสโสมมาตรฐาน	6	5.704	0.296	32.89
เคสโสมมาตรฐาน	6	5.721	0.279	26.47
เคสโสมมาตรฐาน	6	5.708	0.292	31.38
เคสโสมมาตรฐาน	6	5.723	0.277	26.13
เคสโสมมาตรฐาน	6.7	6.64	0.0595	8.78
เคสโสมมาตรฐาน	6.7	6.943	-0.243	23.26
เคสโสมมาตรฐาน	6.7	6.764	-0.0643	28.01
เคสโสมมาตรฐาน	6.8	6.91	-0.11	104.78
เคสโสมมาตรฐาน	6.8	6.96	-0.16	25.09
เคสโสมมาตรฐาน	6.9	6.843	0.0568	23.16
เคสโสมมาตรฐาน	7	6.747	0.253	19.85

ตารางที่ 23 สมการ calibration set ของนีสโทมาตรฐาน

File Name	TRUE	Fit	Residuum	Component Value Density
นีสโทมาตรฐาน	6	5.972	0.0277	36.07
นีสโทมาตรฐาน	6	6.134	-0.134	7.48
นีสโทมาตรฐาน	6	5.923	0.0766	42.73
นีสโทมาตรฐาน	6	6.04	-0.0399	25.08
นีสโทมาตรฐาน	6	5.869	0.131	32.36
นีสโทมาตรฐาน	6	5.823	0.177	43.47
นีสโทมาตรฐาน	6	5.883	0.117	60.47
นีสโทมาตรฐาน	6	5.958	0.0418	23.94
นีสโทมาตรฐาน	6	5.916	0.0839	62.23
นีสโทมาตรฐาน	6	5.978	0.0224	44.63
นีสโทมาตรฐาน	5.9	5.822	0.0783	46.12
นีสโทมาตรฐาน	5.9	5.838	0.062	26.3
นีสโทมาตรฐาน	5.9	5.749	0.151	20.07
นีสโทมาตรฐาน	5.9	5.854	0.0464	21.54
นีสโทมาตรฐาน	5.9	5.884	0.0159	62.8
นีสโทมาตรฐาน	5.9	5.861	0.0392	25.54
นีสโทมาตรฐาน	5.9	5.878	0.0224	44.62
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.918	-0.118	56.89
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.783	0.0173	57.88
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.879	-0.0789	47.36
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.813	-0.0126	79.42
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.775	0.0247	40.51
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.909	-0.109	109.51
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.777	0.0227	44.03
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.82	-0.0202	49.42
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.871	-0.0707	34.17
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.798	0.0019	526.66
นีสโทมาตรฐาน	5.8	5.881	-0.081	52.52
นีสโทมาตรฐาน	5.7	5.867	-0.167	30.39
นีสโทมาตรฐาน	5.7	5.854	-0.154	21.63

นีสโทสมมาตรฐาน	5.7	5.751	-0.0507	20.3
นีสโทสมมาตรฐาน	5.7	5.773	-0.0727	36.61
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.894	0.106	22.85
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.874	0.126	21.48
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.85	0.15	20.01
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.806	0.194	22.91
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.838	0.162	20.72
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.873	0.127	21.4
นีสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.886	0.0143	22.27
นีสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.735	0.165	23.05
นีสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.809	0.0915	22.69
นีสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.993	-0.0931	52.11
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.886	-0.0862	22.3
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.883	-0.0834	22.11
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.793	0.00651	22.84
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.739	0.0609	22.07
นีสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.944	-0.244	20.33
นีสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.82	-0.12	21.86
นีสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.873	-0.173	21.38
นีสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.779	-0.0786	21.78
นีสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.811	-0.111	22.5
นีสโทสมมาตรฐาน	4.6	4.77	-0.17	21.2
นีสโทสมมาตรฐาน	4	4.066	-0.0656	15.25
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.97	0.0304	32.91
นีสโทสมมาตรฐาน	4	4.001	-0.00139	720.92
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.954	0.0457	21.89
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.912	0.0882	29.73
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.963	0.0371	26.99
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.883	0.117	28.04
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.809	0.191	22.69
นีสโทสมมาตรฐาน	3.9	3.868	0.0321	23.61
นีสโทสมมาตรฐาน	3.9	3.938	-0.0384	22.2

นีสโทสมมาตรฐาน	3.9	3.877	0.0229	26.06
นีสโทสมมาตรฐาน	3.9	3.825	0.0749	21.53
นีสโทสมมาตรฐาน	3.9	3.849	0.0513	20.07
นีสโทสมมาตรฐาน	3.8	3.933	-0.133	23.31
นีสโทสมมาตรฐาน	3.8	3.823	-0.0234	21.64
นีสโทสมมาตรฐาน	3.8	3.789	0.0113	22.49
นีสโทสมมาตรฐาน	3.8	3.768	0.0323	21.07
นีสโทสมมาตรฐาน	3.7	3.902	-0.202	34.03
นีสโทสมมาตรฐาน	3.7	3.915	-0.215	28.72
นีสโทสมมาตรฐาน	3.7	3.851	-0.151	20.25

ตารางที่ 24 สมการ validation set ของนีสโทสมมาตรฐาน

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
นีสโทสมมาตรฐาน	6	6.031	-0.0313	31.98
นีสโทสมมาตรฐาน	6	5.815	0.185	65.61
นีสโทสมมาตรฐาน	6	5.871	0.129	35.04
นีสโทสมมาตรฐาน	6	5.838	0.162	26.31
นีสโทสมมาตรฐาน	5.9	5.818	0.0824	56.72
นีสโทสมมาตรฐาน	5.8	5.828	-0.0278	35.97
นีสโทสมมาตรฐาน	5.7	5.787	-0.0871	77.79
นีสโทสมมาตรฐาน	5.7	5.858	-0.158	23.89
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.988	0.0118	43.96
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.967	0.0329	26.47
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.864	0.136	20.86
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.925	0.0746	21.51
นีสโทสมมาตรฐาน	5	4.818	0.182	22.04
นีสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.861	0.0393	20.63
นีสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.802	0.0982	23.19
นีสโทสมมาตรฐาน	4.9	4.753	0.147	20.18
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.922	-0.122	21.76
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.801	-0.000666	23.28
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.832	-0.0324	21.06

นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.912	-0.112	22.47
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.87	-0.07	21.21
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.725	0.0748	25.4
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.738	0.0619	22.27
นีสโทสมมาตรฐาน	4.8	4.771	0.0291	21.27
นีสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.857	-0.157	20.42
นีสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.817	-0.117	22.1
นีสโทสมมาตรฐาน	4.7	4.737	-0.0372	22.46
นีสโทสมมาตรฐาน	4.6	4.797	-0.197	23.13
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.925	0.0746	25.36
นีสโทสมมาตรฐาน	4	4.024	-0.0243	41.08
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.96	0.04	24.99
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.967	0.0335	29.88
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.89	0.11	30.43
นีสโทสมมาตรฐาน	4	3.843	0.157	20.42
นีสโทสมมาตรฐาน	3.9	3.985	-0.0851	67.12
นีสโทสมมาตรฐาน	3.9	3.975	-0.0748	39.63
นีสโทสมมาตรฐาน	3.9	3.982	-0.0818	54.91
นีสโทสมมาตรฐาน	3.9	3.912	-0.0122	29.57
นีสโทสมมาตรฐาน	3.9	3.839	0.0613	20.67
นีสโทสมมาตรฐาน	3.8	3.807	-0.00695	22.8
นีสโทสมมาตรฐาน	3.8	3.873	-0.0728	24.85
นีสโทสมมาตรฐาน	3.8	3.913	-0.113	29.32
นีสโทสมมาตรฐาน	3.8	3.871	-0.0714	24.5
นีสโทสมมาตรฐาน	3.8	3.809	-0.00857	22.69
นีสโทสมมาตรฐาน	3.7	3.854	-0.154	20.78
นีสโทสมมาตรฐาน	3.7	3.873	-0.173	24.84
นีสโทสมมาตรฐาน	3.7	3.883	-0.183	27.89
นีสโทสมมาตรฐาน	3.7	3.864	-0.164	22.67

ตารางที่ 25 สมการ calibration set ของฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน

File Name	TRUE	Fit	Residuum	Component Value Density
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	6	6.024	-0.0238	26.25
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	6	5.963	0.0366	24.72
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	6	5.956	0.0445	21.71
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	6	6.037	-0.0374	19.36
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	6	5.886	0.114	72.64
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	6	5.87	0.13	33.23
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.9	5.853	0.0471	21.23
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.9	5.869	0.031	32.31
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.9	5.909	-0.00875	114.31
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.9	5.784	0.116	64.07
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.9	5.936	-0.036	27.79
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.9	5.997	-0.0966	59.77
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.9	5.88	0.0202	49.39
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.896	-0.0963	271.86
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.744	0.0559	21.06
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.752	0.0479	20.86
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.809	-0.00947	105.65
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.828	-0.0279	35.81
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.853	-0.0533	21.43
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.874	-0.0738	38.14
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.73	0.0696	24.03
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.786	0.0141	70.85
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.782	0.0181	55.35
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.815	-0.0149	67.29
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.728	0.0718	24.6
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.818	-0.0176	56.75
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.7	5.717	-0.0172	27.82
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.7	5.886	-0.186	73.73
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.7	5.714	-0.0138	29
ฟลักโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.7	5.675	0.0254	18.53

พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.7	5.761	-0.0607	25.44
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5	5.097	-0.097	5.08
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5	4.864	0.136	19.23
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.9	4.897	0.00307	17.64
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.9	4.741	0.159	24.68
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.9	4.729	0.171	34.13
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.8	4.862	-0.0625	19.31
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.8	4.888	-0.0884	18.02
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.8	4.784	0.016	28.24
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.8	4.733	0.0669	30.18
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.8	4.841	-0.0411	21.65
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.7	4.656	0.0437	22.87
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.7	4.714	-0.0142	70.39
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.7	4.804	-0.104	32.85
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.7	4.756	-0.0558	21.05
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.7	4.787	-0.0869	29.24
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.7	4.684	0.0161	62.29
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.7	4.702	-0.00222	451
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.7	4.739	-0.0394	25.36
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.7	4.72	-0.0196	50.99
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.7	4.699	0.000819	1221.4
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.6	4.639	-0.0391	17.3
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4	3.973	0.0267	21.43
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4	3.947	0.0532	19.82
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4	3.879	0.121	18.49
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4	3.93	0.0701	18.91
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.9	3.964	-0.0644	20.86
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.9	3.744	0.156	20.36
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.9	3.845	0.055	22.24
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.8	3.781	0.0189	53.04
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.8	3.762	0.0377	26.56
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.8	3.791	0.00945	105.87

พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.8	3.865	-0.0647	19.2
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.8	3.829	-0.0295	33.93
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.8	3.765	0.0346	28.87
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.8	3.784	0.0163	61.22
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.8	3.829	-0.0294	34.02
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.7	3.809	-0.109	115.21
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.7	3.777	-0.077	43.49
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.7	3.799	-0.099	1014.59
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.7	3.827	-0.127	37.33
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	3.6	3.63	-0.0298	10.75

ตารางที่ 26 สมการ validation set ของพริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	6	5.777	0.223	42.81
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	6	5.743	0.257	21.24
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	6	5.702	0.298	33.81
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.9	5.765	0.135	28.25
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.9	5.841	0.0595	24.69
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.8	5.738	0.0624	22.37
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.7	5.718	-0.0175	27.71
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.7	5.848	-0.148	20.71
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5.6	5.835	-0.235	28.19
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5	5.249	-0.249	2.86
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5	4.843	0.157	21.31
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	5	4.82	0.18	27.03
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.9	4.714	0.186	72.11
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.9	4.831	0.069	23.89
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.9	4.742	0.158	23.66
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.9	4.845	0.055	20.9
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.9	5.014	-0.114	8.75
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.8	4.618	0.182	13.66
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทสมาตรฐาน	4.8	4.593	0.207	10.77

พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4.8	4.669	0.131	32.53
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4.8	4.768	0.032	23.65
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4.8	4.57	0.23	8.68
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4.8	4.814	-0.0135	29.09
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4.8	4.719	0.0807	51.8
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4.8	4.712	0.0878	81.7
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4.8	4.648	0.152	19.47
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4.8	4.605	0.195	12.18
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4.7	4.012	0.688	18.16
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4.7	4.677	0.0228	43.94
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4	4.043	-0.0433	11.6
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4	3.939	0.0614	19.37
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	4	3.95	0.0498	20.01
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.9	4.04	-0.14	12.01
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.9	3.875	0.0252	18.68
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.9	3.947	-0.0469	19.82
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.9	3.825	0.0749	39.86
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.9	3.749	0.151	20.05
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.8	4.001	-0.201	22.83
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.8	4.053	-0.253	10.38
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.8	3.844	-0.0435	22.97
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.8	3.894	-0.0937	17.78
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.8	3.793	0.00664	150.49
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.8	3.911	-0.111	18.01
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.8	3.838	-0.0379	26.39
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.8	3.662	0.138	14.28
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.7	3.961	-0.261	20.65
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.7	3.963	-0.263	20.79
พริกโตฟูเรโนซิลินส์โทสมาตรฐาน	3.7	3.848	-0.148	20.83

ภาคผนวก ค

ค่าจากสมการที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR ของไช้รปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

ตารางที่ 27 สมการ calibration set ของชูโครสในไช้รปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Fit	Residuum	Component Value Density
ชูโครส	63.05	54.48	8.57	2.17
ชูโครส	59.12	55.85	3.27	1.75
ชูโครส	59.01	56.43	2.58	2.56
ชูโครส	58.35	57.14	1.21	3.08
ชูโครส	58.17	56.92	1.25	3.08
ชูโครส	58.13	56.05	2.08	1.88
ชูโครส	57.88	55.65	2.23	1.74
ชูโครส	57.88	56.84	1.04	3.31
ชูโครส	57.83	55.63	2.2	1.72
ชูโครส	57.83	57.86	-0.0315	25.75
ชูโครส	57.81	55.81	2	1.75
ชูโครส	57.78	55	2.78	1.66
ชูโครส	57.71	55.37	2.34	1.53
ชูโครส	57.71	55.64	2.07	1.72
ชูโครส	57.71	56.86	0.846	3.21
ชูโครส	57.44	51.27	6.17	2.07
ชูโครส	57.38	55.49	1.89	1.6
ชูโครส	57.18	55.53	1.65	1.63
ชูโครส	56.78	54.65	2.13	1.78
ชูโครส	56.66	57.38	-0.716	4.75
ชูโครส	56.61	57.23	-0.618	3.29
ชูโครส	56.37	57.18	-0.813	3.14
ชูโครส	55.66	55.12	0.54	1.64
ชูโครส	55.46	54.11	1.35	4.51
ชูโครส	55.09	55.53	-0.435	1.62
ชูโครส	54.34	58.11	-3.77	5.66
ชูโครส	54.15	54.62	-0.471	1.81
ชูโครส	54.11	53.07	1.04	16.2

ซูโครส	53.87	55.81	-1.94	1.75
ซูโครส	53.78	55.17	-1.39	1.59
ซูโครส	53.62	51.72	1.9	3.63
ซูโครส	53.46	53.01	0.448	18.52
ซูโครส	53.41	52.34	1.07	12.21
ซูโครส	53.34	52.02	1.32	19.13
ซูโครส	53.24	55.08	-1.84	1.66
ซูโครส	53.23	52.41	0.818	8.11
ซูโครส	53.23	54.39	-1.16	2.49
ซูโครส	53.08	55.12	-2.04	1.64
ซูโครส	53.03	53.79	-0.765	4.72
ซูโครส	53.02	53.45	-0.427	7.95
ซูโครส	53.02	51.17	1.85	1.76
ซูโครส	53.01	53.38	-0.368	10.24
ซูโครส	52.61	51.32	1.29	2.24
ซูโครส	52.41	52.26	0.147	13.48
ซูโครส	52.34	53.02	-0.68	20.69
ซูโครส	52.34	54.11	-1.77	4.49
ซูโครส	52.24	52.43	-0.187	7.5
ซูโครส	52.19	53.16	-0.968	10.53
ซูโครส	52.18	55	-2.82	1.66
ซูโครส	52.15	54.08	-1.93	4.51
ซูโครส	52.15	53.98	-1.83	4.51
ซูโครส	52.14	52.13	0.00698	230.42
ซูโครส	52.14	53.58	-1.44	5.66
ซูโครส	52.14	53.74	-1.6	4.72
ซูโครส	52.13	52.17	-0.0436	43.75
ซูโครส	52.13	52.22	-0.0901	19.33
ซูโครส	52.13	51.92	0.208	7.96
ซูโครส	52.13	52.96	-0.832	9.67
ซูโครส	52.08	51.7	0.381	3.38
ซูโครส	52.08	53.37	-1.29	10.63

ชูโครส	52.05	53.37	-1.32	10.44
ชูโครส	52.04	52.96	-0.915	9.1
ชูโครส	51.97	51.88	0.0925	6.45
ชูโครส	51.78	55.44	-3.66	1.58
ชูโครส	51.35	51.26	0.0935	2.04
ชูโครส	51.22	52.8	-1.58	4.43
ชูโครส	34.33	53.45	-19.1	7.93

ตารางที่ 28 สมการ validation set ของชูโครสในไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
ชูโครส	58.76	54.54	4.22	2.01
ชูโครส	58.67	55.27	3.4	1.53
ชูโครส	58.34	56.68	1.66	3.53
ชูโครส	58.32	56.47	1.85	2.66
ชูโครส	57.89	55.78	2.11	1.75
ชูโครส	57.81	56.87	0.937	3.18
ชูโครส	57.72	55.72	2	1.75
ชูโครส	57.65	55.84	1.81	1.75
ชูโครส	57.47	56.32	1.15	2.27
ชูโครส	57.45	51.46	5.99	2.54
ชูโครส	57.36	56.3	1.06	2.22
ชูโครส	57.34	54.72	2.62	1.71
ชูโครส	57.23	54.56	2.67	1.95
ชูโครส	57.14	56.38	0.761	2.46
ชูโครส	56.98	56.26	0.717	2.16
ชูโครส	56.78	55.56	1.22	1.65
ชูโครส	56.23	54.34	1.89	2.77
ชูโครส	55.78	54.23	1.55	3.51
ชูโครส	55.13	53.29	1.84	11.76
ชูโครส	54.98	56.02	-1.04	1.84
ชูโครส	54.98	55.99	-1.01	1.81
ชูโครส	54.56	54.5	0.0603	2.11

ซูโครส	54.46	55.63	-1.17	1.72
ซูโครส	54.23	52.98	1.25	12.48
ซูโครส	54.12	54.77	-0.654	1.66
ซูโครส	53.78	53.99	-0.211	4.51
ซูโครส	53.44	53.69	-0.25	5
ซูโครส	53.42	55.29	-1.87	1.53
ซูโครส	53.34	52.6	0.738	4.02
ซูโครส	53.24	54.9	-1.66	1.66
ซูโครส	53.23	54.8	-1.57	1.66
ซูโครส	53.11	54.34	-1.23	2.78
ซูโครส	53.09	54.33	-1.24	2.81
ซูโครส	52.45	54.94	-2.49	1.66
ซูโครส	52.43	54.05	-1.62	4.51
ซูโครส	52.35	52.91	-0.558	6.54
ซูโครส	52.17	55.38	-3.21	1.53
ซูโครส	52.15	52.35	-0.202	11.37
ซูโครส	52.15	54.07	-1.92	4.51
ซูโครส	52.14	51.86	0.276	6.09
ซูโครส	51.98	53.79	-1.81	4.72
ซูโครส	51.98	52.79	-0.81	4.32
ซูโครส	51.77	54.7	-2.93	1.72
ซูโครส	51.34	55.13	-3.79	1.63

ตารางที่ 29 สมการ calibration set ของกลูโคสในไฮรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Fit	Residuum	Component Value Density
กลูโคส	98.08	57.48	40.6	5.99
กลูโคส	58.11	57.5	0.608	5.46
กลูโคส	58.31	57.43	0.882	7.47
กลูโคส	58.16	57.44	0.723	7.15
กลูโคส	58.12	57.38	0.743	11.71
กลูโคส	56.88	57.37	-0.488	13.06
กลูโคส	56.89	57.36	-0.472	14.27
กลูโคส	57.73	57.08	0.651	37.5
กลูโคส	56.47	57.1	-0.626	29.5
กลูโคส	58.12	57.15	0.969	11.81
กลูโคส	58.33	57.19	1.14	8.85
กลูโคส	58.04	57.13	0.909	15.49
กลูโคส	57.32	57.18	0.141	9.26
กลูโคส	56.33	57.03	-0.703	29.38
กลูโคส	54.55	57.19	-2.64	9.08
กลูโคส	56.89	57.18	-0.292	9.17
กลูโคส	57.11	58.3	-1.19	14.27
กลูโคส	57.33	58.29	-0.958	13.54
กลูโคส	56	58.32	-2.32	14.71
กลูโคส	56	57.33	-1.33	23.88
กลูโคส	54.98	57.33	-2.35	23.25
กลูโคส	57	57.2	-0.205	8.7
กลูโคส	58.11	57.24	0.871	10.44
กลูโคส	56.23	57.24	-1.01	10.91
กลูโคส	57.33	57.31	0.018	21.27
กลูโคส	58.64	57.21	1.43	8.73
กลูโคส	58.32	57.22	1.1	9.17
กลูโคส	56.22	57.2	-0.975	8.82
กลูโคส	54.22	57.45	-3.23	6.86
กลูโคส	56.14	57.37	-1.23	13.28

กลูโคส	56.03	57.45	-1.42	6.78
กลูโคส	57.04	57.25	-0.207	11.11
กลูโคส	57.01	57.2	-0.186	8.8
กลูโคส	56.03	57.16	-1.13	10.53
กลูโคส	55.67	57.19	-1.52	8.85
กลูโคส	58.34	57.19	1.15	8.91
กลูโคส	57.83	57.14	0.686	12.91
กลูโคส	56.33	57.11	-0.781	22.67
กลูโคส	57.09	57.35	-0.263	16.27
กลูโคส	56.34	57.31	-0.965	19.44
กลูโคส	56.02	57.31	-1.29	19.55
กลูโคส	56.44	57.41	-0.97	8.43
กลูโคส	56.38	57.42	-1.04	7.66
กลูโคส	57.32	57.42	-0.098	7.92
กลูโคส	56.33	57.43	-1.1	7.32
กลูโคส	57.08	57.44	-0.356	7.2
กลูโคส	56.02	57.31	-1.29	19.54
กลูโคส	57.34	57.38	-0.0394	11.4
กลูโคส	58.01	57.44	0.567	6.97
กลูโคส	56.22	57.47	-1.25	6.2
กลูโคส	56	58.39	-2.39	8.21
กลูโคส	54.98	57.27	-2.29	13.43
กลูโคส	55.79	57.24	-1.45	10.88
กลูโคส	55.86	57.34	-1.48	19.15
กลูโคส	55.8	57.31	-1.51	20.35
กลูโคส	55.87	57.28	-1.41	15.27
กลูโคส	56.23	57.18	-0.947	9.38
กลูโคส	56.45	57.25	-0.799	11.25
กลูโคส	58	57.52	0.482	5.17
กลูโคส	56.45	57.5	-1.05	5.48
กลูโคส	55.87	57.14	-1.27	13.13
กลูโคส	55.77	57.25	-1.48	11.1

กลูโคส	55.88	57.17	-1.29	9.81
กลูโคส	56.03	57.26	-1.23	12
กลูโคส	56.66	57.27	-0.61	13.39
กลูโคส	57.07	57.02	0.0453	27.19
กลูโคส	56.45	57.02	-0.573	26.72

ตารางที่ 30 สมการ validation set ของกลูโคสในไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
กลูโคส	57.45	57.44	0.0137	7.18
กลูโคส	55.74	57.29	-1.55	16.29
กลูโคส	57.02	57.51	-0.488	5.35
กลูโคส	57.23	57.53	-0.304	4.89
กลูโคส	57.89	57.4	0.495	9.68
กลูโคส	56.43	57.13	-0.699	16.06
กลูโคส	53.67	57.03	-3.36	28.99
กลูโคส	56.67	57.17	-0.495	10.15
กลูโคส	56.91	57.18	-0.265	9.52
กลูโคส	57.41	56.98	0.43	15.82
กลูโคส	56.38	57.29	-0.905	15.42
กลูโคส	56.05	57.38	-1.33	10.77
กลูโคส	57	57.24	-0.239	10.44
กลูโคส	56.33	57.24	-0.906	10.26
กลูโคส	56.23	57.26	-1.03	12.76
กลูโคส	58.34	57.23	1.11	10.03
กลูโคส	56.22	57.23	-1.01	9.57
กลูโคส	54.89	57.24	-2.35	10.82
กลูโคส	56.23	57.47	-1.24	6.3
กลูโคส	56.09	57.45	-1.36	6.72
กลูโคส	56.04	57.42	-1.38	8.05
กลูโคส	58.07	57.13	0.939	15.61
กลูโคส	56.08	57.47	-1.39	6.22
กลูโคส	56.33	57.33	-1	23.92
กลูโคส	57.02	57.21	-0.189	8.79

กลูโคส	57.15	57.21	-0.0571	8.75
กลูโคส	56.09	57.15	-1.06	11.83
กลูโคส	58.04	57.54	0.498	4.77
กลูโคส	57.03	57.43	-0.398	7.48
กลูโคส	57.47	57.49	-0.0224	5.66
กลูโคส	58.02	57.4	0.619	9.18
กลูโคส	56.24	58.32	-2.08	15
กลูโคส	58.22	58.33	-0.112	14
กลูโคส	56.45	57.22	-0.773	9.41
กลูโคส	55.89	57.19	-1.3	8.94
กลูโคส	55.88	57.14	-1.26	12.85
กลูโคส	57.443	57.14	0.306	14.27
กลูโคส	56.22	57.25	-1.03	11.14
กลูโคส	55.99	57.48	-1.49	6.03
กลูโคส	55.89	57.22	-1.33	9.1
กลูโคส	55.87	57.1	-1.23	29.36
กลูโคส	55.96	57.14	-1.18	14.02
กลูโคส	56.02	57.31	-1.29	20.53
กลูโคส	56.67	57.02	-0.346	25.12

ตารางที่ 31 สมการ calibration set ของฟรุคโตสในไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Fit	Residuum	Component Value Density
ฟรุคโตส	98.08	57.35	40.7	7.04
ฟรุคโตส	58.64	56.98	1.66	17.44
ฟรุคโตส	58.34	57.01	1.33	28.27
ฟรุคโตส	58.33	56.97	1.36	15.35
ฟรุคโตส	58.32	56.99	1.33	19.54
ฟรุคโตส	58.12	56.88	1.24	8.17
ฟรุคโตส	58.11	57.37	0.739	6.48
ฟรุคโตส	58.04	56.85	1.19	6.9
ฟรุคโตส	58.02	58.57	-0.549	3.53

พรุกโตส	58.01	57.28	0.728	8.08
พรุกโตส	57.89	57.24	0.649	8.08
พรุกโตส	57.73	56.79	0.942	5.27
พรุกโตส	57.443	57.42	0.0256	5.47
พรุกโตส	57.33	58.51	-1.18	4.1
พรุกโตส	57.32	56.94	0.38	12.02
พรุกโตส	57.15	57.45	-0.304	5.04
พรุกโตส	57.11	58.54	-1.43	3.79
พรุกโตส	57.09	57.27	-0.185	8.08
พรุกโตส	57.03	58.67	-1.64	2.78
พรุกโตส	57.02	57.4	-0.383	5.7
พรุกโตส	57.01	56.95	0.0601	13.03
พรุกโตส	57	57.02	-0.0205	30
พรุกโตส	56.89	57.2	-0.309	8.98
พรุกโตส	56.66	56.74	-0.0755	4.55
พรุกโตส	56.47	56.81	-0.34	5.72
พรุกโตส	56.45	57.05	-0.598	25.37
พรุกโตส	56.45	57.05	-0.603	24.39
พรุกโตส	56.44	57.35	-0.908	7.17
พรุกโตส	56.38	57.3	-0.919	8.08
พรุกโตส	56.34	57.28	-0.938	8.08
พรุกโตส	56.33	56.73	-0.399	4.55
พรุกโตส	56.33	57.12	-0.795	15.4
พรุกโตส	56.33	57.23	-0.895	8.32
พรุกโตส	56.33	56.91	-0.585	9.97
พรุกโตส	56.23	57.05	-0.818	25.4
พรุกโตส	56.23	57.05	-0.817	25.53
พรุกโตส	56.23	56.91	-0.679	9.65
พรุกโตส	56.23	57.05	-0.816	25.95
พรุกโตส	56.22	57.02	-0.795	28.59
พรุกโตส	56.22	57.25	-1.03	8.08
พรุกโตส	56.22	57.39	-1.17	6.09

พรุกโตส	56.14	57.21	-1.07	8.79
พรุกโตส	56.09	57.35	-1.26	6.96
พรุกโตส	56.08	57.14	-1.06	13.09
พรุกโตส	56.04	56.87	-0.832	7.47
พรุกโตส	56.03	56.94	-0.91	12.03
พรุกโตส	56.03	56.75	-0.715	4.62
พรุกโตส	56.02	57.29	-1.27	8.08
พรุกโตส	56.02	57	-0.979	22.59
พรุกโตส	56.02	56.74	-0.724	4.61
พรุกโตส	56	58.56	-2.56	3.62
พรุกโตส	56	57.02	-1.02	30
พรุกโตส	55.99	57	-1.01	22.61
พรุกโตส	55.89	56.94	-1.05	12.23
พรุกโตส	55.88	57.05	-1.17	25.24
พรุกโตส	55.88	57.1	-1.22	19.64
พรุกโตส	55.87	56.89	-1.02	8.81
พรุกโตส	55.87	56.83	-0.957	6.1
พรุกโตส	55.87	57.06	-1.19	22.8
พรุกโตส	55.8	56.95	-1.15	12.56
พรุกโตส	55.74	57.07	-1.33	21.6
พรุกโตส	54.89	57.06	-2.17	23.42
พรุกโตส	54.55	56.94	-2.39	12.34
พรุกโตส	54.22	57.3	-3.08	8.08
พรุกโตส	53.67	56.71	-3.04	4.8

ตารางที่ 32 สมการ validation set ของพรุกโตสในไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
พรุกโตส	58.34	56.96	1.38	14.49
พรุกโตส	58.31	57.3	1.01	8.08
พรุกโตส	58.22	56.97	1.25	16.11
พรุกโตส	58.16	57.28	0.879	8.08
พรุกโตส	58.12	57.2	0.919	8.93

พริกโตส	58.11	57.04	1.07	28.23
พริกโตส	58.07	57.13	0.945	15.32
พริกโตส	58.04	57.4	0.644	5.84
พริกโตส	58	56.9	1.1	8.9
พริกโตส	57.83	57.19	0.641	9.25
พริกโตส	57.47	58.55	-1.08	3.69
พริกโตส	57.45	57.29	0.159	8.08
พริกโตส	57.41	56.68	0.732	5.31
พริกโตส	57.34	56.97	0.366	16.54
พริกโตส	57.33	57.13	0.202	14.9
พริกโตส	57.32	57.31	0.00754	8.08
พริกโตส	57.23	57.42	-0.191	5.43
พริกโตส	57.08	57.15	-0.0695	12.29
พริกโตส	57.04	57.05	-0.00974	25.05
พริกโตส	57.02	57.32	-0.304	7.98
พริกโตส	57	56.98	0.0203	17.58
พริกโตส	56.91	56.93	-0.018	10.95
พริกโตส	56.89	56.94	-0.0486	11.87
พริกโตส	56.88	57.19	-0.312	9.16
พริกโตส	56.67	56.92	-0.25	10.34
พริกโตส	56.45	57.38	-0.929	6.26
พริกโตส	56.43	56.84	-0.411	6.48
พริกโตส	56.38	57.1	-0.718	19.56
พริกโตส	56.33	57.03	-0.698	30
พริกโตส	56.24	57.08	-0.841	20.69
พริกโตส	56.22	56.97	-0.746	15.13
พริกโตส	56.09	56.89	-0.796	8.29
พริกโตส	56.05	57.22	-1.17	8.4
พริกโตส	56.03	57.29	-1.26	8.08
พริกโตส	56	57.16	-1.16	11.47
พริกโตส	55.96	57.14	-1.18	13.27
พริกโตส	55.89	57.13	-1.24	14.48

พริกโตส	55.86	56.92	-1.06	10.03
พริกโตส	55.79	57.08	-1.29	20.69
พริกโตส	55.77	56.89	-1.12	8.69
พริกโตส	55.67	56.97	-1.3	16.27
พริกโตส	54.98	57.15	-2.17	11.72
พริกโตส	54.98	57.18	-2.2	9.38

ตารางที่ 33 สมการ calibration set ของเคสโทสไนโซรปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Fit	Residuuum	Component Value Density
เคสโทส	61.67	58.55	3.12	12.46
เคสโทส	60.56	58.07	2.49	3.11
เคสโทส	60.56	59.44	1.12	10.61
เคสโทส	60.48	59.7	0.783	39.11
เคสโทส	60.44	60.12	0.316	7.86
เคสโทส	60.35	60.04	0.305	5.88
เคสโทส	60.35	58.18	2.17	3.11
เคสโทส	60.34	59.51	0.826	11.42
เคสโทส	60.33	59.51	0.822	11.02
เคสโทส	60.25	59.51	0.735	11.53
เคสโทส	60.24	59.66	0.579	92.7
เคสโทส	60.21	58.15	2.06	3.11
เคสโทส	60.14	59.76	0.382	20.69
เคสโทส	59.87	59.9	-0.0268	9.36
เคสโทส	59.86	58.94	0.919	25.86
เคสโทส	59.78	58.47	1.31	7.43
เคสโทส	59.78	59.07	0.706	24.23
เคสโทส	59.76	58.25	1.51	3.24
เคสโทส	59.69	58.71	0.976	39.67
เคสโทส	59.67	59.92	-0.252	7.71
เคสโทส	59.67	58.37	1.3	4.46
เคสโทส	59.67	58.58	1.09	15.64
เคสโทส	59.67	58.67	1	369.82

เคสโทส	59.66	60.12	-0.456	7.38
เคสโทส	59.6	58.29	1.31	3.39
เคสโทส	59.56	59.22	0.338	6.56
เคสโทส	59.54	59.34	0.198	7.79
เคสโทส	59.45	59.34	0.107	7.82
เคสโทส	59.35	59.42	-0.0737	9.96
เคสโทส	59.35	59.3	0.0476	6.48
เคสโทส	59.11	59.11	0.00208	15.72
เคสโทส	59.05	58.47	0.582	7.53
เคสโทส	59.04	58.83	0.213	19.14
เคสโทส	59.03	58.51	0.518	9.66
เคสโทส	59.03	59.26	-0.229	6.32
เคสโทส	59.01	58.61	0.399	18.38
เคสโทส	58.98	59.93	-0.946	7.56
เคสโทส	58.97	58.15	0.82	3.11
เคสโทส	58.93	58.61	0.321	18.13
เคสโทส	58.91	59.76	-0.853	20.31
เคสโทส	58.88	58.29	0.588	3.43
เคสโทส	58.88	58.71	0.172	36.43
เคสโทส	58.78	59.17	-0.393	7.79
เคสโทส	58.78	59.27	-0.491	6.32
เคสโทส	58.77	58.79	-0.0185	66.03
เคสโทส	58.77	59.44	-0.669	10.48
เคสโทส	58.77	59.33	-0.557	7.2
เคสโทส	58.77	58.16	0.613	3.11
เคสโทส	58.74	59.2	-0.461	6.88
เคสโทส	58.73	58.35	0.379	4.1
เคสโทส	58.73	58.73	-0.000908	60
เคสโทส	58.72	57.98	0.738	3.17
เคสโทส	58.67	59.05	-0.384	36.29
เคสโทส	58.67	58	0.674	3.12
เคสโทส	58.67	58.39	0.28	4.88

เคสโทส	58.67	58.62	0.0478	21.66
เคสโทส	58.67	59.24	-0.568	6.34
เคสโทส	58.66	59.01	-0.346	40.29
เคสโทส	58.57	57.93	0.638	3.17
เคสโทส	58.55	58.87	-0.317	19.67
เคสโทส	58.45	58.67	-0.222	256.04
เคสโทส	57.98	58.94	-0.959	26.26
เคสโทส	57.89	58.9	-1.01	25.4
เคสโทส	57.77	58.55	-0.777	12.48
เคสโทส	57.43	58.95	-1.52	25
เคสโทส	57.04	59.23	-2.19	6.52
เคสโทส	38.38	58.18	-19.8	3.11

ตารางที่ 34 สมการ validation set ของเคสโทสในไซร้กล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
เคสโทส	60.45	60.07	0.383	6.15
เคสโทส	60.43	58.57	1.86	14.84
เคสโทส	60.35	60.12	0.23	7.59
เคสโทส	60.35	58.62	1.73	22.3
เคสโทส	60.34	58.21	2.13	3.11
เคสโทส	60.25	59.24	1.01	6.32
เคสโทส	60.24	57.98	2.26	3.16
เคสโทส	60.23	58.97	1.26	27.55
เคสโทส	60.11	59.61	0.497	21.06
เคสโทส	59.87	58.87	0.999	20.15
เคสโทส	59.78	58.16	1.62	3.11
เคสโทส	59.76	58.15	1.61	3.11
เคสโทส	59.74	59.39	0.352	8.9
เคสโทส	59.68	59.07	0.607	24.73
เคสโทส	59.67	59.26	0.407	6.32
เคสโทส	59.63	59.98	-0.349	5.95
เคสโทส	59.58	59.08	0.499	21.99

เคสโทส	59.56	58.99	0.567	34.45
เคสโทส	59.45	58.34	1.11	3.97
เคสโทส	59.36	59.34	0.0237	7.55
เคสโทส	59.35	57.85	1.5	3.05
เคสโทส	59.34	59.2	0.138	6.86
เคสโทส	59.06	58.84	0.222	17.83
เคสโทส	59.04	58.66	0.377	163.82
เคสโทส	59.03	58.91	0.125	27.33
เคสโทส	59.01	58.99	0.021	32.96
เคสโทส	58.97	57.95	1.02	3.17
เคสโทส	58.93	58.38	0.55	4.64
เคสโทส	58.9	59.05	-0.154	35.95
เคสโทส	58.88	58.62	0.255	22.93
เคสโทส	58.79	59.61	-0.822	21.02
เคสโทส	58.77	58.21	0.555	3.11
เคสโทส	58.76	58.74	0.0177	57.4
เคสโทส	58.73	59.58	-0.854	18.03
เคสโทส	58.72	58.65	0.0687	58.89
เคสโทส	58.67	58.49	0.183	8.31
เคสโทส	58.66	58.83	-0.169	18.84
เคสโทส	58.56	59.32	-0.756	6.85
เคสโทส	58.55	59.19	-0.639	7.09
เคสโทส	58.52	58.92	-0.4	28.57
เคสโทส	58.34	58.57	-0.23	14.67
เคสโทส	57.98	59.77	-1.79	20.63
เคสโทส	57.98	58.54	-0.564	12.16
เคสโทส	57.9	58.11	-0.213	3.11

ตารางที่ 35 สมการ calibration set ของนิสโทสไนโซรปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Fit	Residuuum	Component Value Density
นิสโทส	59.32	53.77	5.55	17.96
นิสโทส	55.73	53.52	2.21	12.63
นิสโทส	55.11	53.73	1.38	9.9
นิสโทส	54.32	53.65	0.673	7.69
นิสโทส	54.22	53.81	0.414	30.89
นิสโทส	54.22	53.76	0.461	14.02
นิสโทส	54.14	53.66	0.482	7.76
นิสโทส	54.12	53.67	0.449	8.03
นิสโทส	54.09	53.78	0.308	20.55
นิสโทส	54.08	53.73	0.351	9.92
นิสโทส	54.06	53.89	0.174	150.01
นิสโทส	54.05	53.76	0.294	13.43
นิสโทส	54.03	53.36	0.673	13.18
นิสโทส	54.03	53.7	0.333	8.62
นิสโทส	54.02	53.81	0.211	32.42
นิสโทส	54.02	53.7	0.319	8.73
นิสโทส	54.02	53.75	0.271	12.39
นิสโทส	54.02	53.77	0.245	18.12
นิสโทส	54.01	53.69	0.319	8.46
นิสโทส	53.99	53.71	0.278	9.01
นิสโทส	53.99	53.72	0.268	9.47
นิสโทส	53.99	53.75	0.242	12.26
นิสโทส	53.98	53.71	0.274	8.86
นิสโทส	53.98	53.78	0.196	21.22
นิสโทส	53.9	53.59	0.313	9.19
นิสโทส	53.89	53.64	0.255	7.69
นิสโทส	53.89	53.71	0.177	9.03
นิสโทส	53.88	53.68	0.198	8.26
นิสโทส	53.88	53.82	0.063	36.13
นิสโทส	53.88	53.87	0.00513	199.96

นีสโทส	53.87	53.78	0.0859	21.15
นีสโทส	53.87	53.69	0.176	8.55
นีสโทส	53.87	53.78	0.087	20.83
นีสโทส	53.83	53.57	0.257	9.94
นีสโทส	53.82	53.28	0.542	17.88
นีสโทส	53.81	53.26	0.545	19.37
นีสโทส	53.78	53.7	0.0761	8.8
นีสโทส	53.59	53.66	-0.0707	7.81
นีสโทส	53.56	53.72	-0.16	9.36
นีสโทส	53.48	53.76	-0.283	15.02
นีสโทส	53.44	53.78	-0.337	18.94
นีสโทส	53.41	53.31	0.0999	14.28
นีสโทส	53.39	53.65	-0.256	7.69
นีสโทส	53.29	53.69	-0.404	8.55
นีสโทส	53.26	53.76	-0.495	13.37
นีสโทส	53.23	53.71	-0.475	8.83
นีสโทส	53.22	53.78	-0.56	19.97
นีสโทส	53.19	53.8	-0.615	29.74
นีสโทส	53.12	53.36	-0.242	13.46
นีสโทส	53.09	53.57	-0.476	10.44
นีสโทส	53.09	53.64	-0.551	7.69
นีสโทส	53.08	53.75	-0.67	12.55
นีสโทส	53.05	53.62	-0.572	7.86
นีสโทส	53.05	53.69	-0.641	8.47
นีสโทส	53.05	53.8	-0.748	26.55
นีสโทส	53.04	53.72	-0.685	9.67
นีสโทส	53.03	53.72	-0.694	9.62
นีสโทส	53.02	53.64	-0.617	7.69
นีสโทส	53.02	53.73	-0.714	10.42
นีสโทส	53.01	53.43	-0.418	15.38
นีสโทส	52.98	53.74	-0.764	11.67
นีสโทส	52.89	53.5	-0.605	14.27

นีสโทส	52.88	53.44	-0.562	15.38
นีสโทส	52.09	53.63	-1.54	7.7
นีสโทส	52.01	53.72	-1.71	9.11
นีสโทส	51.99	53.51	-1.52	13.43
นีสโทส	51.88	53.75	-1.87	12.52

ตารางที่ 36 สมการ validation set ของนีสโทสในไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
นีสโทส	55.02	53.53	1.49	12.21
นีสโทส	54.88	53.72	1.16	9.22
นีสโทส	54.56	53.63	0.931	7.71
นีสโทส	54.23	53.52	0.706	12.58
นีสโทส	54.22	53.5	0.718	13.81
นีสโทส	54.22	53.62	0.599	7.87
นีสโทส	54.14	53.41	0.725	15.38
นีสโทส	54.09	53.76	0.333	13.62
นีสโทส	54.08	53.76	0.316	15.18
นีสโทส	54.06	53.65	0.411	7.69
นีสโทส	54.05	53.74	0.309	11.22
นีสโทส	54.03	53.74	0.286	11.58
นีสโทส	54.02	53.66	0.363	7.73
นีสโทส	53.99	53.73	0.261	9.96
นีสโทส	53.98	53.72	0.258	9.51
นีสโทส	53.97	53.76	0.215	13.39
นีสโทส	53.9	53.78	0.124	18.66
นีสโทส	53.89	53.58	0.307	9.36
นีสโทส	53.88	53.7	0.182	8.66
นีสโทส	53.87	53.74	0.13	11.11
นีสโทส	53.82	53.41	0.413	15.38
นีสโทส	53.79	53.61	0.177	8.04
นีสโทส	53.67	53.48	0.191	15.38
นีสโทส	53.58	53.63	-0.0478	7.74

นีสโทส	53.54	53.72	-0.179	9.33
นีสโทส	53.46	53.71	-0.248	8.89
นีสโทส	53.39	53.63	-0.236	7.78
นีสโทส	53.26	53.53	-0.265	12.49
นีสโทส	53.25	53.79	-0.543	24.17
นีสโทส	53.22	53.76	-0.538	13.96
นีสโทส	53.19	53.81	-0.622	34.09
นีสโทส	53.17	53.51	-0.344	13.09
นีสโทส	53.12	53.62	-0.498	7.94
นีสโทส	53.09	53.83	-0.744	40
นีสโทส	53.08	53.67	-0.593	8.07
นีสโทส	53.05	53.5	-0.445	14.28
นีสโทส	53.04	53.69	-0.647	8.37
นีสโทส	53.02	53.61	-0.594	8.03
นีสโทส	53.01	53.63	-0.622	7.69
นีสโทส	52.98	53.74	-0.762	11.36
นีสโทส	52.9	53.74	-0.839	10.94
นีสโทส	52.89	53.64	-0.752	7.69
นีสโทส	52.88	53.89	-1.01	150.01
นีสโทส	52.88	53.71	-0.829	8.93

ตารางที่ 37 สมการ calibration set ของฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทสในไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Fit	Residuum	Component Value Density
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.83	55.5	1.33	22.73
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.82	55.42	1.4	27.61
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.47	55.4	1.07	22.22
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.34	55.49	0.851	28.96
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.27	55.43	0.841	38.06
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.11	55.51	0.603	19.17
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.04	55.04	0.996	21.64
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.02	54.92	1.1	18.42
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.01	55.13	0.879	10.24

พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.98	55.37	0.608	26.73
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.98	55.24	0.735	10.51
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.98	55.07	0.912	18.38
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.98	55.56	0.424	10.67
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.98	55.48	0.504	38.76
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.93	55.56	0.369	10.49
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.89	55.55	0.34	10.89
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.87	54.63	1.24	4.98
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.87	55.38	0.49	25.01
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.87	55.29	0.58	14.3
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.87	55.71	0.157	27.27
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.84	55.49	0.353	30.44
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.84	55.52	0.319	15.11
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.83	55.7	0.132	30.59
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.82	55.56	0.262	10.6
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.78	55.61	0.168	12.46
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.78	55.63	0.146	16.06
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.78	55.42	0.361	28.08
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.78	55.67	0.111	29.46
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.78	55.31	0.473	16.96
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.77	54.97	0.8	103.13
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.76	55.6	0.163	11.2
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.73	55.68	0.0463	33.33
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.69	55.37	0.324	28.39
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.68	54.99	0.69	123.01
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.67	55.35	0.323	32.25
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.65	55.22	0.434	9.17
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.49	55.15	0.342	9.21
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.47	55.61	-0.142	12.5
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.46	55.6	-0.138	11.24
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.45	55.55	-0.0971	11.14
พริกโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.43	55.33	0.0972	24.69

พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.43	55.36	0.0741	31.29
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.35	55.31	0.0377	18.15
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.35	55.45	-0.104	54.55
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.34	54.91	0.426	18.03
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.34	55.06	0.279	19.23
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.23	54.83	0.402	27.27
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.09	55.63	-0.539	14.84
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.08	55.32	-0.237	19.12
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.03	55.24	-0.214	10.49
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.99	55.72	-0.729	27.27
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.98	55.57	-0.586	10.34
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.98	55.13	-0.152	10.22
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.98	55.23	-0.245	9.7
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.98	55.33	-0.351	23.66
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.98	55.62	-0.64	13.33
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.98	55.4	-0.416	22.22
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.88	54.92	-0.0404	18.79
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.88	55.22	-0.341	9.43
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.83	55.68	-0.848	32.44
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.81	55.51	-0.699	18.39
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.78	55.41	-0.632	24.62
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.78	55.69	-0.908	33.33
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.09	55.36	-1.27	31.18
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.03	55.21	-1.18	9.02
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	53.99	55.09	-1.1	15.91
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	44.47	55.07	-10.6	18.25

ตารางที่ 38 สมการ validation set ของฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทสในไซรัปกล้วยตากเพื่อสุขภาพ

File Name	TRUE	Prediction	Difference	Component Value Density
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.38	55.66	0.717	26.39
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.23	55.67	0.556	31.21
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.16	55.5	0.664	24.66
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.14	55.59	0.547	11.05
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.05	55.53	0.524	14.16
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.04	55.5	0.544	24.2
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	56.013	54.87	1.14	20.02
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.98	55.17	0.814	8.45
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.93	55.55	0.38	10.9
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.92	55.45	0.468	54.55
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.89	55.63	0.256	16.05
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.87	54.74	1.13	11.69
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.83	54.68	1.15	6.61
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.82	55.65	0.173	20.32
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.78	54.89	0.894	18.04
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.77	55.19	0.582	8.45
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.76	55.57	0.19	10.34
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.71	55.2	0.507	8.77
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.69	55.45	0.238	54.55
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.68	55.52	0.159	15.11
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.67	55.04	0.628	21.94
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.66	55.48	0.178	33.98
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.63	55.21	0.417	9.04
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.48	54.82	0.663	27.27
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.45	54.85	0.598	22.69
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.43	55.58	-0.146	10.39
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.38	55.45	-0.0695	54.02
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.35	54.82	0.532	27.27
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.34	55.08	0.264	17.56
ฟรุคโตฟูเรโนซิลนีสโทส	55.23	55.46	-0.23	54.55

พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.12	55.05	0.0738	21.25
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.09	55.21	-0.123	9.03
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	55.02	55.16	-0.136	8.79
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.99	55.68	-0.687	32.12
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.98	54.88	0.0977	18.49
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.92	55.61	-0.688	12.08
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.89	55.08	-0.191	16.98
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.86	55.45	-0.59	54.27
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.82	55.59	-0.766	10.74
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.78	55.13	-0.353	10.12
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.69	55.54	-0.852	11.61
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.57	55.58	-1.01	10.7
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.43	55.49	-1.06	29.68
พริกโตปุเรโนซิลนีสโทส	54.01	55.06	-1.05	19.12

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ – นามสกุล	นายบัณฑิต อินณวงศ์
ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์ระดับ 8
ตำแหน่งทางวิชาการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.
สังกัด	ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
โทรศัพท์/โทรสาร	034-252-409
E-mail	b_innawong@yahoo.com
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, เกียรตินิยม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ประเทศไทย ปีที่จบ พ.ศ. 2534 ปริญญาโท สาขา Food Science and Technology (Food Engineering) สถาบัน Virginia Polytechnic Institute and State University, USA ปีที่จบ พ.ศ. 2541 ปริญญาเอก สาขา Biological Systems Engineering (Food Engineering) สถาบัน Virginia Polytechnic Institute and State University, USA ปีที่จบ พ.ศ. 2541
สาขาที่เชี่ยวชาญ	Frying Technology Fat and Oil Technology / Fat and Oil Chemistry Meat Science and Technology Food Engineering and Biological System Engineering Canning Technology Emulsifiers and Antioxidants in Food
ประสบการณ์ทำงาน	พ.ศ. 2534 – 2536 Dole Thailand Co., Ltd. (โรงงานผลิตสับปะรดบรรจุกระป๋อง) พ.ศ. 2536 บริษัท ไทยวา จำกัด (มหาชน) (โรงงานผลิตแป้งตัดแปรร) พ.ศ. 2538 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2546 – ปัจจุบัน ผู้ประสานงานชุดโครงการการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหาร (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย; สกว.) พ.ศ. 2556 – ปัจจุบัน ผู้จัดการศูนย์วิจัยอุตสาหกรรมเกษตรร่วมกับเครือข่ายพันธมิตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประสบการณ์วิจัย

- การเพิ่มศักยภาพของผลิตภัณฑ์เกษตรแปรรูป (สวก.)

- การพัฒนาระบบการทอดแบบพ่นฝอยเพื่อสร้างทางเลือกใหม่สำหรับการเพิ่มศักยภาพทางการตลาดในอุตสาหกรรมอาหารทอด (วช.)
- การพัฒนาวิธีการ และเครื่องมือวัดสี และข้อบกพร่องในอุตสาหกรรมอาหารทอดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย เพื่อสร้างมาตรฐานสำหรับการควบคุมคุณภาพ (สวพ. ม.ศิลปากร)
- การศึกษาการใช้สารช่วยกรองเพื่อยืดอายุน้ำมันทอดที่มีผลต่อการเลือกดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำมันและความเป็นพิษต่อเซลล์ตับและไต (สวพ. ม.ศิลปากร)
- การพัฒนาองค์รวมของกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวภายใต้แนวคิดด้านปลอดภัย คุณภาพ ประสิทธิภาพ แบบยั่งยืน (สกอ.)
- การวิเคราะห์ภาพรวมงบประมาณด้านการวิจัยของประเทศ ประจำปี 2551 (วช.)
- การศึกษาปัจจัยและกระบวนการเพื่อพัฒนาระบบการทอดแบบพ่นฝอย (สกว.)
- การปรับปรุงคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของเส้นบะหมี่ไข่ (สกว.)
- การศึกษาอัตลักษณ์ที่ถูกต้อง และแท้จริงของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวไทย โดยใช้หลักการประเมินทางประสาทสัมผัสร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ (สกว.)
- การพัฒนาระบบการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายเพื่อตรวจติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ขนมห่อหุ้ม (สกว.)
- การพัฒนาตัวให้ความร้อนชนิดแท่งแบบฟาร์อินฟราเรดเพื่อใช้ในระบบการทอดในระดับอุตสาหกรรม (สกว.)
- การศึกษาศักยภาพของเครื่องจุ่มเทียมในการบ่งชี้ปริมาณการปนของข้าวปทุมธานี 1 ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 (สวพ. ม.ศิลปากร)
- การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและกลิ่นรสที่ผิดปกติของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวพร้อมเนื้อบรรจุกระป๋อง (สวพ. ม.ศิลปากร)
- การศึกษาอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ (สกว.)

ผลงานทางวิชาการ/งานวิจัย/บทความ

อรุณศรี ลีจิระจำเริญ, บัณฑิต อินดวงศ และ ประมุข ภาระกุลสุขสถิต. 2551. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมยำกรอบ. จุลสารสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร, 17(2): 12-17.

คงวุฒิ นิรันตสุข และบัณฑิต อินดวงศ. 2549. Shelf life determination of vacuum fried mango chips. เอกสาร

การประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 8 วันที่ 15 - 16 มิถุนายน 2549 ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพมหานคร

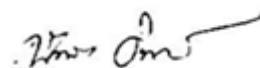
คงวุฒิ นิรันตสุข บัณฑิต อินดวงศ และประมุข ภาระกุลสุขสถิต. 2549. การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศด้วยเครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 44, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปจนิมากรณ อุดมคุณ บัณฑิต อินดวงศ และปณัฏฐ์ ใจเอื้อ. 2549. ดัชนีชี้วัดที่เหมาะสมสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำมันทอด. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 44, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- บัณฑิต อินณวงศ ประมุข ภาระกุลสุขสถิตย และปจนิมาภรณ์ อุดมคุณ. 2549. สารอันตรายที่แอบแฝงในอาหารทอด: อันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับอาหารทอดแบบน้ำมันน้อย. วารสารการพา 90.
- บัณฑิต อินณวงศ ประมุข ภาระกุลสุขสถิตย และปจนิมาภรณ์ อุดมคุณ. 2549. สารอันตรายที่แอบแฝงในอาหารทอด: การเปลี่ยนแปลงของอาหารในระหว่างการทอด. วารสารการพา 88.
- บัณฑิต อินณวงศ ประมุข ภาระกุลสุขสถิตย ปจนิมาภรณ์ อุดมคุณ และปณัฐ ศรีดอนไผ่. 2548. สารอันตรายที่แอบแฝงในอาหารทอด: ภัยเงียบกรดไขมันประเภททรานในอาหาร. วารสารการพา 87.
- บัณฑิต อินณวงศ ประมุข ภาระกุลสุขสถิตย และปจนิมาภรณ์ อุดมคุณ. 2548. สารอันตรายที่แอบแฝงในอาหารทอด: อะคริลาไมด์...ภัยร้ายใกล้ตัว. วารสารการพา 86: 42-45.
- บัณฑิต อินณวงศ. 2547. Emulsifiers and Stabilizers สร้างบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร. Asia Pacific Food Industry Thailand 2(7): 36-39.
- Innawong, B., Mallikarjunan, K., and Marcy, J.E. 2004. The Determination of frying oil quality using a chemosensory system. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 37: 35- 41.
- Innawong, B., Mallikarjunan, K., Irudajaraj, J., and Marcy, J.E. 2004. The determination of frying oil quality using fourier transform infrared attenuated total reflectance. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 37: 23-28.
- Sangjuntra, C., Neungwonsa, S., Jaima, A., and Innawong, B. 2003. Correlation of textural instrument and PCA technique to determine texture characteristics of rice cracker. THAIFEX&THAIMEX 5th Conference Proceeding: 480-488.
- Determination of frying oil quality using FTIR-ATR, (oral presentation) IFT conference, LA, USA, 2001
- Determination of frying oil quality using E-nose, (poster presentation) IFT conference, TX, USA, 2000
- Textural and Physical properties of fat free turkey-beef frankfurters: Effects of non-meat ingredients and end point temperature (oral and poster presentation at University of Connecticut in Meat Conference 45th, 1998.
- Innawong, B., Mallikarjunan, P., Marcy, J., Cundiff, J. Pressure conditions and quality of chicken nuggets fried under gaseous nitrogen atmosphere (2006) Journal of Food Processing and Preservation 30 (2), pp. 231-245

อนุสิทธิบัตร

- การยืดอายุความกรอบในปณขลิบ (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1203001470)
- กรรมวิธีการผลิตธัญพืชหุงสุกเร็ว (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1203001473)
- การพัฒนาสูตรขนมอาลัวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1203001471)
- สูตรและกรรมวิธีการผลิตกะทิเทียม (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1203001469)
- สูตรและกรรมวิธีการผลิตครีมจาด (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1203001467)
- สูตรและกรรมวิธีการผลิตแคปซูลโดยการขึ้นรูปใหม่และใช้กระบวนการอบเพื่อให้เกิดการพองตัวแทนการทอดโดยใช้น้ำมัน (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1203001468)
- สูตรและกรรมวิธีการผลิตไซรัปขาว (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1203001474)
- สูตรและกรรมวิธีการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งเคลือบช็อกโกแลต (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1203001472)
- กรรมวิธีการผลิตลูกเต๋ายอบกรอบ (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1203001466)
- กรรมวิธีการผลิตและองค์ประกอบของแผ่นกรองน้ำมันทอดจากวัสดุทางธรรมชาติที่ผสมของสารดูดซับ (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 6719)
- กรรมวิธีการปรับปรุงสีในกระดุกโกปรุงสุก (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1001000540)
- เครื่องทอดและกรรมวิธีภายหลังกระบวนการทอดสำหรับลดปริมาณน้ำมันดูดซับในผลิตภัณฑ์อาหารทอด (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 0801000586)
- กรรมวิธีการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์และกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์งาดำคั่ว (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 0803001236)
- การใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายในการวัดมุมสัมผัสเพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพของน้ำมันทอด (อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1303000643)



(ลงชื่อ)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินณวงศ์)

ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย/หัวหน้าโครงการวิจัย

วันที่ 9 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2559

