

การศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจติดตามคุณภาพนมเปรี้ยวในกระบวนการหมักโดยใช้ FT-NIRs และ ไฟเบอร์ออปติกโพรบ

พานูวัฒน์ ทรัพย์ปรุง^{1*}, สงกรานต์ เขียวสอาด¹, ศักดิ์นรินทร์ ตรีสุนย์¹, ประสิทธิ์ โสภา¹

¹สาขาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น, 40000

ผู้เขียนติดต่อ: พานูวัฒน์ ทรัพย์ปรุง E-mail: panuwatph1@yahoo.com

บทคัดย่อ

นมเปรี้ยวเป็นอาหารโภชนาการที่สำคัญ การควบคุมคุณภาพระหว่างการหมักจะมีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ การตรวจติดตามคุณภาพแบบรวดเร็วและเป็นปัจจุบันจึงมีความจำเป็น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ฟูเรียรทรานส์ฟอมสเปกโทรสโกปี (FT-NIRs) ตรวจติดตามการหมักของนมเปรี้ยว โดยตัวอย่างเป็นนมสด UHT 10 มล. ผสมกับนมเปรี้ยว 1 มล. และหมักบ่มในชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C และตัวอย่างจะถูกสแกน 10 ครั้ง ด้วย FT-NIRs และ ไฟเบอร์ออปติกโพรบ ที่ช่วงจำนวนคลื่น 10000-4000 ต่อเซนติเมตร ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 27 ชั่วโมงพร้อมทั้งวัดค่า pH ของตัวอย่าง 54 สเปกตรัมเฉลี่ยถูกนำไปคำนวณหาสมการแบบจำลองโดยใช้การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (PLSR) ผลการวิจัยพบว่าค่า pH ของตัวอย่างลดลงจาก 5.67 ถึง 3.95 ตลอดเวลาหมักบ่มที่เพิ่มขึ้น สมการแบบจำลองที่เหมาะสมคือที่ จำนวนคลื่น 9000-5000 ต่อเซนติเมตรและเป็นสเปกตรัมอันดับที่สอง โดยได้จำนวนแฟคเตอร์ ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (R^2) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานของแบบจำลอง (SEC) คือ 8 0.99 และ 0.06 ค่า pH ตามลำดับ ในขณะที่ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (SEP) และ ค่าความผิดพลาด (Bias) คือ 0.21 และ -0.00 ค่า pH ผลการวิจัยแสดงว่าการใช้ FT-NIRs พร้อมกับไฟเบอร์ออปติกโพรบคือวิธีการที่ดีและมีความแม่นยำสูงในการวัดค่า pH ระหว่างตรวจติดตามการหมักของนมเปรี้ยว

คำสำคัญ: นมเปรี้ยว, การหมัก, ฟูเรียรทรานส์ฟอมสเปกโทรสโกปี

Feasibility Study for the Monitoring of the Fermentation Process for Fermented Milk Quality using FT-NIRs and Fiber-optic Prob

Panuwat Supprung^{1*}, Songkra Kheawsaad¹, Saknarin Treesoon¹, Prasit Sopa¹

¹Division of Postharvest and Processing Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, KhonKaen Campus, KhonKaen 40000.

Corresponding author: Panuwat Supprung. E-mail: panuwatph1@yahoo.com

Abstract

Fermented milk is an important nutritional food. Quality control during fermentation has an affect on finished product. The rapid and real time monitoring is a necessary method. Therefore, objective of this research was to feasibility study for investigating the usefulness of FT-NIRs for monitoring of the fermentation process for fermented milk. Mixture of 10 ml of UHT milk with 1 ml of fermented milk was incubated at 37°C of temperature in temperature control sample holder. A sample was scan 10 times per an averaged spectrum using FT-NIR spectrometer and fiber-optic prob in reflectant mode in wavenumber region from 10000 to 4000 cm^{-1} . The pH value was measured every 30 min for 27 hours. The total of 53 averaged spectra were used for the development of calibration equation by partial least squares (PLS) regression. The results showed that the pH value decreased in range of 5.63 to 3.95 with incubate time. The appropriate wavenumber region was 9000-5000 cm^{-1} and the second derivative spectra should be used. The factor number, R^2 and standard error of calibration (SEC) were 8, 0.99 and 0.06 respectively, while standard error of validation (SEP) and bias were 0.21 and -0.00. The results obtained suggested that the FT-NIRs and fiber optic probe were a good and high accuracy technique for monitoring the pH value of fermented milk during process.

Keywords: Fermented milk, Monitoring, FT-NIRs.

1. บทนำ

ปัจจุบันน้ำนมเป็นอาหารและเครื่องดื่มที่ถือว่ามีคุณค่าทางอาหารมากมาย อุดมด้วยธาตุอาหารครบทุกหมู่ คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาล นม หรือ แลคโตส และโปรตีนชนิดเคซีน ซึ่งพบในน้ำนมเท่านั้น น้ำนมยังเป็นแหล่งของแคลเซียมที่สำคัญ ดังนั้นน้ำนมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาทางร่างกายและสติปัญญาของเด็ก นมเปรี้ยวและโยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์จากการนำน้ำนมมาหมักกับจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายคือแบคทีเรียแลคโตบาซิลลัส ที่พบในทางเดินอาหารของมนุษย์ มีกรดแลคติกช่วยในระบบการย่อยและดูดซึมอาหาร เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน และยับยั้งจุลินทรีย์ที่อาจก่อให้เกิดโทษต่อร่างกาย การตลาดนมเปรี้ยวและโยเกิร์ตมีมูลค่า 21,800 ล้านบาทในปี 2556 และมีอัตราการเจริญเติบโต 5% ต่อปี (สถาบันอาหาร, 2557) คุณภาพของนมเปรี้ยวและโยเกิร์ตนอกจากขึ้นกับคุณภาพของน้ำนมสดและจุลินทรีย์แล้ว กระบวนการผลิตหรือการหมักที่เหมาะสมและควบคุมได้ก็เป็นปัจจัยสำคัญ การตรวจสอบและติดตามคุณภาพนมเปรี้ยวระหว่างการหมักจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมแปรรูปนม การตรวจวัดและติดตามคุณภาพนมเปรี้ยวได้แก่ ความเป็นกรด จำนวนจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยทั่วไปจะใช้การสุ่มตัวอย่างแล้วนำไปตรวจสอบคุณภาพด้วยเครื่องมือตรวจวิเคราะห์ขนาดใหญ่ มีความแม่นยำสูง แต่มีข้อเสียคือเครื่องมือราคาแพง มีการใช้สารเคมี ใช้ผู้มีความชำนาญสูง ต้นทุนการดำเนินการสูง และใช้เวลาวิเคราะห์นานจนอาจทำให้เกิดความเสียหายในกระบวนการหมักแล้วจึงจะรู้ผลการตรวจสอบคุณภาพ ดังนั้นการตรวจติดตามคุณภาพในอุตสาหกรรมนมหรืออาหารจึงควรเป็นวิธีตรวจวัดที่รวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่าง ไม่ใช้สารเคมี และเครื่องมือตรวจวัดที่ราคาถูก และต้นทุนการตรวจวัดต่ำ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการใหม่ๆหลายวิธีในการตรวจที่สามารถ นำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีความรวดเร็ว เพื่อเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตนมในอนาคต

การวิเคราะห์ทั้งด้านคุณภาพ และปริมาณ โดยการวัดและวิเคราะห์ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งสสารที่วิเคราะห์ดูดกลืนเข้าไปหรือเปล่งออกมาเป็นแถบคลื่นหรือที่เรียกว่าสเปกตรัม (Spectrum). เทคนิคการใช้คลื่นแสงช่วงเนียร์อินฟราเรด (Near Infrared Spectroscopy, NIRs) เป็นวิธีการหนึ่งที่กำลังพัฒนาในการวัดค่าหรือตรวจสอบคุณภาพและคุณลักษณะที่แตกต่างของชีวมวลมานานกว่า 20 ปีมาแล้ว คลื่นแสงช่วงเนียร์อินฟราเรดมีความยาวคลื่นแสงช่วง 750-2500 nm การดูดกลืนแสงเกิดจากการสั่นของพันธะ C-H O-H และ N-H ข้อมูลเหล่านี้จะแสดงออกมาในรูปเส้นสเปกตรัมและจะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของส่วนประกอบทางชีวภาพของวัสดุชีวภาพนั้นๆ (Marten et al. 1985) การใช้วิธีทางคณิตศาสตร์หรือสถิติร่วมกับข้อมูลทางกายภาพหรือทางเคมีมาปรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลสเปกตรัม ทำให้สามารถใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIRs) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถสร้างสมการที่ใช้ทำนายสิ่งที่ต้องการ

วิเคราะห์ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น เทคนิค NIRs ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพอาหารและเครื่องดื่ม (Osborne et al. 1993 and William. 2007) และมีการใช้ และการรับรองให้ใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์ ธัญพืชและเมล็ดธัญพืชตามมาตรฐาน ISO 12099 (ISO. 2010) มีการวิจัยการใช้เทคนิค NIRs นี้ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในน้ำนมดิบ (Chen et al. 1999) และตรวจหาปริมาณไขมันนมและกรดไขมันในน้ำนมแพะ (Nunez-Sanchez et al. 2016) นอกจากนั้นยังมีการใช้เทคนิค NIRs ในการตรวจสอบผลกระทบบจากการใช้อัลตราโซนิคโอโมจิโนซ์ต่อคุณสมบัติทางแสงของน้ำนม (Aernouts et al. 2015)

ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยการใช้เทคนิค FT-NIRs เป็นเทคนิคที่ตัวอย่างจะถูกสแกนโดยคลื่นแสงช่วงเนียร์อินฟราเรดในทุกช่วงความยาวคลื่นที่สนใจในช่วงเวลาทั้งหมด ซึ่งต่างจากเทคนิคเดิมที่เป็นแบบ Dispersive ซึ่งจะสแกนเฉพาะช่วงคลื่นแสงในขณะเวลาหนึ่งเท่านั้น (Griffiths and Haseth 1986 and Manley et al. 2002) เทคนิค FT-NIRs จะมีข้อดีกล่าวคือ สามารถสแกนตัวอย่างได้รวดเร็ว มีค่าอัตราส่วนสัญญาณคลื่นต่อสัญญาณคลื่นแทรก (S/N) สูง มีความแม่นยำและความเสถียรของคลื่นแสงสูงมาก และง่ายในการส่งถ่ายข้อมูลคำนวณค่าลิเบรชัน (Manley et al. 2002) แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องจะมีขนาดใหญ่และราคาแพงมาก (Tarkosova and Copikova 2000)

อย่างไรก็ตามการการตรวจติดตามคุณภาพนมเปรี้ยวในกระบวนการหมักจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิระหว่างการหมักและตรวจวัดคุณภาพเป็นช่วงเวลาโดยไม่ทำลายตัวอย่างโดยการใช้เทคนิค FT-NIRs ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องควบคุมอุณหภูมิและวิธีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของน้ำนมดิบจนเป็นนมเปรี้ยวโดยใช้ FT-NIRs และไฟเบอร์ออปติกโพรบ.จะเป็นประโยชน์ด้านการอุตสาหกรรม ด้านการเกษตร และการแปรรูปนมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การพัฒนาชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและวางตัวอย่าง

เป็นชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นซึ่งประกอบด้วยกล่องปรับอุณหภูมิและวางตัวอย่าง (ทำความร้อนและความเย็น) พัดลมระบายอากาศ ไฟแสดงสถานะ สวิตช์ระบบทำงาน และอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

2.2 การประกอบชุดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยเทคนิคเทคนิค FT-NIRs

ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยเทคนิคเทคนิค FT-NIRs ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรกอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิซึ่งเป็นส่วนที่พัฒนาขึ้น ใช้สำหรับการปรับอุณหภูมิตัวอย่าง ส่วนที่สองคือเครื่อง FT-NIR spectrometer รุ่น NIR Flex N500 ผลิตโดย บริษัท Buchi Labortechnik, AG, Flawil ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ พร้อมหัวตรวจวัดแบบไฟเบอร์ออปติก (Fiber Optic.Prob) ใช้ตรวจวัดการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง และส่วนที่สามคือคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูล

วิเคราะห์ และแสดงผล ซึ่งลักษณะการประกอบชุดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยเทคนิค FT-NIRs (Figure 1)

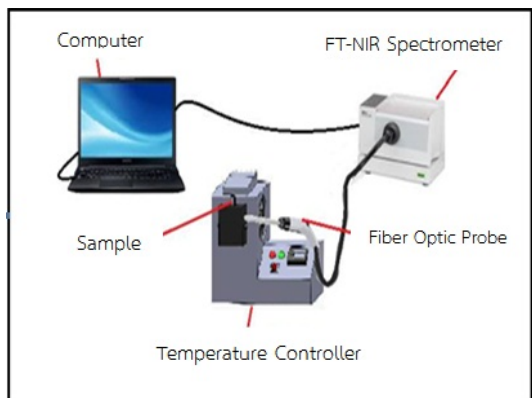


Figure 1 การประกอบชุดอุปกรณ์ตรวจวัดด้วย FT-NIRs และไฟเบอร์ออปติกโพรบ

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมน้ำนมสดและนมเปรี้ยว โดยใช้อัตราส่วน 8:2 ใส่หลอดแก้วจำนวน 1 หลอด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 25°C

2.4 การตรวจวัดติดตามคุณภาพของการหมักนมเปรี้ยว

การตรวจวัดติดตามคุณภาพของการหมักนมเปรี้ยวของตัวอย่าง โดยนำน้ำนมผสมตัวอย่างในหลอดแก้วที่จัดเตรียมไว้บรรจุลงในช่องใส่ตัวอย่างที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 37°C. แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ช่วงจำนวนคลื่น 4,000 – 10,000.cm⁻¹. บันทึกผลการตรวจวัด 10 ซ้ำ. ต่อ 1 ครั้ง พร้อมวัดค่า pH ด้วย pH Meter ทุกๆครึ่งชั่วโมง ตั้งแต่ 0-27 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (Figure 2)



Figure 2 การตรวจสอบการเสื่อมเสียของน้ำนมดิบ

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม UnscramblerV.10.1 (CAMO.software, Norway) โดยสเปกตรัมถูกเฉลี่ยจากการตรวจวัด 3 ซ้ำ. โดยเรียงลำดับ สเปกตรัม ตามค่า.pH.จากน้อยไปหามาก สเปกตรัมตัวอย่างถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม Calibration.Set.27 ตัวอย่าง และ.Validation.Set.26 ตัวอย่าง โดยวิธีเลือกเลขคู่ เลขคี่

และใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบพาร์เชียลลีสทส์แควร์ (Partial least squares regression, PLSR) ดังสมการที่ 1

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2...+ b_nX_n \quad (1)$$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตามหรือค่าทำนาย

X_i คือ ตัวแปรอิสระหรือ

b₀ คือ ค่าคงที่ของสมการ และ

b_i คือ ค่าคงที่ของตัวแปรอิสระ

3. ผลและวิจารณ์

การพัฒนาเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อทดสอบคุณภาพนมด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรด โดยอุณหภูมิเริ่มจาก 25 องศาเซลเซียส และตั้งอุณหภูมิ ที่ 50 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าอุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มจาก 25 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 50 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 20 นาที และอุณหภูมิจะคงที่ ที่ 50 องศาเซลเซียส (Figure 3)



Figure 3 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

จากการตรวจวัดติดตามคุณภาพของการหมักนมเปรี้ยวของตัวอย่าง โดย FT.-NIR และไฟเบอร์ออปติกโพรบ.โดยวิธีการอินเตอร์แอกแตนท์ที่จำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร ตั้งแต่ 4000-10000 cm⁻¹ จากการหมักนมเปรี้ยวตัวอย่าง โดยที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 37°C. พร้อมวัดค่า pH ทุกๆครึ่งชั่วโมง ตั้งแต่ 0 – 27 ชั่วโมง โดยค่า pH ตัวอย่างนมผสมจะลดลงจาก 5.63 ถึง 3.95 เมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้น โดยสเปคตรัมเริ่มต้นของตัวอย่างในคุณสมบัติการดูดกลืนแสง (Absorbance) (Figure 4)

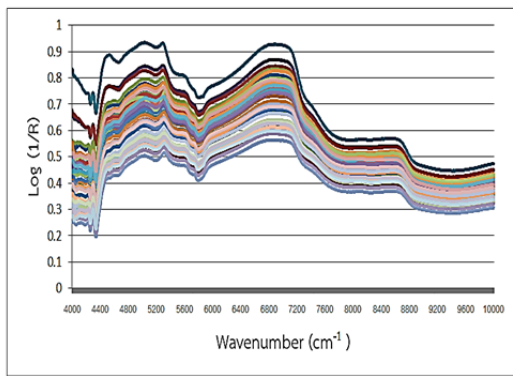


Figure 4 สเปกตร้าเริ่มต้น ของตัวอย่างในคุณสมบัติ การดูดกลืนแสง

จากผลการวิจัยจากสเปกตร้าเริ่มต้นของตัวอย่างทั้งหมด แสดงถึงช่วงการดูดกลืนคลื่นแสงที่สำคัญคือจะครอบคลุมช่วงการดูดกลืนแสงของน้ำ (Water) คือ 5252 cm^{-1} และ 6896 cm^{-1} เป็นช่วงดูดกลืนแสงโอเวอร์โทนอันดับสองของพันธะ O-H และ (Osborne et al. 1993 and William. 2007) และช่วงการดูดกลืนแสงของกรดไขมันอิสระในนม (Free fatty acid) คือ $4487\text{-}4761 \text{ cm}^{-1}$ (Slobodan and Ozaki. 2000) อย่างไรก็ตามพบว่ามี การเลื่อนของเส้นสเปกตร้า (Base line) เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณกรดและน้ำของตัวอย่างนมเปรี้ยว ดังนั้นจึงควรมีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วย วิธีการแปลงค่าอนุพันธ์อันดับที่สองหรือเดอริเวทีฟลำดับที่สอง (Second derivative pretreatment) ซึ่งจะสอดคล้องกับการวิจัยการผ่านคลื่นแสงของส้ม ซัทซุม่า (Satsuma oranges) ซึ่งศึกษาโดย Kawano et al (1993) ซึ่งเสนอแนะว่า การแก้ปัญหการเลื่อนของเส้นสเปกตร้า (Base line) ได้โดยการทำเดอริเวทีฟลำดับที่สอง

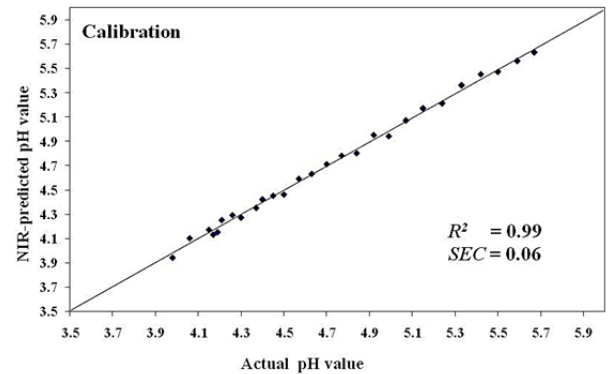
สำหรับการหาค่าความแม่นยำของสมการการตรวจสอบการเสื่อมเสียของน้ำนมดิบจะพิจารณาจากค่า R^2 (Multiple correlation coefficients), SEC (Standard error of calibration), SEP (Standard error of calibration) และค่า Bias (The average of difference between actual value and NIR-value) ซึ่งสมการการทำนายที่ดี R^2 จะต้องมีค่ามากและจะต้องมีค่า SEC, SEP และค่า Bias น้อยที่สุด จากการตรวจวัดน้ำนมดิบได้ผลดัง Table 1

Table 1 แสดงผลการวิเคราะห์ PLSR ที่ช่วงคลื่น $5000 - 9000 \text{ cm}^{-1}$ ในการตรวจวัดติดตามค่า pH นมเปรี้ยว

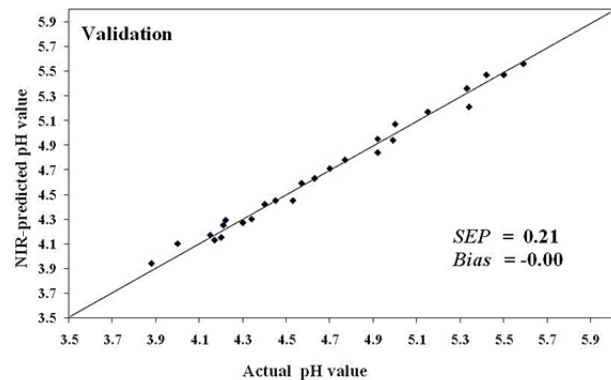
Results Factor	(F)	R^2	SEC	SEP	Bias
Calibration	8	0.99	0.06	-	-
Validation				0.21	-0.00

จากตารางที่ 1 วิเคราะห์ข้อมูลสร้างสมการวิธี PLS ช่วงจำนวนคลื่นแสงต่อเซนติเมตร $5000\text{-}9000 \text{ cm}^{-1}$ ตรวจสอบนมเปรี้ยว ด้วยเครื่อง FT-NIR โดยการใช้สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยอนุพันธ์อันดับที่สอง ได้สมการทำนายที่มีค่า R^2 , SEC และ SEP คือ 0.99, 0.04 และ 0.23 ตามลำดับ ส่วน Bias เท่ากับ -0.02 และจากกราฟความสัมพันธ์

ระหว่างค่าจริงและค่าการทำนายค่า pH นมเปรี้ยวระหว่างการหมัก (Figure 5)



(a)



(b)

Figure 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายค่า pH ในนมเปรี้ยวระหว่างการหมักจากสมการ calibration (a) และการทดสอบหรือ validation (b)

จาก Figure 5. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายค่า pH ในนมเปรี้ยวโดยใช้สมการ Calibration. ที่ดีที่สุด แสดงใน Figure 5 (a). และการทดสอบหรือการ Validation. แสดงใน Figure 5 (b). และเมื่อเปรียบเทียบค่าจริงและค่าทำนาย ค่า pH ในน้ำนมดิบเพาะเชื้อ โดยใช้ T-test พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างค่าจริงและค่าทำนาย ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มในการทำนายค่า pH ในนมเปรี้ยวระหว่างการหมักได้อย่างดี ถูกต้องเพียงพอ รวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่าง

4. สรุป

การพัฒนาเครื่องควบคุมอุณหภูมิและวิธีการตรวจติดตามคุณภาพนมเปรี้ยวโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรด ด้วยเครื่อง FT-NIR ที่ช่วงคลื่น $4,000\text{-}9,000 \text{ cm}^{-1}$ คำนวณด้วยวิธี PLS. พบว่า การตรวจสอบสมการ Calibration มีความแม่นยำถึง 99 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้

การพัฒนางานแปรรูปนมเปรี้ยว ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านการค้า และอุตสาหกรรมนมได้ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากหน่วยวิจัยและทดสอบคุณภาพสินค้าโดยไม่ทำลาย สาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป คณະวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

สถาบันอาหาร 2557. รายงานตลาดอาหารในประเทศไทย ตลาดนมเปรี้ยวและโยเกิร์ตในประเทศไทย ศูนย์วิจัยวิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร กุมภาพันธ์ 2557.

Aernouts, B., Van Beers, R., Watte, R., Huybrechts, T., Jordens, J., Vermeulen, D., Van Gerven, T., Lammertyn, J., Saeys, W. 2015. Effect of ultrasonic homogenization on the Vis/NIR bulk optical properties of milk. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 126 (1), 510-519.

Chen, J.Y., Iyo, C., Kawano, S. 1999. Development of calibration with sample cell compensation for determining the fat content of unhomogenised raw milk by near infrared transmittance method. *J. Near Infrared Spectrosc.* 7, 265-273.

Griffiths, P.R., de Haseth, J.A. 1986. *Fourier Transform Infrared Spectrometry*. John Wiley and Sons, Canada.

ISO. 2010. Animal feeding stuffs cereals and milled cereal products – Guidelines for the application of near infrared spectrometry. ISO 12099 1sted.

Manley, M.L., Van, Z., Osborne, B.G. 2002. *J. Near Infrared Spectrosc.* 10, 71-76.

Marten, G., Shenk, J., Barton, III.F. 1985. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRs): Analysis of Forage quality. USDA. Agriculture Research Service. Handbook No. 643.

Nunez-Sanchez, N., Martinez-Marin, A.L., Polvillo, O. Fernandez-Cabanas, V.M., Carrizosa, J., Urrutia, B., Serradilla, J.M. 2016. Near Infrared Spectroscopy (NIRS) for the determination of the milk fat fatty acid profile of goats. *Food Chemistry*, 190 (1), 244-252.

Osborne, B.G., Fearn, T., Hindle, P.H. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK

Slobodan, S., Ozaki, Y. 2000. Band assignment of near-infrared spectra of milk by use of partial least-squares regression. *Applied Spectroscopy*. 54, 1327-1338.

Tarkosova, J., Copikova, J. 2000. *J. Near Infrared Spectrosc.* 8, 251-257.

Williams, P. 2007. *Near Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*, Ed by Ozaki, Y., Fred McClure, W., Christy, A.A. Wiley Interscience, A John Wiley & Sons, Inc., USA. p. 165.