การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบ ด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) โดยเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ

นิพัทรา พรมมาอินทร์ เนาวรัตน์ กำภูศิริ อุทร เบ้าช้างเผือก สุมิตรา คูณศรี กัญญาพัชร ทะหล้า

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคนิค FTIR ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจส่วนประกอบน้ำนมอย่างแพร่หลายในรูปแบบของเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ให้สะดวก รวดเร็ว ลดขั้นตอนการเตรียมและใช้ตัวอย่างในปริมาณน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ทางเคมี อย่างไรก็ตาม เพื่อความถูกต้องและน่าเชื่อถือของผลวิเคราะห์ ต้องมีการสร้างสมการของเครื่องด้วยผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีทางเคมี โดยการศึกษาครั้งนี้สร้างสมการที่ครอบคลุมส่วนประกอบของไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด แล้วทดสอบความถูกต้อง (trueness) ของผลการวิเคราะห์ พบว่า ทั้ง 3 ส่วนประกอบ มีค่า R (%) อยู่ในช่วง 99-103, 100-102 และ 100-101 ตามลำดับ การทดสอบความเที่ยง (precision) มีค่า %CV คือ 0.20, 0.22 และ 0.09 ตามลำดับ นอกจากนี้ มีการทดสอบประสิทธิภาพของการชะล้าง flow system เพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้ามระหว่างตัวอย่าง (carry-over) พบว่า ค่า %Ew และ %Em คือ 0.56 กับ 0.00, 0.33 กับ 0.26 และ 0.22 กับ 0.15 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้ง 3 สมรรถนะของวิธีทดสอบมีค่าผ่านตามเกณฑ์การยอมรับทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าวิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบด้วยเทคนิค FTIR โดยเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้วิเคราะห์ น้ำนมโคดิบในขอบข่าย ไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด ที่ส่งตรวจวิเคราะห์กับกลุ่มตรวจสอบคุณภาพนมและผลิตภัณฑ์นม สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์

คำสำคัญ: FTIR คุณภาพนม ไขมัน โปรตีน ของแข็งทั้งหมด

กลุ่มตรวจสอบคุณภาพนมและผลิตภัณฑ์นม สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์

Method development for raw milk quality investigation by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

Nipatthra Phromma-in, Naovarat Kampoosiri, Uthorn Baochangpheuk,
Sumintra Khunsee and Kanyapatra Talah

Abstract

FTIR technology is widely applied for milk composition analysis through automated analyzers. Compared to traditional chemical analysis methods, this approach enhances efficiency by offering convenience and speed, simplifying sample preparation, and requiring low level of sample volumes. However, to confirm the accuracy and reliability of the analytical results, it is necessary to establish an instrument calibration based on results obtained via chemical methods. In this study, we were developed the new calibration curve that cover the fat, protein and total solids. The trueness, precision and carry-over were investigated in all of three milk composition. The results were showed the R (%) 99–103, 100–102, and 100–101 combination with %CV 0.20, 0.22 and 0.09 respectively. Furthermore, the efficiency of the flow system rinsing process was tested to prevent sample carry-over. Thus, we found that the %Ew 0.56, 0.33, 0.22 and %Em 0.00, 0.26, 0.15 respectively which are passed all acceptance criteria. The overall of results was indicated that this method is appropriate for evaluating the fat, proteins and total solids of raw cow's milk in our laboratory.

Keywords: FTIR, milk quality, fat, protein, total solids

Milk and milk products Quality Control Division, Bureau of Quality Control of Livestock Products, Department of Livestock Development

บทนำ

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) คือ เทคนิคที่ใช้รังสีอินฟราเรดช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 2.5 ถึง 15 ไมโครเมตร (mid-IR) ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ระบุส่วนประกอบต่างๆ เพื่อแยกชนิดของทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยมีหลักการทำงาน ดังนี้ ลำแสงจาก IR source ถูกส่งเข้าไปใน interferometer เพื่อสร้างสัญญาณรูปแบบเฉพาะที่เรียกว่า interferogram จากนั้นลำแสงผ่านเข้าสู่ช่องใส่ตัวอย่าง แล้วตัวอย่างดูดกลืนพลังงานที่ความถี่จำเพาะ โดยมี detector ตรวจวัดสัญญาณ แล้วประมวลผลสัญญาณออกมาในรูปแบบสเปกตรัม ด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ Fourier transformation (Mohamed et al., 2017) ปัจจุบันเทคนิค FTIR ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจส่วนประกอบน้ำนมอย่างแพร่หลาย ในรูปแบบของเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์คุณภาพนมให้สะดวก รวดเร็ว ลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างในปริมาณน้อยสำหรับการวิเคราะห์ และสามารถแสดงผลวิเคราะห์ที่มีหน่วยเป็นร้อยละ พร้อมกันได้ในหลากหลายส่วนประกอบ เช่น ไขมัน โปรตีน แลคโตส เนื้อนมไมรวมมันเนย และของแข็งทั้งหมด เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม เทคนิค FTIR ถือเป็น secondary method โดยใช้หลักการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะของแต่ละส่วนประกอบน้ำนม ได้แก่ ไขมัน ตรวจวิเคราะห์หมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) โปรตีน ตรวจพันธะเปปไทด์ (peptide linkage) ที่เชื่อมระหว่างกรดอะมิโนของโปรตีนแต่ละชนิด และแลคโตส ตรวจหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ดังนั้น เพื่อความถูกต้องของผลวิเคราะห์จึงความจำเป็นต้องมีการปรับสมการของเครื่อง โดยใช้ผลการวิเคราะห์ที่อ้างอิงจากวิธีทางด้านเคมี (chemical method) (APHA, 2024) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมที่ได้รับการรับรอง ดังนี้ ไขมัน (ISO 1211/IDF 1:2010) คือ หลักการ Roese-Gottlieb สกัดไขมันในน้ำนมด้วย diethyl ether และ petroleum ether จากนั้นอบไขมันจนแห้งแล้วคำนวณปริมาณไขมันในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก ในส่วนของโปรตีน (AOAC 2023 (991.20)) คือ หลักการ Kjeldahl ย่อยโปรตีนด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เพื่อเปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนีย (NH_3) จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยการไทเทรต เพื่อนำมาคำนวณกลับเป็นปริมาณโปรตีนของตัวอย่างนั้นๆ และของแข็งทั้งหมด (ISO 6731/IDF 21:2010) คือ การระเหยน้ำออกจากตัวอย่างด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ แล้วอบตัวอย่างให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 ± 2 องศาเซลเซียส จากนั้นชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่เหลืออยู่ คำนวณเป็นของแข็งทั้งหมดในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2556)

การสร้างสมการสเปกตรัม (spectrum calibration) ที่แม่นยำ (accuracy) และทนทาน (robustness) นั้น ขึ้นอยู่กับวิธีการเลือกตัวอย่างและการปรับสมการ โดยกำหนดประเภทตัวอย่างและช่วงความเข้มข้นของแต่ละส่วนประกอบของน้ำนมให้ครอบคลุมกับตัวอย่างที่วิเคราะห์ในพื้นที่การใช้งาน และตัวอย่างที่ใช้ควรเป็นตัวอย่างจากธรรมชาติ เนื่องจากสมการที่สร้างขึ้นในแต่ละเครื่องมือ จะเป็นตัวกำหนดขอบเขตของการใช้งานของเฉพาะเครื่องมือนั้น (ISO 9622/IDF 141, 2013)

กลุ่มตรวจสอบคุณภาพนมและผลิตภัณฑ์นม กำหนดประเภทตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการจากน้ำนมดิบในพื้นที่จังหวัดสระบุรี เพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่การใช้งาน และใช้น้ำนมโคแบบแช่แข็งซึ่งเป็นวัสดุอ้างอิงรับรอง (certified reference materials) เพื่อเพิ่มขอบเขตให้สมการครอบคลุมตัวอย่างที่มี

ส่วนประกอบอยู่นอกช่วงของน้ำนมดิบในพื้นที่ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงสร้างสมการที่ครอบคลุมส่วนประกอบน้ำนมทั้ง ไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด จากนั้นทดสอบด้วย 3 สมรรถนะของวิธีทดสอบ (performance characteristics) ดังนี้ ความถูกต้อง (trueness) ความเที่ยง (precision) และ การปนเปื้อนข้าม (carry-over) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและน่าเชื่อถือของผลวิเคราะห์จากเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ

1. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาการวิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบด้วยเทคนิค FTIR โดยเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ ให้มีความความถูกต้อง แม่นยำ และความน่าเชื่อถือ

2. ขอบข่าย

ครอบคลุมการวิเคราะห์ปริมาณ ไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมดในน้ำนมโคดิบ ด้วยเทคนิค FTIR โดยเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ ซึ่งอ้างอิงวิธีมาตรฐาน ISO 9622/IDF 141 (2013)

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบด้วยเทคนิค FTIR โดยเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ มีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ ตรงตามข้อกำหนดของวิธีมาตรฐาน ISO 9622/IDF 141 (2013)

4. เครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์

4.1 เครื่องวิเคราะห์คุณภาพน้ำนม ยี่ห้อ Bentley รุ่น Dairyspec FT

4.2 ชุดคอมพิวเตอร์สำหรับโปรแกรมประมวลผล

4.3 สายพานลำเลียงตัวอย่าง

4.4 Rack ใส่ตัวอย่าง

4.5 Water bath อุณหภูมิ 40 ± 2 องศาเซลเซียส

4.6 Water bath อุณหภูมิ 43 ± 2 องศาเซลเซียส

4.7 Hot plate

4.8 Erlenmeyer flask

4.9 บีกเกอร์

4.10 ถังใส่สารเคมี

4.11 ถัง waste

5. สารเคมี และสารมาตรฐาน

5.1 RBS ยี่ห้อ Bentley

5.2 น้ำนมโคแบบแช่แข็งซึ่งเป็นวัสดุอ้างอิงรับรอง (certified reference materials) ยี่ห้อ QSE

6. วิธีดำเนินการ

6.1 การปรับสมการ (calibration adjustment) ของเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ

ตัวอย่างน้ำนมที่ใช้ในการปรับสมการแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ น้ำนมโคดิบธรรมชาติที่ไม่มีการปรับแต่งส่วนประกอบด้วยสิ่งปลอมปน และน้ำนมโคแบบแช่แข็งซึ่งเป็นวัสดุอ้างอิงรับรอง โดยตัวอย่างน้ำนม

โคดิบจำนวน 15 ตัวอย่าง ที่มีค่าส่วนประกอบ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด ครอบคลุมช่วงการใช้งาน ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน เพื่อตรวจวิเคราะห์ค่าส่วนประกอบด้วยเทคนิค FTIR (secondary method) และส่งตรวจวิเคราะห์ทางเคมี (chemical method) ในขณะที่ วัสดุอ้างอิงรับรองน้ำนมโคจะตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR เพียงอย่างเดียว โดยใช้ค่าทางเคมีจาก certificated ของวัสดุอ้างอิง แล้วนำข้อมูลผลการวิเคราะห์จากทั้ง 2 วิธี ป้อนเข้าสู่โปรแกรมปรับสมการของเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนมแบบอัตโนมัติ จากนั้นเครื่องจะทำการประมวลผลข้อมูลและแสดงเส้นสมการใหม่

6.2 การทดสอบ Trueness ของการวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบ

เตรียมตัวอย่างน้ำนมโคแบบแช่แข็งซึ่งเป็นวัสดุอ้างอิงรับรอง จำนวน 12 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างสามารถใช้อ้างอิงค่าองค์ประกอบน้ำนมได้ ดังนี้ F1-F8 อ้างอิงค่าไขมัน F3, E1-E4 อ้างอิงค่าโปรตีน และ F3, E1, E4 อ้างอิงค่าของแข็งทั้งหมด แล้วอุ่นตัวอย่างน้ำนมใน water bath ที่อุณหภูมิ 43 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที ให้อุณหภูมิตัวอย่างอยู่ในช่วง 40 ± 2 องศาเซลเซียส และตัวอย่างละลายเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ ไม่พบตะกอน หรือความผิดปกติของตัวอย่าง จากนั้นวิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ แล้วนำค่าเฉลี่ยมาประเมินผลการทดสอบด้วย R(%) (Eurachem, 2025) และใช้เกณฑ์การยอมรับ % Recovery (AOAC, 2023)

การคำนวณ $$R(\%) = \frac{\overline{X}_{lab}}{\overline{X}_{CRM}} \times 100$$

ตารางที่ 1 แสดง %Recovery (AOAC, 2023)

Concentration	Recovery limits, %
100%	98–101
10%	95–102
1%	92–105
0.1%	90–108
0.01%	85–110
10 µg/g (ppm)	80–115
1 µg/g	75–120
10 µg/kg (ppb)	70–125

6.3 การทดสอบ Precision ของการวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบ

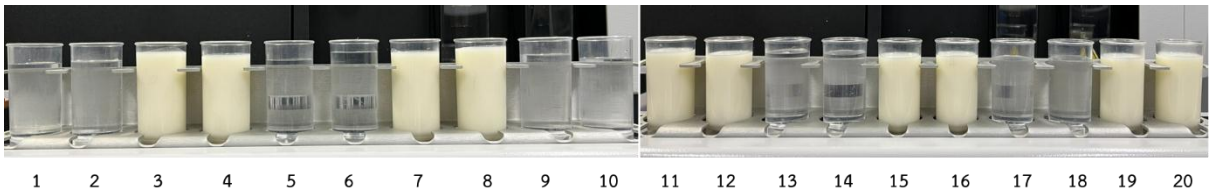
เตรียมตัวอย่างน้ำนมโคดิบประมาณ 400 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วแบ่งตัวอย่างน้ำนมดิบใส่ในหลอดทดลอง หลอดละประมาณ 25 มิลลิลิตร จำนวน 12 หลอด (ISO 9622/IDF 141, 2013) จากนั้นอุ่นตัวอย่างน้ำนมใน water bath ที่อุณหภูมิ 40 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ให้อุณหภูมิตัวอย่างอยู่ในช่วง 40 ± 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างมาจัดเรียง (รูปที่ 1) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 1 ซ้ำ แล้วนำผลวิเคราะห์ที่ได้ไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (coefficient of variation: CV) โดยเกณฑ์การยอมรับ คือ %CV น้อยกว่า 0.5 (bentley dairyspec combi specifications)



รูปที่ 1 การจัดเรียงตัวอย่างน้ำนมดิบ สำหรับการทดสอบ precision ด้วยสภาวะ repeatability

6.4 การทดสอบ Carry-over ของการวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบ

เตรียมตัวอย่างน้ำนมโคดิบและน้ำ DI อย่างละประมาณ 300 มิลลิลิตร ผสมตัวอย่างน้ำนมดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วแบ่งตัวอย่างใส่ในหลอดทดลอง หลอดละประมาณ 25 มิลลิลิตร จำนวนอย่างละ 10 หลอด จากนั้นอุ่นตัวอย่างใน water bath ที่อุณหภูมิ 40 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ให้อุณหภูมิตัวอย่างอยู่ในช่วง 40 ± 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างมาจัดเรียงตามลำดับ น้ำ-น้ำ-นม-นม จนครบ 20 ตัวอย่าง (รูปที่ 2) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 1 ซ้ำ แล้วนำผลวิเคราะห์ไปคำนวณค่า carry-over โดยเกณฑ์การยอมรับ



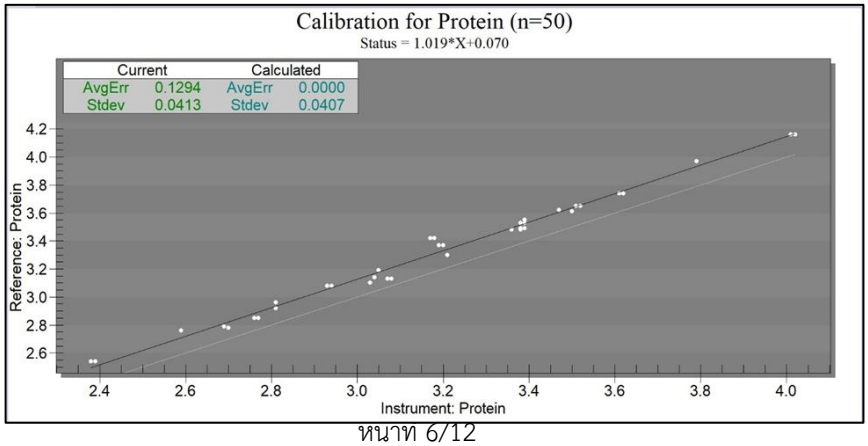
คือ Ew และ Em น้อยกว่า ±1% (ISO 9622/IDF 141, 2013)

รูปที่ 2 การจัดเรียงตัวอย่างน้ำนมดิบ สำหรับการทดสอบ carry-over

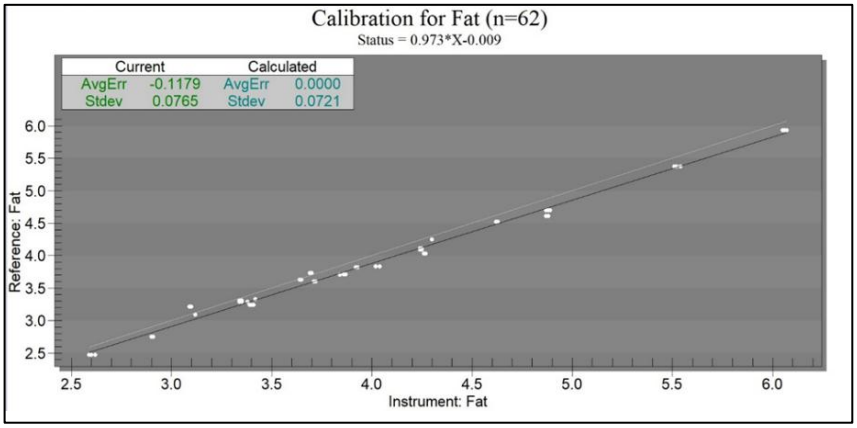
7. ผลการทดลอง

7.1 สมการ (calibration curve) ของเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ

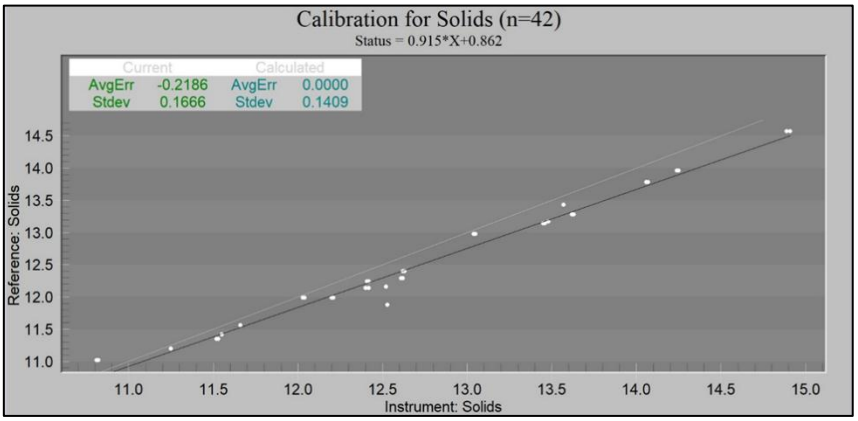
เครื่องมือมีการแสดงผลเปรียบเทียบสมการเดิม (เส้นสีขาว) และสมการใหม่ (เส้นสีดำ) เพื่อแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของผลการวิเคราะห์ของส่วนประกอบที่จะวิเคราะห์ได้ หลังจากการปรับสมการ พบว่าค่าส่วนประกอบโปรตีนที่วิเคราะห์ได้มีค่าที่สูงขึ้น (รูปที่ 3) ในขณะที่ ไขมันและของแข็งทั้งหมด ได้ค่าการวิเคราะห์ที่ต่ำลง (รูปที่ 4 และ 5) เมื่อเปรียบเทียบกับสมการเดิมของเครื่องที่ถูกตั้งค่ามาจากบริษัทผู้ผลิต



รูปที่ 3 สมการของการวิเคราะห์โปรตีน



รูปที่ 4 สมการของการวิเคราะห์ไขมัน



รูปที่ 5 สมการของการวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมด

7.2 Trueness ของการวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบ

จากการทดสอบตัวอย่างน้ำนมโคแบบแช่แข็งซึ่งเป็นวัสดุอ้างอิงรับรอง จำนวน 12 ตัวอย่าง พบว่าของผลวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องมือมีค่า R (%) ผ่านตามเกณฑ์ที่ยอมรับทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผล trueness ของการวิเคราะห์ ไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด

Fat				
Sample	Measure value	Reference value	R (%) criterion 92-105	Pass/Fail
F1	2.54	2.47	103	Pass
F2	3.30	3.24	102	Pass
F3	4.13	4.09	101	Pass
F4	5.38	5.37	100	Pass
F5	2.84	2.75	103	Pass
F6	3.74	3.71	101	Pass
F7	4.72	4.70	100	Pass
F8	5.90	5.93	99	Pass
Protein				
Sample	Measure value	Reference value	R (%) criterion 92-105	Pass/Fail
E1	3.15	3.10	102	Pass
E2	3.34	3.30	101	Pass
E3	3.76	3.74	101	Pass
E4	4.16	4.16	100	Pass
F3	3.65	3.61	101	Pass
Total solids				
Sample	Measure value	Reference value	R (%) criterion 95-102	Pass/Fail
E1	12.33	12.16	101	Pass
E4	14.56	14.57	100	Pass
F3	13.41	13.28	101	Pass

7.3 Precision ของการวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบ

จากการทดสอบ precision ในสภาวะ repeatability โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำนมดิบ จำนวน 12 ซ้ำ พบว่า ค่า %CV ขององค์ประกอบน้ำนม ไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด คือ 0.20, 0.22 และ 0.09 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ %CV น้อยกว่า 0.5 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผล precision ของการวิเคราะห์ไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด

Sample	Fat	Protein	Total solids
1	3.55	3.05	12.01
2	3.56	3.07	12.03
3	3.55	3.07	12.03
4	3.56	3.07	12.04
5	3.57	3.07	12.05
6	3.57	3.07	12.04
7	3.56	3.07	12.04
8	3.56	3.07	12.05
9	3.55	3.07	12.04
10	3.56	3.07	12.03
11	3.56	3.08	12.05
12	3.55	3.07	12.04
Average	3.56	3.07	12.04
SD	0.01	0.01	0.01
%CV	0.20	0.22	0.09
criterion %CV < 0.5	Pass	Pass	Pass

7.4 Carry-over ของการวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบ

จากการทดสอบ carry-over พบว่า ค่า %Ew และ %Em ขององค์ประกอบน้ำนม ไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด คือ 0.56 กับ 0.00, 0.33 กับ 0.26 และ 0.22 กับ 0.15 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ คือ %Ew กับ %Em น้อยกว่า ±1% ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผล carry-over ของการวิเคราะห์ ไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด

Sample	Fat	Protein	Total solids
1	0.00	0.01	0.03
2	0.00	0.00	0.01
3	3.53	3.06	12.00
4	3.56	3.07	12.03
5	0.00	0.01	0.02
6	0.00	0.00	0.00
7	3.53	3.06	12.00
8	3.55	3.07	12.03
9	0.00	0.01	0.02
10	0.00	0.00	0.00
11	3.54	3.06	12.01
12	3.56	3.07	12.02
13	0.00	0.00	0.02
14	0.00	0.00	0.00
15	3.54	3.05	11.99
16	3.56	3.06	12.03
17	0.00	0.01	0.01
18	0.00	0.00	0.00
19	3.54	3.05	12.00
20	3.55	3.06	12.02
Ew (%)	0.56	0.33	0.22
Em (%)	0.00	0.26	0.15
criterion Ew and Em < ± 1%	Pass	Pass	Pass

8. สรุปผลการทดลอง

จากการสร้างสมการของเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ โดยใช้ตัวอย่างน้ำนมโคดิบในพื้นที่ใช้งาน และน้ำนมโคแบบแช่แข็งที่เป็นวัสดุอ้างอิงรับรอง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบสมการของเครื่องมือที่ตั้งค่ามาจากบริษัทผู้ผลิตกับสมการที่สร้างใหม่ในการศึกษานี้ มีการเปลี่ยนแปลงของผลการวิเคราะห์ดังนี้ ค่าโปรตีนที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ไขมันและของแข็งทั้งหมดได้ค่าการวิเคราะห์ต่ำลง ดังนั้น เพื่อความมั่นใจในความถูกต้องและน่าเชื่อถือของผลวิเคราะห์ที่ได้จากสมการที่สร้างขึ้นใหม่ จึงมีการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ ด้วยตัวอย่างน้ำนมโคแบบแช่แข็งซึ่งเป็นวัสดุอ้างอิงรับรอง พบว่า

การวิเคราะห์ส่วนประกอบไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด มีค่า R(%) อยู่ในช่วง 99-103, 100-102 และ 100-101 ตามลำดับ ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ R(%) ที่ช่วงการยอมรับ 92-105 และทดสอบความเที่ยงของการวิเคราะห์น้ำนมโคดิบในสภาวะ repeatability พบว่า ทั้ง 3 ส่วนประกอบน้ำนม มีค่า %CV คือ 0.20, 0.22 และ 0.09 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์ %CV การยอมรับน้อยกว่า 0.5 นอกจากความถูกต้องและความเที่ยงแล้ว วิธีการวิเคราะห์นี้ยังต้องคำนึงถึงการปนเปื้อนข้ามระหว่างตัวอย่างด้วย เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์แบบอัตโนมัติที่มีการทำงานแบบต่อเนื่อง และมีความรวดเร็วสูงในการวิเคราะห์ในแต่ละตัวอย่าง จึงต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของการชะล้าง flow system พบว่า ค่า %Ew และ %Em ของทั้ง 3 ส่วนประกอบ คือ 0.56 กับ 0.00, 0.33 กับ 0.26 และ 0.22 กับ 0.15 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์ %Ew และ %Em การยอมรับน้อยกว่า ±1%

จากการทดสอบทั้ง 3 สมรรถนะของวิธีทดสอบที่นำใช้ในการศึกษานี้ พบว่า ผลการทดสอบผ่านตามเกณฑ์การยอมรับทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าวิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบด้วยเทคนิค FTIR โดยเครื่องตรวจวิเคราะห์คุณภาพนม แบบอัตโนมัติ มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือสำหรับการนำมาใช้วิเคราะห์น้ำนมโคดิบในขอบข่าย ไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมด ที่ส่งมาตรวจวิเคราะห์ที่กลุ่มตรวจสอบคุณภาพนมและผลิตภัณฑ์ สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์

9. ข้อเสนอแนะ

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบน้ำนมโคดิบด้วยเทคนิค FTIR สามารถอ้างอิงวิธีมาตรฐาน ISO 8196-3/IDF 128-3 (2009) ที่กำหนดระเบียบวิธีมาตรฐานสำหรับการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์เชิงปริมาณของวิธีทดสอบทางเลือกสำหรับน้ำนม ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ครอบคลุมสมรรถนะของวิธีทดสอบ ดังนี้ daily precision (repeatability and short-term stability), carry-over effect, linearity, measurement limits, lower limits และ upper limit หากต้องการพัฒนาวิธีทดสอบนี้ให้ได้รับการรับรองเป็นวิธีมาตรฐาน ISO 9622/IDF 141 (2013) ห้องปฏิบัติการต้องทำการทดสอบสมรรถนะของวิธีทดสอบให้ครบถ้วนและผลการทดสอบผ่านตามเกณฑ์การยอมรับทั้งหมด

10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการสำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ และบุคลากรทุกท่านในกลุ่มตรวจสอบคุณภาพนมและผลิตภัณฑ์นม ที่ช่วยให้การศึกษาในครั้งนี้ประสบความสำเร็จ ครบถ้วนตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

11. เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2556). วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์อาหาร เล่มที่ 1.

AOAC. (2023). Appendix K: PART I AOAC Guidelines for Single-Laboratory Validation of Chemical Methods for Dietary Supplements and Botanicals.

American Public Health Association (APHA). (2024). The Standard Methods for the Examination of Dairy Products (SMEDP), 18th Edition. Chapter 17: Chemical Methods for Major Milk Components.

Eurachem. (2025). The Fitness for Purpose of Analytical Methods: A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics, 3th Edition.

ISO 9622 / IDF 141. (2013). Milk and liquid milk products – Guidelines for the application of mid – infrared spectrometry 2nd Edition.

Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. (2017). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. In Membrane characterization (pp. 3-29). elsevier.

https://www.bentleyinstruments.eu/industry/dairyspec-combi-en/