



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การตรวจสอบสิ่งเจือปนในน้ำนมวัวดิบแบบรวดเร็วและการหาปริมาณ
องค์ประกอบน้ำนมด้วยวิธี
วิเคราะห์แบบเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโกปี

โดย

ดร. ศุมาพร เกษมสำราญ

มิถุนายน 2551

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การตรวจสอบสิ่งเจือปนในน้ำมันวัวดิบแบบรวดเร็วและการหาปริมาณองค์ประกอบน้ำมัน
ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโกปี

ผู้วิจัย

สังกัด

ดร. ศุมาพร เกษมสำราญ สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี ด้วยการสนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)

ผู้วิจัยขอขอบ พระคุณคณะที่ปรึกษางานวิจัยเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัย กำลังใจและการสนับสนุนให้ตีพิมพ์ผลงาน รวมถึงความอนุเคราะห์ให้ผู้วิจัยใช้เครื่องมือและ อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ในหน่วยงานของท่านได้อย่างสะดวก ท่านทั้ง 3 ได้แก่ 1) Prof. Dr. Yukihiro Ozaki จาก Department of Chemistry, School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University, JAPAN 2) สัตว์แพทย์หญิงอรรธยา เกียรติสุนทร กลุ่มตรวจสอบคุณภาพนมและผลิตภัณฑ์ สำนัก ตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ และ 3) คุณวราณี ณะแพสย์ หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยี การตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอขอบคุณ บุคลากร ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บุคลากรกลุ่มตรวจสอบ คุณภาพน้ำนมและผลิตภัณฑ์ กรมปศุสัตว์ ตลอดจนบุคลากร หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบ สินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ที่อำนวยความสะดวก ส่งเสริม สนับสนุนผู้วิจัยให้ดำเนินการวิจัยสำเร็จตามความมุ่งหมายทุกประการ

ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ
ผู้วิจัย

Abstract

Project Code: MRG4980149

Project Title: Near Infrared Spectroscopic Analysis for Rapid Detection of Raw Cow Milk Adulteration and for Nondestructive Determination of Milk Constituents

Investigator: Dr. Sumaporn Kasemsumran

Nondestructive Quality Evaluation Unit

Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute

Kasetsart University

E-mail Address: aapspk@ku.ac.th

Project Period: 2 Years

In this study, Near Infrared Spectroscopy (NIRS) was employed to detect the adulteration of milk, nondestructively. Cow milk adulteration involves the dilution of milk with water or milk powder. Natural milk of 95 samples and 385 adulteration samples were prepared. Their NIR spectra in the region of 1100 - 2500 nm were collected. The classification of milk adulteration and pure milk were conducted by using Discriminant Partial Least Squares (DPLS) and Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) methods. PLS calibration models for the determinations of water content and of milk powder content in milk adulterations were also developed. Comparisons of wavelength region, data pretreatment and classification method were investigated and reported in this study. The results showed that NIR spectroscopy can be used to classify the natural milk and adulterated milk with the highest correct classification of 97% and to determine the adulterant contents in cow milk, simultaneously. Moreover, the quantitative determinations of fat, protein, lactose, solid non fat, total solid, specific gravity and freezing point in natural milk by using NIRS with PLS model were investigated. The predictive performances of those models were very high, except the model for determining freezing point of milk. However, those success NIR results were quite adequate information for detecting the quality of natural milk, nondestructively.

Keywords: near infrared spectroscopy, milk, adulteration, DPLS, PLS

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : MRG4980149

ชื่อโครงการ : การตรวจสอบสิ่งเจือปนในน้ำมันวัวดิบแบบรวดเร็วและการหาปริมาณองค์ประกอบน้ำมันโดยไม่ทำลายด้วยวิธีวิเคราะห์แบบเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

ชื่อนักวิจัย : ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ

หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย

ฝ่ายนาโนเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล : aapspk@ku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 2 ปี

งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดมาใช้ในการตรวจสอบคัดแยกน้ำมันที่มีการเจือปนออกจากน้ำมันบริสุทธิ์โดยไม่ทำลายตัวอย่างนม นมวัวดิบที่มีการเจือปนนั้นมักถูกทำให้เจือจางเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมัน โดยการเติมน้ำหรือนมผง ในการศึกษาวิจัยจึงทำการเตรียมกลุ่มตัวอย่าง คือกลุ่มนมเจือปน 385 ตัวอย่างและกลุ่มนมบริสุทธิ์ 95 ตัวอย่าง แล้วนำไปสแกนเก็บข้อมูลสเปกตรัมแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วง ตั้งแต่ 1100 ถึง 2500 นาโนเมตร นำข้อมูลสเปกตรัมมาสร้างโมเดลแยกกลุ่มตัวอย่างวิธี Discriminant Partial Least Squares (DPLS) และ Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) รวมทั้งสร้างสมการ Partial Least Squares เพื่อทำนายปริมาณน้ำและนมผงที่เจือปนในนมดิบอีกด้วย โดยได้รายงานการเปรียบเทียบผลโมเดลที่สร้างด้วยความยาวคลื่นต่างช่วงกัน ทำการเปรียบเทียบผล สมการที่ใช้วิธีปรับสเปกตรัมต่าง ๆ และผล ของสมการที่สร้างจากวิธีแยกกลุ่มทางสถิติที่ต่างกัน ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรด สามารถจะใช้ได้ทั้งการตรวจสอบเพื่อคัดแยกนมเจือปนออกจากนมบริสุทธิ์ได้ถูกต้องสูงสุดถึง 97% และยังสามารถวิเคราะห์หาปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำมันดิบได้อีกด้วย นอกจากนั้นยังทำการวิจัยเพื่อสร้างสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณไขมัน โปรตีน แลคโตส ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน ของแข็งทั้งหมด ค่าความถ่วงจำเพาะ และจุดเยือกแข็งของนมบริสุทธิ์ด้วยเทคนิค NIRS จากผลการวิจัยได้สมการที่มีประสิทธิภาพสูงเกือบทั้งหมดยกเว้นสมการสำหรับทำนายจุดเยือกแข็งเท่านั้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์องค์ประกอบทั้ง 6 ด้วยเทคนิค NIRS ได้ดีนั้นสามารถให้ข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการตรวจสอบคุณภาพนมดิบโดยไม่ทำลายอีกด้วย

คำหลัก : เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี นมดิบ คุณภาพ การเจือปน การจัดกลุ่ม

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
Abstract	(2)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(5)
สารบัญรูป	(7)
คำนำ	1
อุปกรณ์และวิธีการ	11
ผลและวิจารณ์	15
สรุปผลการวิจัย	47
เอกสารอ้างอิง	5
Output	52
ภาคผนวก	5
	3

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบของสารอาหารในน้ำมันดิบที่มีคุณภาพดี	5
2 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด	6
3 การแบ่งช่วงคลื่นย่านเนียร์อินฟราเรด	7
4 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และนมพาสเจอร์ไรส์ เจือปนน้ำด้วยเทคนิค NIRS คำนวณด้วยวิธี SIMCA โดยใช้การปรับแต่งสเปกตรัม และช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ	18
5 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และนมพาสเจอร์ไรส์ เจือปนน้ำด้วยเทคนิค NIRS คำนวณด้วยวิธี DPLS โดยใช้การปรับแต่งสเปกตรัม และช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ	18
6 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์ เจือปนนมผงปรุงแต่งด้วยเทคนิค NIRS วิธี SIMCA ที่ใช้การปรับแต่งสเปกตรัม และช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ	21
7 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์ เจือปนนมผงปรุงแต่งด้วยเทคนิค NIRS วิธี DPLS ที่ใช้การปรับแต่งสเปกตรัม และช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ	22
8 เปรียบเทียบผลทางสถิติของสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณน้ำที่เจือปนในนม พาสเจอร์ไรส์ โดยเปรียบเทียบสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR ไม่ปรับแต่งและ ปรับแต่งวิธีต่าง ๆ และการใช้ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน	24
9 เปรียบเทียบผลทางสถิติของสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณนมผงที่เจือปนใน นมพาสเจอร์ไรส์ โดยเปรียบเทียบสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR ไม่ปรับแต่งและ ปรับแต่งวิธีต่าง ๆ และการใช้ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน	25
10 แสดงปริมาณการเจือปนในตัวอย่างนมดิบ 90 ตัวอย่าง	26
11 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนมวัวดิบบริสุทธิ์ นมวัวดิบเจือปนน้ำ และนมวัวดิบเจือปนหางนม ด้วยเทคนิค NIRS วิธี SIMCA ที่ใช้การปรับแต่งสเปกตรัม และช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ	29
12 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนมวัวดิบบริสุทธิ์ นมวัวดิบเจือปนน้ำ และนมวัวดิบเจือปนหางนม ด้วยเทคนิค NIRS วิธี DPLS ที่ใช้การปรับแต่งสเปกตรัม และช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ	29
13 เปรียบเทียบผลทางสถิติของสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณน้ำที่เจือปนในนมดิบ โดยเปรียบเทียบสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR ไม่ปรับแต่งและปรับแต่งวิธีต่าง ๆ	31

- และการใช้ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน
- 14 เปรียบเทียบผลทางสถิติของสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณหางนมที่เจือปนในนมดิบ 31
โดยเปรียบเทียบสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR ไม่ปรับแต่งและปรับแต่งวิธีต่างๆ
และการใช้ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน
- 15 เปรียบเทียบผลการทดสอบสมการ DPLS ในการใช้เทคนิค NIRS แยกกลุ่ม 33
ตัวอย่างนมวัวดิบบริสุทธิ์ นมวัวดิบเจือปนน้ำ และนมวัวดิบเจือปนนมผงในชุดทดสอบ
โดยใช้การปรับแต่งสเปกตรัมและช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ
- 16 เปรียบเทียบผลทางสถิติของสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณองค์ประกอบน้ำนม 38
และสมบัติกายภาพของนมดิบ โดยเปรียบเทียบสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR
ไม่ปรับแต่งและปรับแต่งวิธีต่างๆ และการใช้ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	แสดงการดูดกลืนของโมเลกุล X-H ทำให้เกิดพีคในสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด	8
2	แสดงลักษณะ Sample presentations ในเทคนิค NIRS	9
3	แสดงสเปกตรัม NIR ของนมสดพาสเจอร์ไรส์ที่ความยาวคลื่น 1100 - 2500 นาโนเมตร วัดโดยใช้เซลล์ใส่ตัวอย่างขนาด pathlength 0.2 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตรตามลำดับ	15
4	(ก) แสดงการเตรียมกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์ผสมน้ำ โดยเติมน้ำในปริมาตรต่าง ๆ กัน แล้วเติมนมพาสเจอร์ไรส์ลงไปผสมน้ำ (ข) แสดงการเตรียมกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์ผสมนมผงปรุงแต่งสำหรับเด็ก โดยใส่นมผงปริมาณต่าง ๆ กัน เติมนมสดพาสเจอร์ไรส์ลงไป อุณหภูมิให้นมผงละลายใน water bath ที่อุณหภูมิ 70 °C	16
5	แสดงการใส่ตัวอย่างนมใน sample cell ขนาด pathlength 0.2 มิลลิเมตร	16
6	แสดง 57 สเปกตรัม NIR ของตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์และโมเดลนมผสมน้ำ สแกนที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-2500 นาโนเมตร ด้วยเซลล์ใส่ตัวอย่างขนาด pathlength 0.2 มิลลิเมตร	17
7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำหนดในการคำนวณ DPLS (แกน X) และผลการทำนายของสมการ DPLS ใช้สเปกตรัมปรับแต่งด้วย MSC ร่วมกับอนุพันธ์อันดับที่สอง ช่วงความยาวคลื่น 1100-1850, 2048-2500 นาโนเมตร (แกน Y) สำหรับจัดกลุ่มนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ ($-0.5 < 0 < 0.5$) และนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำ ($0.5 < 1 < 1.5$)	19
8	แสดงผลการทดสอบสมการแยกกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ (กลุ่มล่างเส้นประ) และกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำ (กลุ่มบนเส้นประ) แกน X หมายเลขตัวอย่าง แกน Y แสดงผลการจัด กลุ่มด้วยวิธี NIR จากสมการ DPLS	20
9	แสดงผลการทดสอบสมการ SIMCA ที่สร้างจากสเปกตรัม MSC ความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร เพื่อจัดกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์ (อยู่ในเส้นประแนวนอน) และกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่ง (อยู่ในเส้นทึบแนวตั้ง)	21
10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำหนดในการคำนวณ DPLS (แกน X) และผลการทำนายของสมการ DPLS ใช้สเปกตรัมปรับแต่งด้วย MSC ร่วมกับอนุพันธ์อันดับที่สอง ช่วงความยาวคลื่น 2048-2500 นาโนเมตร (แกน Y) สำหรับจัดกลุ่มนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ ($-0.5 < 0 < 0.5$) และนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่ง ($0.5 < 1 < 1.5$)	22
11	แสดงผลการทดสอบสมการแยกกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ (กลุ่มล่างเส้นประ) และกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่ง (กลุ่มบนเส้นประ)	23

	แกน X หมายเลขตัวอย่าง แกน Y แสดงผลการจัดกลุ่มด้วยวิธี NIR จากสมการ DPLS	
12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่เจือปนในนมพาสเจอร์ไรส์จริง (แกน X) และปริมาณน้ำที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)	24
13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณนมผงปรุงแต่งที่เจือปนในนมพาสเจอร์ไรส์จริง (แกน X) และปริมาณนมผงปรุงแต่งที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร (แกน Y)	25
14	แสดงสเปกตรัมเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตรของตัวอย่างนม 3 กลุ่ม ได้แก่ นมดิบบริสุทธิ์ (เส้นทึบ) นมดิบเจือปนน้ำ (เส้นประ) และนมดิบเจือปนหางนม (เส้นจุด)	27
15	แสดงสเปกตรัม NIRS ของตัวอย่างนมดิบที่ถูกเจือปนในช่วงความยาวคลื่น	28
16	1100 – 2500 นาโนเมตร ได้แก่ นมดิบเจือปนน้ำ (A) และนมดิบเจือปนหางนม (B) แสดงการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำหนด -1.0 = กลุ่มนมดิบเจือปนหางนม 0.0 = กลุ่มนมดิบบริสุทธิ์และ 1.0 = กลุ่มนมดิบเจือปนน้ำ (แกน X) และผลการจัดกลุ่มตัวอย่างด้วยสมการ DPLS ตัวอย่างตกในช่วง $-0.5 > Y > -1.5$ จัดเป็นนมดิบเจือปนหางนม ช่วง $0.5 > Y > -0.5$ จัดเป็นนมดิบบริสุทธิ์ และช่วง $1.5 > Y > 0.5$ จัดเป็นนมดิบเจือปนน้ำ (แกน Y)	30
17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำหนดในการคำนวณ DPLS (แกน X) และผลการทำนายของสมการ DPLS ใช้สเปกตรัม NIRS ปรับแต่งด้วย MSC ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y) จัดกลุ่มนมดิบธรรมชาติ ($-0.5 < 0 < 0.5$) นมเจือปนน้ำ ($0.5 < 1 < 1.5$) และนมเจือปนนมผง ($-1.5 < -1 < -0.5$)	33
18	พล็อตระหว่างผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนมชุดทดสอบด้วยเทคนิค NIRS ใช้สมการ DPLS ที่แยกกลุ่มถูกต้องมากที่สุด 97% (แกน Y) และหมายเลขตัวอย่าง (แกน X) โดยนมชุดทดสอบแบ่งเป็นนมบริสุทธิ์ (ตัวอย่างที่ 1-43) นมเจือปนน้ำ (ตัวอย่างที่ 44-97) และนมเจือปนน้ำนมผง (ตัวอย่างที่ 98-142)	34
19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่เจือปนในนมดิบจริง (แกน X) และปริมาณน้ำที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)	35
20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนมผงที่เจือปนในนมจริง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร	36
21	แสดงเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ค่าอ้างอิงของนมดิบตัวอย่าง (ก) แลคโตมิเตอร์ (lactometer) ใช้หาค่าความถ่วงจำเพาะ (ข) The Advanced Cryoscope ใช้วัดจุดเยือกแข็ง และ (ค) MilkoScan ใช้วิเคราะห์ปริมาณ ไขมัน โปรตีน แลคโตส TS และ SNF	37

22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร (แกน Y)	43
23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่ง MSC ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)	44
24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแลคโตสที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่ง MSC ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)	44
25	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (SNF) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)	45
26	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ดิบ ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)	45
27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)	46
28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจุดเยือกแข็งที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่ง MSC ความยาวคลื่น 1100-1850 นาโนเมตร (แกน Y)	46

คำนำ

คำนิยาม

นมดิบ (Raw Milk) หมายถึง สารคัดหลั่งซึ่งได้จากการรีดออกมาจากเต้านมของแม่โค กระบือ แพะหรือแกะที่มีสุขภาพดี หลังจากที่สัตว์นั้นคลอดลูกแล้ว 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะหมดนมน้ำเหลือง (Colostrums) ไม่ว่าจะผ่านกระบวนการแปรรูปหรือไม่ก็ตาม นำนมที่ถูกรีดออกมาใหม่ๆ จะมีอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส และนมนั้นจะถูกปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ตามเต้านม มือคนรีด ถังนม ฯลฯ ดังนั้นจึงต้องทำการลดอุณหภูมิของนมลงมาอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส โดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อรักษาคุณภาพของนมนม

องค์ประกอบของนมนม (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2546)

นมนมมีส่วนประกอบทางเคมีค่อนข้างซับซ้อน มีองค์ประกอบหลัก คือ โปรตีน ไขมัน น้ำตาลนม (แลคโตส) วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำ ส่วนประกอบทั้งหมดนอกจากน้ำ เรียกว่า ของแข็งในนมนม (Total solid) ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 13 น้ำประมาณร้อยละ 87 ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของนมนมมีรายละเอียด ดังนี้

น้ำ ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายสำหรับ น้ำตาล เกลือแร่ และวิตามินที่ละลายน้ำได้ น้ำในนมนมมีปริมาณร้อยละ 87 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับของแข็งที่มีทั้งหมดในนม

ไขมัน ที่อยู่ในนมนม นิยมเรียกว่า ไขมันนม (Milk fat หรือ butter fat) มีปริมาณร้อยละ 3.20 ของส่วนประกอบทั้งหมด อยู่ในนมนมในสภาพแขวนลอย กระจายตัวอยู่ในรูปของเม็ดไขมันเล็กๆ ในสภาพอิมัลชัน (Oil-in-water emulsion) ถ้าตัดก้นทิ้งไว้เม็ดไขมันจะลอยขึ้นมาบนผิว เรียกว่าชั้นของครีม (Cream line)

โปรตีน ในนมนมมีโปรตีนปริมาณร้อยละ 3.4 ของส่วนประกอบทั้งหมด ประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดมารวมกัน เนื่องจากกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบนั้นเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid) เป็นจำนวนมากและมีปริมาณมากเกือบเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายของมนุษย์

น้ำตาลแลคโตส เป็นน้ำตาลที่มีอยู่เฉพาะในนม เป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ดี จึงมีโอกาเป็นสารละลายอิมัลชันได้ง่าย น้ำตาลแลคโตสมีบทบาทสำคัญในการแปรรูปนมนมเป็นผลิตภัณฑ์นม เช่น นมเปรี้ยว และเนยแข็ง

วิตามิน นมนมเป็นแหล่งของวิตามินหลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย วิตามินที่มีอยู่ในนมนมได้แก่ วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง ไนอะซิน วิตามินที่มีปริมาณน้อยได้แก่ วิตามินดี และวิตามินซี

เกลือแร่ ในนมนมมีแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียมคลอไรด์ ฟอสฟอรัส โซเดียม ซัลเฟอร์ และแมกนีเซียม เป็นจำนวนมาก และมีเหล็ก ทองแดง สังกะสี อะลูมิเนียมและโคบอลต์เป็นส่วนน้อย โดยในนมนมมีเกลือแร่อยู่ประมาณร้อยละ 0.7

สารประกอบอินทรีย์ นอกจากองค์ประกอบดังกล่าวแล้วนมนมยังมีเอนไซม์ที่สามารถทำให้เกิดกลิ่นหืน เช่น ฟอสฟาเทส (Phosphatase) ไลเปส (Lipase) รวมทั้งสารอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดอะมิโน ครีเอทีน (Creatinine) และแก๊สต่างๆที่ติดมาขณะรีดนมหรือเกิดจากปฏิกิริยาในเต้านม

คุณสมบัติของน้ำมัน

เนื่องจากน้ำมันมีส่วนประกอบทางเคมีที่ค่อนข้างซับซ้อนดังกล่าวแล้ว คือ มีทั้งไขมัน โปรตีน น้ำตาล วิตามิน และแร่ธาตุ ในปริมาณที่แตกต่างกันจึงมีผลทำให้น้ำมันมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากของเหลวชนิดอื่นและมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการแปรรูปนม ตลอดจนการยอมรับของผู้บริโภค คุณสมบัติของน้ำมันที่สำคัญมีดังนี้ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช, 2546)

1. สีและกลิ่นรส

สี : น้ำมันโดยทั่วไปมีสีขาว เนื่องจากการสะท้อนแสงของเม็ดไขมันและโปรตีนเคซีน ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมัน แต่ถ้าเป็นฤดูที่แมโคได้รับหญ้าสดมากๆ สีของน้ำมันจะเป็นสีเหลืองอ่อน เนื่องจากมีสารพวกลีโพรทีนในไขมันนมมากกว่าปกติ โดยเฉพาะเมื่อนำไปปั่นแยกเป็นครีมหรือทำเป็นเนยจะยังมีสีเหลืองมากขึ้น

กลิ่นรส : กลิ่นของน้ำมันเป็นสมบัติที่ระบุให้ชัดเจนได้ยาก ผู้ที่ชำนาญจึงได้กลิ่นหอม ซึ่งบ่งบอกถึงความสดของน้ำมันที่รีดใหม่ๆ ซึ่งเป็นกลิ่นที่เกิดจากสารประกอบที่ระเหยได้ง่ายและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น อะซีโตน อะซีทาลดีไฮด์ กรดบิวทีริก หลังจากที่ยืดแล้วนานๆ กลิ่นนมสดจะหายไป นมจะดูกลิ่นต่างๆ จากสิ่งแวดล้อมทำให้น้ำมันมีกลิ่นนั้นๆ ส่วนรสชาติของนมจะหวานเล็กน้อย และมีความมันเป็นรสชาติเฉพาะเนื่องจากไขมัน โปรตีน และน้ำตาลแลคโตสที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมัน

น้ำมันยังอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสได้ในระหว่างการเก็บรักษา จากการเกิดออกซิเดชันของไขมันและโปรตีนในน้ำมัน และจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันโดยเอนไซม์ไลเปส (Lipase) ซึ่งมีผลให้น้ำมันเกิดกลิ่นเหม็นหืนขึ้น

2. ความเป็นกรด

โดยธรรมชาติน้ำมันจะมีความเป็นกรดเล็กน้อย มีค่า pH ระหว่าง 6.4 – 6.7 เนื่องจากเคซีนและฟอสเฟตที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันมีความเป็นกรด ถ้าน้ำมันมี pH ต่ำกว่า 6.2 ในช่วง 5.2 – 6.2 น้ำมันจะมีกลิ่นกรดและรสเปรี้ยว และหาก pH ต่ำจนถึง 4.4 – 4.8 เคซีนในน้ำมันจะตกตะกอนเป็นก้อน ซึ่งแสดงการเสียของน้ำมัน ความเป็นกรดของน้ำมัน สามารถบอกคุณภาพของน้ำมันดิบได้

3. ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของน้ำมันจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งในน้ำมัน (Total solid) ซึ่งปกติน้ำมันจะมีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.0135 – 1.0510 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส หากน้ำมันมีการปลอมปน เช่น มีการเติมน้ำลงในน้ำมันความถ่วงจำเพาะจะมีค่าลดลง

4. ความหนืด

ความหนืดของของเหลว หมายถึง ความต้านทานต่อการไหลซึ่งเกิดจากแรงดึงดูดของโมเลกุล น้ำมันมีความหนืดมากกว่าน้ำบริสุทธิ์ ความหนืดเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ทำให้น้ำมันและ

ผลิตภัณฑ์นมมีความแตกต่างกัน เพราะความหนืดของน้ำนมทำให้ผู้บริโภครู้สึกว่ามีเนื้อของนมตามธรรมชาติ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนืดของน้ำนม ได้แก่

- 4.1 ความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำนม ยิ่งมีมากความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น
- 4.2 ความเข้มข้นของไขมันในน้ำนม ยิ่งมีมากความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น
- 4.3 อุณหภูมิของน้ำนม ที่อุณหภูมิต่ำ น้ำนมจะมีความหนืดมากขึ้น
- 4.4 อายุของนม น้ำนมที่เก็บไว้นานจะยิ่งมีความหนืดเพิ่มขึ้น

5. จุดเยือกแข็ง

น้ำนมมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่าน้ำเพราะมีองค์ประกอบต่าง ๆ ละลายอยู่ จุดเยือกแข็งของน้ำนมมีค่าเท่ากับ -0.55 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็งของน้ำนมใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบดูว่ามีการเติมน้ำเจือปนลงในน้ำนมหรือไม่

6. จุดเดือด

จุดเดือดของน้ำนมมีค่าเท่ากับ 100.17 องศาเซลเซียส

7. ดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index)

ดัชนีการหักเหของน้ำนมมีค่า เท่ากับ 1.344 – 1.348 โดยถ้ามีการเติมน้ำในน้ำนมจะทำให้ค่าดัชนีลดลง

คุณค่าทางอาหารของนม

น้ำนมวัวเป็นเครื่องดื่มที่ถือว่ามีคุณค่าทางอาหารมากมาย อุดมด้วยธาตุอาหารครบทุกหมู่ คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน และ เกลือแร่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลนม หรือแลคโตส (lactose) และ โปรตีน ชนิด เคซีน (casein) ซึ่งพบในน้ำนมเท่านั้น นมยังเป็นแหล่งของแคลเซียมที่สำคัญ ดังนั้นนมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาทางร่างกายและสติปัญญาของเด็ก รัฐบาลไทยจึงส่งเสริมให้มีการรณรงค์บริโภคนมในหมู่ประชาชนทั่วไป โดยเฉพาะเด็กและเยาวชน

ในปี พ.ศ. 2547 ปริมาณการผลิตน้ำนมดิบทั้งหมดของประเทศไทยเป็น 746,646 ตัน หรือเฉลี่ยวันละ 2,045 ตัน เพิ่มขึ้นมากกว่าปริมาณน้ำนมดิบในปี พ.ศ. 2546 คิดเป็นร้อยละ 2 โดยปริมาณน้ำนมดิบที่รวบรวมโดยศูนย์รวมนมเอกชนและสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมเพิ่มขึ้นในอัตราเท่ากันคือร้อยละ 1.7 ปริมาณการผลิตน้ำนมดิบที่เพิ่มขึ้นในปีนี้ เนื่องจากไม่มีปัญหาโรคปากและเท้าเปื่อยระบาดเหมือนเช่นปีที่ผ่านมา ประกอบกับเกษตรกรให้ความสำคัญด้านการจัดการฟาร์มมากขึ้น มีการรับรองฟาร์มมาตรฐานโคนมเพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา โดยจำนวนฟาร์มโคนมที่รับรองมาตรฐานในช่วงปีงบประมาณ 2547 เป็น 783 ฟาร์ม เพิ่มขึ้นจากปีงบประมาณที่ผ่านมาที่มีเพียง 200 กว่าฟาร์มเท่านั้น ถึงแม้ว่าจำนวนฟาร์มโคนมมาตรฐานจะมีสัดส่วนเพียงร้อยละ 4 ของจำนวนฟาร์มโคนมทั้งหมดก็ตาม แต่เป็นสัญญาณว่าเกษตรกรเริ่มให้ความสำคัญกับฟาร์มมาตรฐานประกอบกับการปรับนโยบายของภาครัฐที่เปลี่ยนเป็นการตั้งรูกมากขึ้น เนื่องจากรัฐบาลกำหนดให้มี พ.ศ. 2547 เป็นปีแห่งความปลอดภัยด้านอาหาร มีการประชาสัมพันธ์ ทำให้ผู้เกี่ยวข้องตระหนักเรื่องคุณภาพน้ำนมดิบมากขึ้น ตั้งแต่ระดับฟาร์ม ศูนย์รวมรวมน้ำนมดิบและโรงงาน

ผู้ผลิตนมพร้อมดื่ม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้จำนวนฟาร์มโคนมที่ผ่านการรับรองมาตรฐานเพิ่มขึ้น (กรมปศุสัตว์, 2547)

รัฐบาลไทยยังส่งเสริมให้มีโครงการนมโรงเรียน เพื่อสนับสนุนให้เด็ก ๆ ตามโรงเรียนทุกโรงเรียน ได้มีโอกาสดื่มนมที่มีคุณภาพเพื่อเป็นการบำรุงร่างกาย ส่งผลให้ปริมาณความต้องการนํ้านมวัวในประเทศไทยมีเพิ่มสูงขึ้นมาก โดยมีปริมาณนํ้านมดิบทั้งหมดที่ผลิตได้ในไตรมาสที่ 1 ปี 2548 ถึง 28,693 ตัน ซึ่งมีมูลค่าสูงถึง 347 ล้านบาท (องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย, 2548) ในปี 2546 มีผลผลิตนมดิบภายในประเทศไทยทั้งหมด 726,963 ตัน มีปริมาณนํ้านมดิบส่งเข้าโรงงานเพียง 697,884 ตัน แต่ความต้องการนํ้านมพร้อมดื่มมีสูงถึง 703,510 ตัน และความต้องการนมพร้อมดื่มตั้งแต่ปี 2541-2546 มีอัตราเพิ่ม 7.4% (องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย, 2548) โครงการนมโรงเรียนเริ่มขึ้นตั้งแต่ปี 2535 จนถึงปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ปลุกฝังการดื่มนมในเด็กและเยาวชน เป็นอาหารเสริมระหว่างพัฒนาร่างกายและสติปัญญา 2) สนับสนุนการใช้นํ้านมดิบในโครงการส่งเสริมการเลี้ยงโคนมของรัฐบาล ปีแรกรัฐบาลจัดสรรงบประมาณให้กับโรงเรียนในสังกัด สปช.(สำนักงานการประมงแห่งชาติ) วงเงิน 278.6 ล้านบาท เพื่อหานมพร้อมดื่มให้กับเด็กนักเรียนเฉพาะในระดับชั้นอนุบาล รวม 120 วันต่อปี เฉลี่ยคนละ 5 บาทต่อวัน ในขนาด 200 ซีซี ต่อมาจัดสรรเพิ่มเติมให้กับหน่วยงานอื่นๆ ที่ดูแลเด็กนักเรียนและเยาวชน รวมทั้งขยายระยะเวลาจัดหาให้เด็กนักเรียนเพิ่มขึ้น เป็น 200 วัน ขยายไปถึงเด็กชั้นประถมปีที่ 4 ชั้นประถมปีที่ 5 และ 6 ที่น้ำหนักตัวต่ำกว่าเกณฑ์ ปี 2544 รัฐบาลจัดงบประมาณให้หน่วยงานต่างๆ รวม 11 หน่วยงาน เป็นเงิน 6,060.83 ล้านบาท และรวมงบประมาณ แต่หากรวมมูลค่างบประมาณตั้งแต่ปี 2535-2544 จำนวน 32,895.33 ล้านบาท จนกระทั่งมีกระแสข่าวถึงปัญหาคุณภาพนมโรงเรียนที่ไม่ได้มาตรฐาน มีการเติมสิ่งเจือปนลงในนํ้านมดิบเพื่อลดต้นทุนในการผลิต ลดปริมาณการใช้นํ้านมดิบแท้ 100 % (ส่วนข้อมูลข่าว ฝ่ายวิจัยและข้อมูลข่าว สำนักข่าวไทย, 2545) นํ้านมที่มีสิ่งเจือปนจะให้คุณค่าทางโภชนาการลดลงด้วย เป็นการเอาเปรียบผู้บริโภคอย่างมาก ซึ่งปัญหานี้จะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมอีกด้วย เนื่องจากทำให้เกิดสภาวะนํ้านมดิบล้นตลาด รัฐบาลจึงต้องมีการเพิ่มหลักเกณฑ์และวิธีการทำงาน ตลอดจนมาตรการในการควบคุมดูแล เพื่อสกัดการแสวงหาผลประโยชน์ สนับสนุนการใช้นํ้านมดิบในประเทศและเน้นการจัดซื้อนํ้านมจากสหกรณ์โคนม เนื่องจากประเทศไทยเป็นสมาชิกขององค์การการค้าโลก (WTO) และถูกกำหนดเขตการค้าเสรี (FTA) อีกด้วย ข้อผูกพันเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างตลาดนมและผลิตภัณฑ์นมในประเทศไทย โดยเฉพาะการเปิดตลาดนมผงนำเข้าจะเป็นภาวะคุกคามต่อเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมและปริมาณผลผลิตนํ้านมดิบที่ต้องการภายในประเทศและเพื่อการส่งออก(กรมปศุสัตว์, 2548) ดังนั้นเกษตรกรต้องปรับยุทธศาสตร์เพื่อรองรับสภาวะการกีดกันทางการค้าที่เกิดขึ้น หากเราสามารถศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อยับยั้งการกระทำที่เอาเปรียบเกษตรกรและผู้บริโภคนํ้านม ก็จะช่วยให้อุตสาหกรรมและสังคมของชาติยั่งยืนอย่างต่อเนื่อง

ในการผลิตนมและผลิตภัณฑ์นมให้ได้คุณภาพที่ดีนั้น จะต้องมาจากนํ้านมดิบที่มีคุณภาพที่ดีและปราศจากการเจือปน ดังนั้นทางองค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค) จึงได้กำหนดมาตรฐาน คุณภาพการรับซื้อนํ้านมวัวดิบจากเกษตรกรผู้ผลิต ให้เป็นไปด้วยความเหมาะสมและสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค ที่ต้องการนมและผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณภาพดี โดยนํ้านมดิบที่รับซื้อจะมีการวัดค่าต่างๆ ในนํ้านมดิบ เพื่อที่จะได้แบ่งเกรดและกำหนดราคารับซื้อกับเกษตรกรได้ถูกต้อง เช่น การ

ตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ไขมัน ความถ่วงจำเพาะ อุณหภูมิ ความเป็นกรด ค่า total solid และ solid non fat เป็นต้น (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2530) นอกจากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทั่วไปแล้ว การตรวจหาสิ่งเจือปนในน้ำนมถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างยิ่ง ลักษณะการเจือปนสิ่งอื่นลงมาในน้ำนม ได้แก่ นมที่มีน้ำเจือปน นมที่ผสมด้วยหางนมผง นมที่แยกเอาไขมันออก เป็นต้น (วรรณหา 2538) และปัญหาที่พบอยู่บ่อยๆ คือ เกษตรกรมักเติมน้ำลงไปในน้ำนมเพื่อเพิ่มปริมาณนมและทำให้ราคาสูงขึ้น เป็นผลให้เมื่อวิเคราะห์อุณหภูมิจุดเยือกแข็งของน้ำนมปรากฏว่ามีค่าสูงขึ้นอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของน้ำนมปกติ และหากพบว่ามี การปลอมปนน้ำในน้ำนมดิบเกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ผู้รับซื้อน้ำนมดิบสามารถตัดราคา หรือระงับการซื้อในครั้งนั้นได้ การตรวจสอบสิ่งเจือปนเหล่านี้ทำได้ไม่ยากนัก และต้องใช้วิธีวิเคราะห์หลายวิธีมาพิจารณาร่วมกัน ทำให้เสียเวลาในการตรวจสอบค่อนข้างนาน หากสามารถนำเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรด (Near Infrared (NIR) Spectroscopy) เข้ามาใช้ตรวจวิเคราะห์หาสิ่งเจือปนในน้ำนมดิบได้ ก็จะช่วยประหยัดเวลาในการตรวจวิเคราะห์ได้มาก

โดยทั่วไปการรับซื้อน้ำนมวัวดิบจะต้องผ่าน การตรวจองค์ประกอบน้ำนมในน้ำนมดิบและผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องอัตโนมัติ เพื่อใช้พิจารณาให้ราคาน้ำนมตามมาตรฐานน้ำนมดิบ ซึ่งสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดให้น้ำนมดิบคุณภาพดีควรมีองค์ประกอบน้ำนม

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของสารอาหารในน้ำนมดิบที่มีคุณภาพดี

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ไขมัน (Fat)	$\geq 3.2 \%$
โปรตีน (Protein)	$\geq 2.8 \%$
ธาตุน้ำนมไม่รวมไขมัน (Solids Not Fat)	$\geq 8.25 \%$
ธาตุน้ำนมทั้งหมด (Total solids)	$\geq 12 \%$
การตรวจนับจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนมดิบ (Somatic Cell Count)	$< 500,000$ เซลล์ / มิลลิลิตร
จุดเยือกแข็ง	$\geq -0.525 \text{ }^{\circ}\text{C}$
ความถ่วงจำเพาะ	≥ 1.025

(http://www.dld.go.th/vrd_ep/method/sup_milk/cmp_page.htm)

การวิเคราะห์ให้ได้ค่าคุณสมบัติของน้ำนมครบถ้วน ต้องใช้เวลานานเพราะต้องใช้วิธีการวิเคราะห์หลายวิธี นอกจากนั้นตัวอย่างนมที่ถูกตรวจสอบคุณภาพจะปนเปื้อนสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์จึงไม่สามารถนำกลับมาบริโภคได้อีก คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ให้สามารถใช้ตรวจสอบหาสิ่งเจือปนและ วิเคราะห์ ปริมาณ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในน้ำนมวัวดิบได้อย่างรวดเร็ว โดยมีความถูกต้องแม่นยำ และปราศจากการใช้สารเคมี

หลักการพื้นฐานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

เมื่อปี ค.ศ.1800 Sir William Herschel ได้ศึกษาเกี่ยวกับ Heating effect ในช่วงต่าง ๆ ของสเปกตรัม โดยค้นพบ Heating effect สูงสุดในแถบแสงที่อยู่ถัดไปจากแสงสีแดง (red end) แต่ไม่สามารถมองเห็นสเปกตรัม (Spectrum) ได้ จึงเรียกช่วงรังสีที่เค้านับพบว่ารังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation) การค้นพบครั้งนี้ถือเป็นการค้นพบที่ยิ่งใหญ่ เพราะรังสีอินฟราเรดประกอบไปด้วยสามช่วงความยาวคลื่นที่สำคัญ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่างกัน หนึ่งในนั้นก็คือช่วงรังสีเนียร์อินฟราเรดเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) นั่นเอง

แสงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) เป็นคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 780-2500 นาโนเมตร โดยมีหลักการดังนี้ คือ เมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุแล้วสารเกิดการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง Near Infrared ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูงในการสั่นของพันธะต่างๆจะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละพันธะรวมทั้งตำแหน่งของโมเลกุลและช่วงการดูดกลืนแสงก็เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชันด้วย ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลก็จะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติ จากเดิมที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะพื้น (ground vibration level) เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะอยู่ในสภาวะกระตุ้น (excited vibration level) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้าไปออกมาในรูปพลังงานความร้อน ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (Absorbance, A) เป็นไปตามกฎของเบียร์ – แลมเบิร์ต (Beer – Lambert) พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne *et al.*, 1993) สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะมี H-atom เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล N-H พบในโปรตีน C-H พบในน้ำมัน

ช่วงคลื่นอินฟราเรด (IR) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

ตารางที่ 2 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	Wavelength (nm)	Wavenumber (cm ⁻¹)
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	800 – 2500	12500 – 4000
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR or fundamental IR)	2500 – 25000	4000 – 400
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	25000 – 100000	400 – 10

ช่วงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared)

มีความยาวคลื่นในช่วง 800 – 2500 นาโนเมตร แยกการดูดกลืนคลื่นแสงเกิดจากโอเวอร์โทน และมักพบว่าช่วงการดูดกลืนแสงที่ได้ค่อนข้างต่ำ มีประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันนัล และศึกษาโครงสร้างโมเลกุล

ช่วงกลางอินฟราเรด (Middle Infrared)

มีความยาวคลื่นในช่วง 2500 – 50000 นาโนเมตร สเปกตรัมที่ได้ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะโครงสร้างของโมเลกุลที่สมบูรณ์ การวิเคราะห์จึงต้องให้วิธีเปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่ทราบโครงสร้างแล้ว ใช้ในการวิเคราะห์พวกลุ่มฟังก์ชันนัล

ช่วงไกลอินฟราเรด (Far Infrared)

มีความยาวคลื่นในช่วง 50,000 – 1,000,000 นาโนเมตร ช่วงนี้ไม่ค่อยที่จะได้ใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากสเปกตรัมไม่ได้เกิดจากการสั่นหรือการหมุนของโมเลกุล แต่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทรานสิชันที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของโมเลกุล

การวิเคราะห์ตำแหน่งพีคในแถบสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด (Band assignment of NIR spectrum)

โดยทั่วไปช่วงคลื่นแสง NIR ยังแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

ตารางที่ 3 การแบ่งช่วงคลื่นย่านเนียร์อินฟราเรด

ช่วงคลื่น	Wavelength (nm)	Wavenumber (cm ⁻¹)
Region I	800 – 1100	12500 – 9000
Region II	1200 – 1800	8500 – 5500
Region III	1800 – 2500	5500 – 4000

Region I

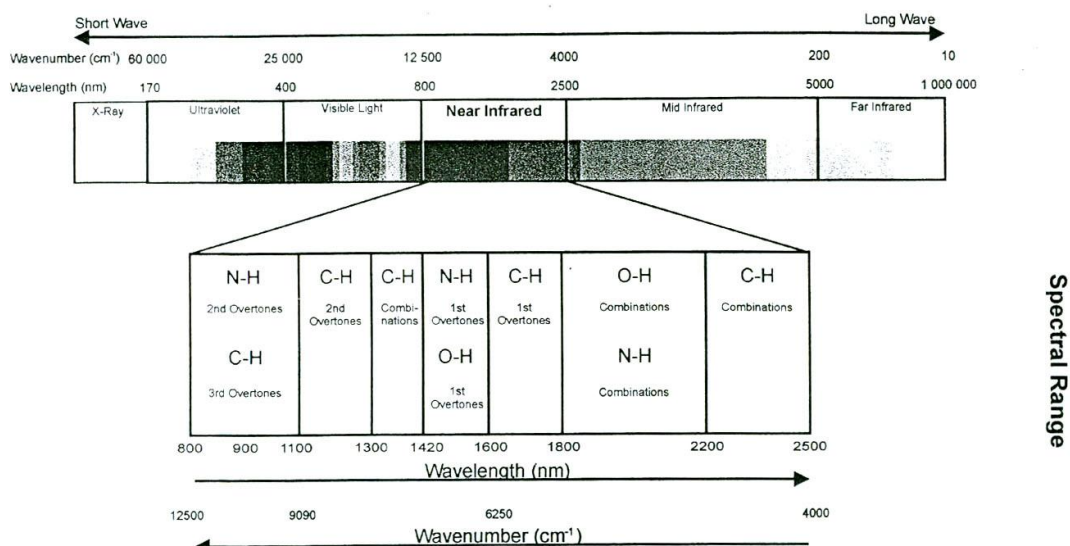
มีชื่อเรียกกันว่า “รังสีเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น” (Short wavelength NIR, SWNIR) หรือ “Herschel region” เราจะพบโอเวอร์โทนที่สองและสาม (2nd and 3rd overtones) และการสั่นรวม (combination mode) สำหรับการสั่นแบบยืด (stretching vibration) ของหมู่ฟังก์ชัน X-H, X=C, O, N

Region II

จะพบโอเวอร์โทนที่หนึ่งและการสั่นรวมหลากหลายแบบในการสั่นแบบยืด (stretching vibration) ของ X-H

Region III

ส่วนมากจะปรากฏการสั่นรวม (combination mode)

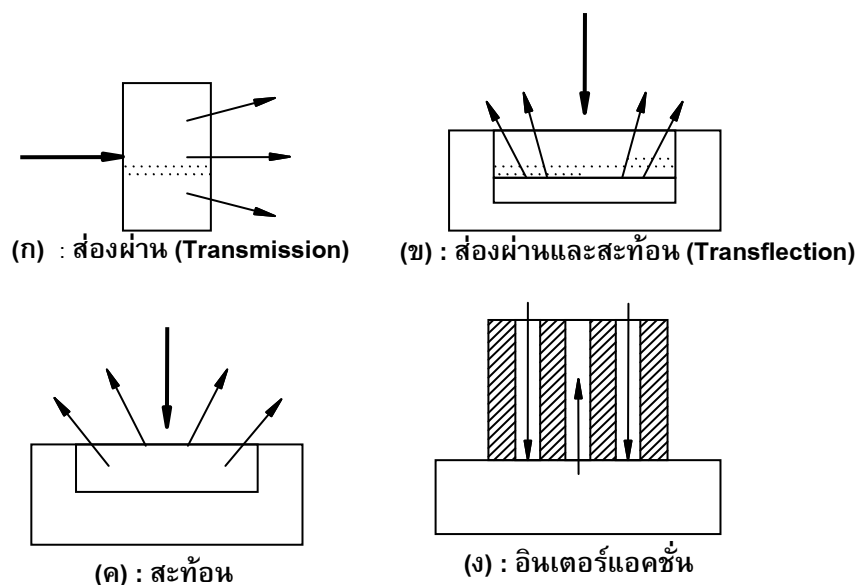


รูปที่ 1 แสดงการดูดกลืนของโมเลกุล X-H ทำให้เกิดพีคในสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด

รูปแบบที่วัดคุณสมบัติปฏิกิริยาต่อแสงเนียร์อินฟราเรด (NIR)

แสงเนียร์อินฟราเรด (NIR) เมื่อผ่านไปยังตัวอย่างจะเกิดการกระทำกับสารได้หลายแบบ เช่น คลื่นแสงถูกดูดกลืน (absorbtion) การส่องผ่าน (transmission) การสะท้อน (reflection) การเรืองแสง (fluorescence) การกระเจิงแสง (scattering) (อนุพันธ์, 2545) ดังนั้นควรมีการจัดวางตัวอย่างในการใช้เทคนิค NIR เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่สัมพันธ์กับปริมาณค่าทางเคมีที่สนใจ ได้แก่ (ศุมาพร, 2545)

1. Transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ ดังภาพ 2ก
2. Reflection แสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง วัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย ดังภาพ 2ข
3. Transflection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทอง หรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุด แล้วสะท้อนกลับมายัง detector ดังภาพ 2ค
4. Interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่องผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics probe ดังภาพ 2ง



รูปที่ 2 แสดงลักษณะ Sample presentations ในเทคนิค NIRS

ประโยชน์ของเทคนิค NIR

Osborne *et al.* (1993) ได้กล่าวว่า เครื่องมือแต่ละประเภทต่างก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน แต่เครื่อง NIR มีประโยชน์และข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทางเคมีหรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIR ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมมีประโยชน์มากมายเช่น

1. ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง ไม่จำเป็นต้องชั่งตัวอย่างก่อนนำมาวัดค่า
2. มีความรวดเร็วในการวัดค่า
3. การตรวจสอบเป็นแบบไม่ทำลาย ทำให้ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ สามารถจำหน่ายส่งออกหรือบริโภคต่อได้ เป็นการประหยัดต้นทุนของผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่ง
4. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ลดต้นทุนในการดูแลรักษาสภาพแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางด้านเคมี
5. สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากในการปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ หรือต้องได้รับการฝึกฝนโดยเฉพาะ สามารถปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานได้ทันที
6. ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี และเครื่องแก้วเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถลดต้นทุนในเรื่องสารเคมี และอุปกรณ์เครื่องแก้วลงไปได้
7. เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์น้ำหนักด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโกปี (NIRS)

ปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงความปลอดภัยด้านอาหารสูงขึ้น ดังนั้นเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการรับประกันความปลอดภัยและคุณภาพของอาหาร จึงต้องได้รับการพัฒนาให้ได้มาตรฐานเพื่อตอบสนองความตื่นตัวของผู้บริโภค เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโตรสโกปีก็เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่มีศักยภาพสูง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อตรวจสอบคุณภาพสินค้าทั้งทางด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมต่าง ๆ

อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเทคโนโลยี NIRS มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง สามารถตรวจวัดตัวอย่างในสภาพที่ตัวอย่างเป็นอยู่โดยไม่ต้องมีการเตรียมตัวอย่าง จึงตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว และแทบไม่ต้องใช้สารเคมีใดๆเลย นอกจากนั้นเทคโนโลยีนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการจำแนกตัวอย่างตามคุณสมบัติเชิงคุณภาพได้อีกด้วย

มีการศึกษาเพื่อนำเทคนิค NIRS เข้ามาประยุกต์ใช้หาปริมาณคุณค่าทางอาหารในผลิตภัณฑ์นมชนิดต่าง ๆ ได้แก่ นม บัตเตอร์ เคซีน นมผง และเนยแข็ง (Hiromi *et al.*, 1994 , Chen *et al.*, 1999 , Tsenkova *et al.*, 1999, Donald *et al.*, 2001, และ Sasic *et al.*, 2001) โดย Sasic และ Ozaki (2001) ได้รายงานผลการศึกษที่สำคัญ อันได้แก่ความสัมพันธ์ทางเคมีที่แสดงจากสเปกตรัม NIR ของนม สำหรับการตรวจสอบสิ่งเจือปนในน้ำนมวัว มีนักวิจัยหลายกลุ่มทำการศึกษานี้ด้วยวิธีวิเคราะห์หลายรูปแบบ ได้แก่ Ystgaard *et al.* (1951) ศึกษาหาการปนเปื้อนของน้ำในน้ำนมวัวด้วยวิธี Lactometric method และ Freezing point ในปี 1989 Wolfschoon-Pombo *et al.* วิเคราะห์หาการเจือปนหางนมในน้ำนมด้วยการหาปริมาณเคซีนที่สร้างพันธะกับฟอสฟอรัสและหาปริมาณไนโตรเจนในโปรตีน นอกจากนั้น Rehman *et al.* (2000) ตรวจสอบหาการปนนมผงในน้ำนมควายโดยการหาปริมาณ Hydroxymethylfurfural เป็นต้น หากแต่ยังไม่มีมีการประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS ในการตรวจสอบและคัดแยกนมที่เจือปนด้วยน้ำและหางนมผงออกจากนมบริสุทธิ์ ดังนั้นการวิจัยเพื่อนำเทคนิค NIRS มาประยุกต์ใช้ตรวจสอบคุณภาพนมวัวแบบครบวงจรทั้งในเชิงคุณภาพ ได้แก่การหาสิ่งเจือปน และในเชิงปริมาณ ได้แก่การหาปริมาณคุณค่าทางอาหารที่สำคัญ จึงเป็นสิ่งที่ควรศึกษาเป็นอย่างมาก

วัตถุประสงค์

1. นำเทคนิค NIR spectroscopy มาประยุกต์ใช้เพื่อ ตรวจสอบคุณภาพน้ำนมวัวดิบแบบรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง โดย 1) ทำการศึกษาเพื่อตรวจคัดแยกนมที่มีสิ่งเจือปน ได้แก่ น้ำและนมผงออกจากนมบริสุทธิ์ และ 2) เพื่อตรวจหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในน้ำนม ได้แก่ ค่าไขมัน โปรตีน แลคโตส ของแข็งในน้ำนมไม่รวมไขมัน (Solid Non Fat) และของแข็งทั้งหมดในน้ำนม (Total Solid)

2. เพื่อใช้ข้อมูลที่ได้เป็นแนวทางในการพัฒนา ระบบตรวจสอบคุณภาพ น้ำนมดิบด้วยเทคนิค NIR แบบครบวงจร ซึ่งมีแนวโน้มจะลดเวลาและขั้นตอนในการตรวจวิเคราะห์ได้อย่างมาก

3. เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้เทคนิค NIR ในงานด้านเกษตร

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างนม

- 1.1 นมวัวดิบจากศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นนมจากสหกรณ์โคนมอ่าวน้อย จ.ประจวบคีรีขันธ์
- 1.2 นมสดพาสเจอร์ไรส์ รสจืด
- 1.3 นมผงปรุงแต่งสำหรับเด็ก
- 1.4 หางนม (Skim Milk Represser/Whey) Espriion 150 ของ DVM International, The Netherlands
- 1.5 หางนม (Whey) Fonterra, New Zealand
- 1.6 นมผง (Whole Milk Powder) ของ Fonterra, New Zealand

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 2.1 เครื่อง NIR spectrophotometer รุ่น InfraAlyzer 500 ของ BRAN+LUEBBE, Germany
- 2.2 เครื่อง MilkoScan 4000 ของ FOSS, Denmark
- 2.3 เครื่อง The Advanced Cryoscope model 403 ของ Advanced Instrument, Inc., USA
- 2.4 เครื่อง Water bath ของ Memmert, Germany
- 2.5 เครื่อง Lactometer ของ Precision, Canada
- 2.6 เครื่อง pH meter รุ่น CG842 ของ Schott, Germany
- 2.7 Transferpette 1-5 ml, ของ Brand, Germany
- 2.8 Mechanical Pipettors 1-5 ml ของ Biohit, Germany
- 2.9 Magnetic-Assist Pipette 1 ml, Rianin, USA
- 2.10 เครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติกต่าง ๆ

3. โปรแกรมสำหรับการคำนวณทางสถิติ

- 3.1 The Unscrambler version 9.7 ของ CAMO, Norway

วิธีการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจหาสิ่งเจือปนในน้ำนมวัวดิบด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS)

1.1 การศึกษาเบื้องต้นในการแยกกลุ่มนม พาสเจอร์ไรส์ เจือปนน้ำ นม พาสเจอร์ไรส์ เจือปนนมผงปรุงแต่ง และนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์

1.1.1 สร้างกลุ่มตัวอย่างนมเจือปนน้ำรวม 49 ตัวอย่าง โดย เติมน้ำกลั่นลงใน นมพาสเจอร์ไรส์ รสจืดปริมาณต่าง ๆ จะได้ตัวอย่างที่มีน้ำปนอยู่ในช่วง 1.00 – 50.00 % (v/v)

1.1.2 หาขนาด pathlength ที่เหมาะสมในการวัด สเปกตรัม NIRS โดยเปรียบเทียบสเปกตรัมของนมพาสเจอร์ไรส์ที่บรรจุในเซลล์ใส่ตัวอย่างที่มี pathlength ขนานต่างกัน ได้แก่ 0.2 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร นำมาสแกนด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer ระบบสะท้อนแสง (reflectance) ความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100 – 2500 นาโนเมตร

1.1.3 นำนมสดพาสเจอร์ไรส์ 8 ตัวอย่างและกลุ่มตัวอย่างนมเจือปนน้ำ 49 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 57 ตัวอย่างมาสแกนเก็บสเปกตรัม NIRS ควบคุมอุณหภูมิให้น้ำนมให้คงที่ ที่ 28 °C

1.1.4 คำนวณสร้างสมการแยกกลุ่มนมบริสุทธิ์และนมที่เจือปนด้วยน้ำ โดยนำข้อมูลสเปกตรัม NIR ของตัวอย่างนมมาคำนวณด้วยวิธี Discrimination Analysis ได้แก่ วิธี Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) และ Discrimination Partial Least Squares (DPLS) และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของสองวิธีดังกล่าว

เนื่องจากจำนวนตัวอย่างในขั้นการศึกษาเบื้องต้น กลุ่มนมเจือปนน้ำมีเพียง 49 ตัวอย่าง จึงใช้ข้อมูลทั้งหมดในการสร้างสมการและทดสอบสมการด้วยข้อมูลชุดเดียวกัน (cross validation)

เปรียบเทียบสมการที่คำนวณจากสเปกตรัมดิบ คือข้อมูลสเปกตรัม NIRS ที่ได้จากเครื่อง ไม่มีการคำนวณปรับแต่งใด ๆ และสเปกตรัม NIRS ที่ทำการคำนวณปรับแต่งด้วยวิธี ดังนี้

1) Multiplicative Scattering Correction (MSC) แบบ Full ($X = (X-a)/b$)

2) MSC + 2nd derivative (วิธี Savitzky Golay : smoothing points 9:9, Polynomial order = 2) เลือกสมการ Calibration ที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบผลทางสถิติที่ได้จากการทดสอบสมการ

1.1.5 คำนวณสร้างสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณน้ำที่ถูกเติมลงไป ใน นมสดพาสเจอร์ไรส์ โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปริมาณน้ำที่เติม และข้อมูล NIR สเปกตรัมของกลุ่มตัวอย่างนมเจือปนน้ำ 49 ตัวอย่าง การคำนวณสมการใช้วิธีทางสถิติที่เรียกว่า Partial Least Squares Regression (PLSR)

1.1.6 สร้างกลุ่มตัวอย่างนมเจือปนนมผง รวม 24 ตัวอย่าง โดยเติมนมผง ปริมาณต่าง ๆ ในนมพาสเจอร์ไรส์ เก็บข้อมูลสเปกตรัม NIRS ของตัวอย่างเพื่อใช้ในการสร้างสมการดังข้อ 1.1.4 และ 1.1.5 ตามลำดับ

1.2 ทำการศึกษาเพื่อตรวจคัดแยกนม วัวดิบที่มีสิ่งเจือปน ได้แก่ น้ำและหางนม ออกจากนม บริสุทธิ์ ด้วยเทคนิค NIRS

1.2.1 สร้างกลุ่มตัวอย่างนมเจือปนน้ำ โดย เติมน้ำกลั่นในน้ำ นมวัวดิบ ในปริมาณตั้งแต่ 1.00 – 97.00 % (v/v) รวม 50 ตัวอย่าง และสร้างกลุ่มตัวอย่างนมเจือปนหางนม จากการเติมหางนมในน้ำนมวัวดิบ 2.15 – 48.40% (w/v) จำนวน 40 ตัวอย่าง เมื่อรวมกับตัวอย่างนมวัวดิบ 10 ตัวอย่าง จะได้จำนวนตัวอย่างรวมทั้ง 3 กลุ่ม เป็น 100 ตัวอย่าง นำนมตัวอย่างทั้ง 100 ตัวอย่างมาสแกน ด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer ความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100 – 2500 นาโนเมตร ควบคุมอุณหภูมิให้น้ำนมให้คงที่ 28 °C ใช้เซลล์ที่มี pathlength ขนาด 0.2 มิลลิเมตร ที่เลือกจากการศึกษาในข้อ 1.1 ตลอดจนการทดลอง

1.2.2 คำนวณเพื่อสร้างสมการแยกกลุ่มนมทั้ง 3 กลุ่ม โดยนำข้อมูลสเปกตรัม NIR ของตัวอย่าง มาคำนวณด้วยวิธี Discrimination Analysis 2 วิธี ได้แก่ 1) Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA) และ 2) Discrimination Partial Least Squares (DPLS) และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของสองวิธีดังกล่าว

1.2.3 คำนวณเพื่อ สร้างสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณ สิ่งเจือปนที่ถูกเติมลงไป ใน น้ำนมดิบ ได้แก่ 1) สมการทำนายปริมาณน้ำ และ 2) สมการทำนายปริมาณหางนม โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเจือปนที่เติมลงไปจริงและข้อมูล NIR สเปกตรัมของตัวอย่างนมที่มีการเจือปน

1.2.4 สมการที่ได้ในข้อ 1.2.2 และ 1.2.3 จะเปรียบเทียบสมการที่คำนวณจากสเปกตรัมดิบและสเปกตรัม NIRS ที่ทำการคำนวณปรับแต่งด้วยวิธี ดังนี้

1) Multiplicative Scattering Correction (MSC) แบบ Full ($X = (X-a)/b$)

2) MSC + 2nd derivative (วิธี Savitzky Golay : smoothing points 9:9, Polynomial order = 2)

1.3 ทำการศึกษาเพื่อตรวจคัดแยกนม วัวดิบที่มีสิ่งเจือปน ได้แก่ น้ำและนม ผง ออกจากนม บริสุทธิ์ ด้วยเทคนิค NIRS

1.3.1 เตรียมตัวอย่าง 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) นมวัวดิบ 95 ตัวอย่าง 2) นมวัวดิบเจือปนน้ำ มีปริมาณการเจือปน 4.00 – 50.00 % (v/v) รวม 165 ตัวอย่าง และ 3) นมเจือปนนมผง (whole milk powder) โดยเติมนมผงละลายนมผงเข้มข้นในน้ำนมวัวดิบด้วยปริมาณ 20 .00 – 100.00% (v/v) จำนวน 220 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 480 ตัวอย่าง

1.3.2 นำนมตัวอย่างทั้งหมดมาสแกนเก็บสเปกตรัม NIRS ความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100 – 2500 นาโนเมตร ควบคุมอุณหภูมิให้น้ำนมให้คงที่ 28 °C

1.3.3 คำนวณเพื่อสร้างสมการแยกกลุ่มนมทั้ง 3 กลุ่ม โดยนำข้อมูลสเปกตรัม NIR ของตัวอย่าง มาคำนวณด้วยวิธี Discrimination Partial Least Squares (DPLS) ที่เลือกจากการศึกษาในข้อ 1.2

1.3.4 สร้างสมการการแยกกลุ่มที่คำนวณด้วยข้อมูล สเปกตรัม NIRS ชนิดปรับแต่งและไม่ปรับแต่ง เพื่อหาสมการที่มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุด

1.3.5 ทดสอบสมการการแยกกลุ่มด้วยตัวอย่างชุดทดสอบ (test set sample) จำนวน 142 ตัวอย่าง ประกอบด้วยนมดิบธรรมชาติ 43 ตัวอย่าง นมเจือปนน้ำ 54 ตัวอย่าง และนมเจือปนนมผง ชนิดละ 35 ตัวอย่าง

1.3.6 กำหนดสร้างสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณสิ่งเจือปนที่ถูกเติมลงไปให้นมดิบ ได้แก่ 1) สมการทำนายปริมาณน้ำ และ 2) สมการทำนายปริมาณนมผง โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งเจือปนที่เติมลงไปและข้อมูล NIR สเปกตรัมของตัวอย่างนมที่ถูกเจือปน

2. การหาปริมาณองค์ประกอบนํ้านมโดยไม่ทำลายด้วยวิธีอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRs)

2.1 ใช้นํ้านมวัวดิบทั้งหมด 90 ตัวอย่าง สำหรับสร้างสมการ (Calibration sample set) และใช้นมดิบ 31 ตัวอย่างสำหรับทดสอบสมการ (prediction sample set) วัดเก็บข้อมูลสเปกตรัม NIR โดยใช้เซลล์ที่มี pathlength ขนาด 0.2 มิลลิเมตร สแกนด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer ความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100 – 2500 นาโนเมตร ควบคุมอุณหภูมิให้นมให้คงที่ 28 °C

2.2 วิเคราะห์หาปริมาณไขมัน โปรตีน แลคโตส ของแข็งทั้งหมด ในนํ้านม และของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันในนํ้านม ด้วยเครื่อง MilkoScan 4000 หาค่าความถ่วงจำเพาะ และจุดเยือกแข็งของตัวอย่างนํ้านมดิบด้วยแลคโตมิเตอร์ (lactometer) ที่อุณหภูมิ 28 °C และเครื่อง The Advanced Cryoscope model 403 ตามลำดับ

2.3 สร้าง Calibration models สำหรับทำนายปริมาณองค์ประกอบทางโภชนาการและทำนายคุณสมบัติทางกายภาพของนํ้านมดิบที่สำคัญ ดังนี้ ไขมัน โปรตีน แลคโตส ของแข็งทั้งหมด ในนํ้านม (Total Solid, TS) ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันในนํ้านม (Solid Non Fat, SNF) ค่าความถ่วงจำเพาะ และจุดเยือกแข็ง ตามลำดับ โดยใช้วิธีทางสถิติ Partial Least Squares (PLS) Regression คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัม NIR และค่าปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพที่วิเคราะห์ได้จากข้อ 2.2 และทดสอบสมการด้วยตัวอย่างชุดทดสอบ

2.4 กำหนดเพื่อปรับแต่งสเปกตรัม NIR ด้วยวิธีต่าง ๆ

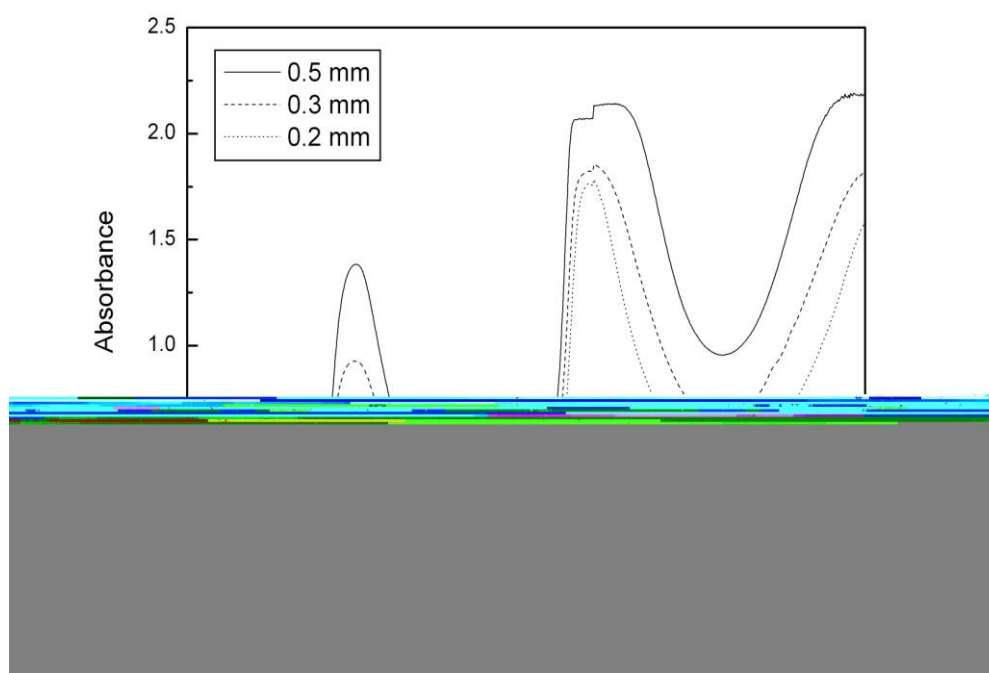
2.5 ทดสอบสมการและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายของสมการที่ปรับแต่งและไม่ปรับแต่ง เพื่อหาสมการที่มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุด

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจหาสิ่งเจือปนในน้ำมันวัวดิบด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS)

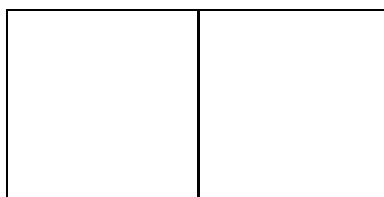
1.1 การศึกษาเบื้องต้นในการแยกกลุ่มนม พาสเจอร์ไรส์ เจือปนน้ำ นม พาสเจอร์ไรส์ เจือปนนมผงปรุงแต่ง และนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์

ผลการหาขนาด pathlength ของเซลล์ใส่ตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการทดลองพบว่าขนาด 0.2 มิลลิเมตรเหมาะสมที่สุด ดังรูปที่ 3 แสดงการวัดสเปกตรัม NIR ของนมพาสเจอร์ไรส์ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100 – 2500 นาโนเมตร ลักษณะของสเปกตรัมให้พีคขนาดใหญ่ 2 พีค ซึ่งเป็นพีค OH ของน้ำที่ความยาวคลื่นประมาณ 1400 และ 1900 นาโนเมตร ในการ สแกนตัวอย่างนมตัวเดียวกันแต่ใช้เซลล์ใส่ตัวอย่างที่มี pathlength ขนาดต่างกัน คือ 0.2 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างจะสูงขึ้นเมื่อใช้ pathlength กว้างขึ้น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะสเปกตรัมที่ได้จึงเลือกใช้ pathlength ขนาดเล็กที่สุดคือ 0.2 มิลลิเมตรตลอดการทดลอง เนื่องจากให้พีคสมบูรณ์ ไม่เกิด over absorption (ดังที่ปรากฏในพีค 1900 นาโนเมตรเมื่อใช้เซลล์ใส่ตัวอย่างขนาดใหญ่) และยังใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยที่สุด

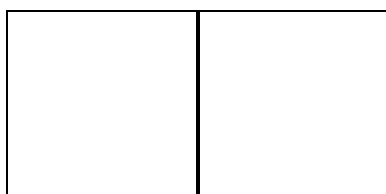


รูปที่ 3. แสดงสเปกตรัม NIR ของนมสดพาสเจอร์ไรส์ที่ความยาวคลื่น 1100 - 2500 นาโนเมตร วัดโดยใช้เซลล์ใส่ตัวอย่างขนาด pathlength 0.2 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตรตามลำดับ

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนด้วยน้ำและนมผงปรุงแต่งสำหรับเด็กและการใส่ตัวอย่างลงในเซลล์สำหรับวัดด้วยเครื่อง NIRS แสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 (ก) แสดงการเตรียมกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์ผสมน้ำ โดยเติมน้ำในปริมาณต่าง ๆ กันแล้ว
เติมนมพาสเจอร์ไรส์ลงไปผสมน้ำ

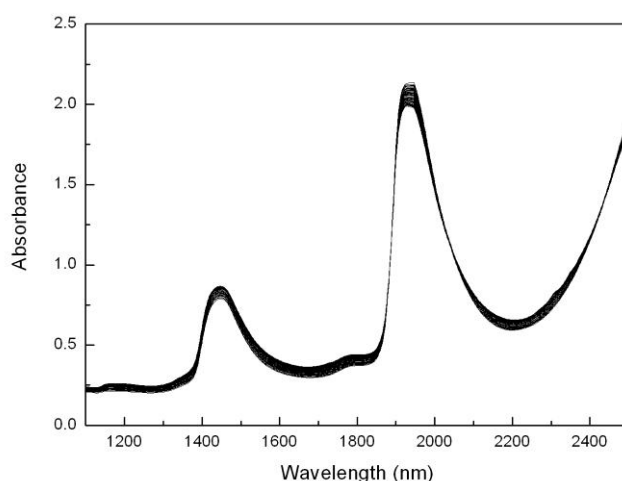
(ข) แสดงการเตรียมกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์ผสมนมผงปรุงแต่งสำหรับเด็ก โดยใส่นมผงปริมาณ
ต่าง ๆ กัน เติมนมสดพาสเจอร์ไรส์ลงไป อุณหภูมิให้นมผงละลายใน water bath ที่อุณหภูมิ 70 °C



รูปที่ 5 แสดงการใส่ตัวอย่างนมใน sample cell ขนาด pathlength 0.2 มิลลิเมตร
การจัดกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และนมพาสเจอร์ไรส์เจือปน
นมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำ

เมื่อนำตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์ และตัวอย่าง นมพาสเจอร์ไรส์ เจือปนน้ำมาสแกนเก็บสเปกตรัม
NIR ที่ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร จะได้สเปกตรัมดังรูปที่ 6 ซึ่งแสดงพีคขนาดใหญ่ 2 พีคที่

ตำแหน่งประมาณ 1400 และ 1900 นาโนเมตร นั่นก็คือแถบพีก OH ของน้ำ น้ำสามารถดูดกลืนแสง NIR ได้ดีมาก จึงปรากฏพีกขนาดใหญ่บดบังพีกของโมเลกุลอื่น ๆ หากพิจารณาสัดส่วนปริมาณโมเลกุลน้ำในตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์กับนมพาสเจอร์ไรส์ที่เติมน้ำลงไป นมที่มีการเติมน้ำจะมีสัดส่วนโมเลกุลน้ำมากกว่าอย่างแน่นอน ดังนั้นค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งพีก 1400 และ 1900 นาโนเมตรของนมเจือปนน้ำจะสูงกว่านมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ โดยพีก OH ของน้ำจะสูงขึ้นตามปริมาณน้ำที่เติมลงไปตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงที่พีก OH ของปริมาณที่น้ำที่เติมลงไปน้ำ จะทำให้สามารถสร้างสมการในการแยกกลุ่มนมบริสุทธิ์และนมเจือปนน้ำออกจากกันได้



รูปที่ 6. แสดง 57 สเปกตรัม NIR ของตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์และโมเดลนมผสมน้ำ สแกนที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-2500 นาโนเมตร ด้วยเซลล์ใส่ตัวอย่างขนาด pathlength 0.2 มิลลิเมตร

คำนวณเพื่อสร้างสมการสำหรับจัดกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ และกลุ่มนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำ โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัม NIR ของตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มรวม 57 สเปกตรัม เป็นสเปกตรัมของ นมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ 8 สเปกตรัม และของนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำ 49 สเปกตรัม คำนวณ เปรียบเทียบการจัดกลุ่ม 2 วิธี คือ SIMCA และ DPLS พร้อมทั้ง เปรียบเทียบผลจากการใช้สเปกตรัมดิบ กับสเปกตรัมปรับแต่งด้วย วิธี Multiplicative Scattering Correction (MSC) และ อนุพันธ์อันดับที่สอง นอกจากนั้นยังเปรียบเทียบผลจากการเลือกใช้ช่วงความยาวคลื่นแสงในการคำนวณต่างกัน อีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5

จากตารางที่ 4 และ 5 สรุปได้ว่าผล การจัดกลุ่มตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และ นมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำด้วยวิธี DPLS ให้ผลดีกว่าวิธี SIMCA ในทุกกรณี เนื่องจากให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจัดแยกกลุ่มโดยการทดสอบด้วยตัวอย่างชุดเดิม (cross validation) ให้ผลเป็น 100% สำหรับสมการ DPLS ในการคำนวณจะ กำหนดให้กลุ่มนม พาสเจอร์ไรส์มีค่าตัวแปร Y เป็น 0 และกลุ่มนม พาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำมีค่า ตัวแปร Y เป็น 1 ใช้ค่าที่กำหนดมาคำนวณหาความสัมพันธ์ (correlation) กับข้อมูลสเปกตรัม NIR ของตัวอย่าง เพื่อสร้างสมการแบบ PLS การใช้สมการนี้เพื่อจัดกลุ่มตัวอย่าง Unknown มี

เกณฑ์การทำนาย ดังนี้ ผลการทำนายมีค่าอยู่ระหว่าง $-0.5 < 0 < 0.5$ จัดเป็นนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ และผลการทำนายที่ได้ค่าระหว่าง $0.5 < 1 < 1.5$ จัดเป็นนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำ

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำ ด้วยเทคนิค NIRS คำนวณด้วยวิธี SIMCA โดยใช้การปรับแต่งสเปกตรัมและช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ

Pretreatment	Wavelength (nm)							
	Whole region		1100-1850		2048-2500		1100-1850, 2048-2500	
	Model distance	%CP	Model distance	%CP	Model distance	%CP	Model distance	%CP
Original	639	88	349	84	1005	90	605	90
MSC	639	88	784	88	1005	90	605	90
MSC + 2 nd derivative	137	91	129	88	95	86	78	88

Model distance = ระยะห่างระหว่างกลุ่มตัวอย่าง

%CP = Correct Prediction; ความถูกต้องในการจัดกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำ ด้วยเทคนิค NIRS คำนวณด้วยวิธี DPLS โดยใช้การปรับแต่งสเปกตรัมและช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ

Pretreatment	Wavelength (nm)											
	Whole region			1100-1850			2048-2500			1100-1850, 2048-2500		
	PC	RMSEP (%v/v)	%CP	PC	RMSEP (%v/v)	%CP	PC	RMSEP (%v/v)	%CP	PC	RMSEP (%v/v)	%CP
Original	8	0.0664	100	8	0.0515	100	6	0.0815	100	9	0.0516	100
MSC	6	0.0782	100	8	0.0600	100	6	0.0880	100	9	0.0520	100
MSC + 2 nd derivative	7	0.0535	100	7	0.0636	100	5	0.0854	100	8	0.0489	100

PC = Principle Component; แฟกเตอร์ที่ใช้ในการจัดกลุ่ม

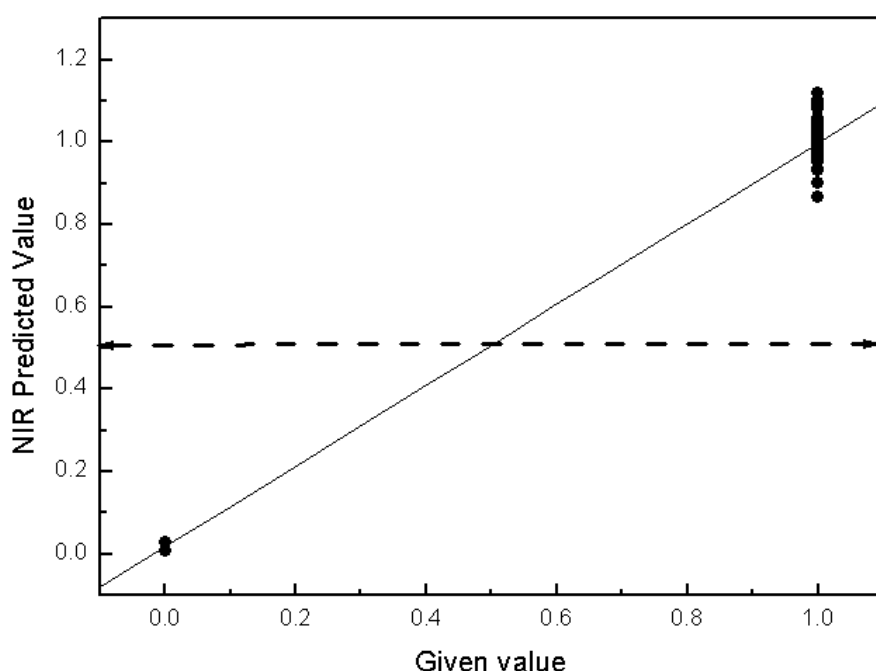
RMSEP = Root Mean Squares Error of Prediction; ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย

R = Correlation

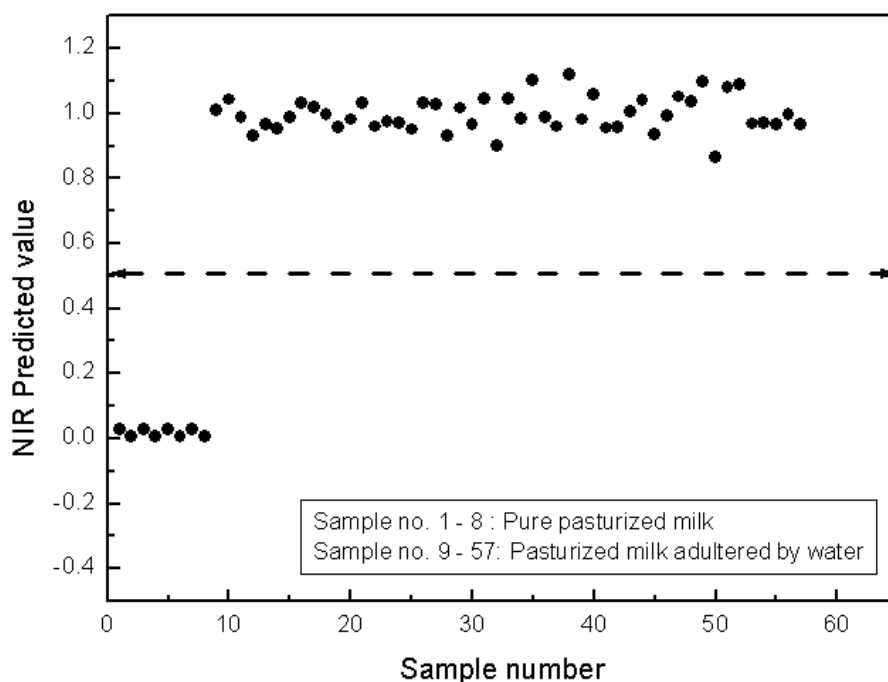
สมการการจัดกลุ่มด้วยวิธี DPLS ที่ดีที่สุดได้แก่ สมการที่ คำนวณโดยใช้สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC ร่วมกับวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-1850 ร่วมกับ 2048-2500 นาโนเมตร สมการนี้ให้ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำที่สุด RMSEP เป็น $\pm 0.0489\%$ หมายถึงการทำนาย

ตัวอย่างว่าจะจัดเป็นนมหรือนมเจือปนน้ำมีระยะห่างเฉลี่ยจากค่า 0 สำหรับนม และ 1 สำหรับนมเจือปนน้ำไม่เกิน $\pm 0.0489\%$ (ตารางที่ 5)

เมื่อพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำหนดกลุ่ม (0 = นมบริสุทธิ์, 1 = นมเจือปน) และค่าที่ทำนายจากสมการ DPLS ที่ดีที่สุดจะได้ดังรูปที่ 7 แกน X แสดงค่าที่กำหนดกลุ่มและ แกน Y แสดงผลการจัดกลุ่มด้วยสมการ DPLS โดยมีเส้นประแบ่งขอบเขตกลุ่มออกจากค่า 0.5 ของแกน Y ส่วนรูป 8 แสดงผลการทดสอบการจัดกลุ่มโดยให้สมการ DPLS ที่ดีที่สุดจัดกลุ่มตัวอย่างนม 57 ตัวอย่างเดิมที่ใช้สร้างสมการวิธีการทดสอบแบบนี้เรียกว่า Cross validation การใช้กลุ่มตัวอย่างเดียวเพื่อสร้างสมการและทดสอบสมการเนื่องจากมีจำนวนตัวอย่างน้อยไม่เพียงพอจะแยกเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจนเนื่องจากเป็นขั้นตอนการศึกษาเบื้องต้น ผู้วิจัยจะเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการวิจัยต่อไป



รูปที่ 7. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำหนดในการคำนวณ DPLS (แกน X) และผลการทำนายของสมการ DPLS ใช้สเปกตรัมปรับแต่งด้วย MSC ร่วมกับอนุพันธ์อันดับที่สอง ช่วงความยาวคลื่น 1100-1850, 2048-2500 นาโนเมตร (แกน Y) สำหรับจัดกลุ่มนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ ($-0.5 < 0 < 0.5$) และนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำ ($0.5 < 1 < 1.5$)



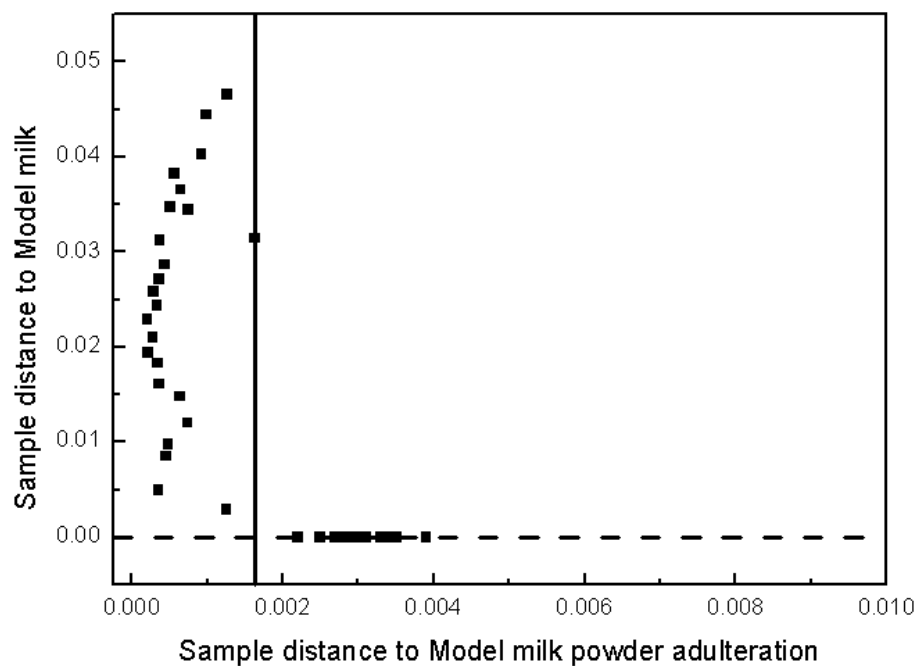
รูปที่ 8. แสดงผลการทดสอบสมการแยกกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ (กลุ่มล่างเส้นประ) และกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำ (กลุ่มบนเส้นประ) แกน X หมายถึงเลขตัวอย่าง แกน Y แสดงผลการจัดกลุ่มด้วยวิธี NIR จากสมการ DPLS

นมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่งสำหรับเด็ก

สำหรับการจัดกลุ่มตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ และนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่งนั้น ทั้งวิธี SIMCA และ DPLS สามารถแยกกลุ่มตัวอย่างทั้งสองได้ สำหรับวิธี SIMCA ความสามารถในการแยกกลุ่มนมและนมเจือปนนมผง ให้ความถูกต้องอย่างต่ำที่สุด 60 % และสูงที่สุดที่ 100 % โดยสมการที่สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งด้วยวิธี MSC ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร ให้ความถูกต้อง 100 % และมีระยะห่างระหว่างกลุ่มนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ และนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่งมากที่สุดถึง 1557 (ตารางที่ 6) เมื่อทดสอบสมการการจัดกลุ่มโดยให้จัดกลุ่มตัวอย่างชุดเดิมที่ใช้สร้างสมการ จะให้ผลการจัดกลุ่มดังรูปที่ 9 เส้นประที่ตำแหน่ง 0 (แนวนอน) เป็นเส้น แบ่งเขตของตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ และเส้นทึบที่ตำแหน่ง 0.018 (แนวตั้ง) แสดงขอบเขตของตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์ผสมนมผงปรุงแต่ง

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่งด้วยเทคนิค NIRS วิธี SIMCA ที่ใช้การปรับแต่งสเปกตรัม และช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ

Pretreatment	Wavelength (nm)							
	Whole region		1100-1850		2048-2500		1100-1850, 2048-2500	
	Model distance	%CP	Model distance	%CP	Model distance	%CP	Model distance	%CP
Original	3707	97.5	1231	97.5	8730	97.5	2483	97.5
MSC	861	97.5	756	97.5	489	100	1557	100
MSC + 2 nd derivative	339	100	280	100	597	60	552	77.5

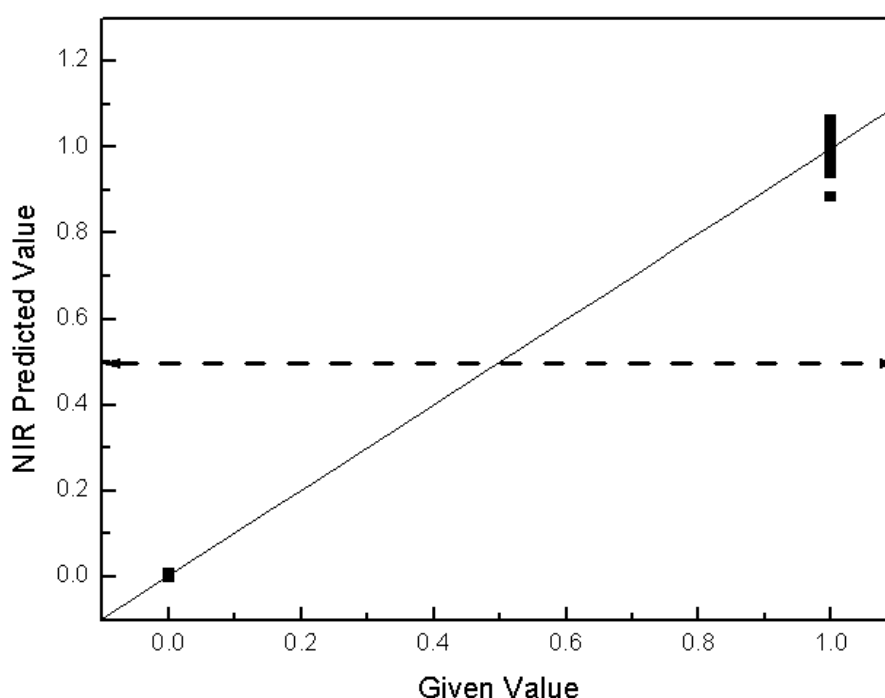


รูปที่ 9. แสดงผลการทดสอบสมการ SIMCA ที่สร้างจากสเปกตรัม MSC ความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร เพื่อจัดกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์ (อยู่ในเส้นประแนวนอน) และกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่ง (อยู่ในเส้นทึบแนวตั้ง)

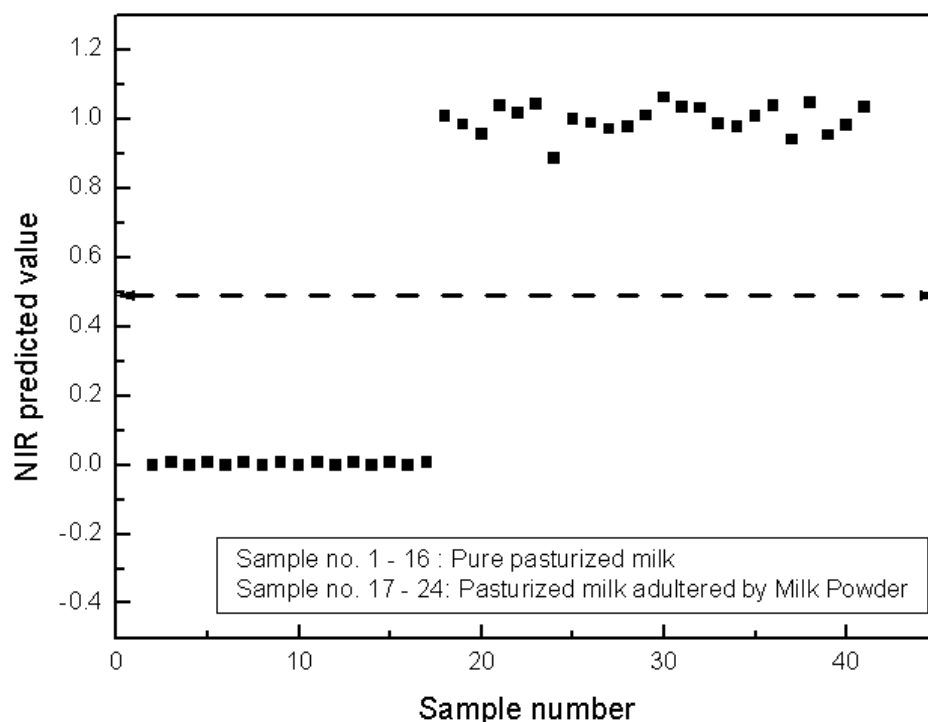
สมการ DPLS ที่แยกกลุ่มนมได้ดีที่สุดแสดง พล็อตความสัมพันธ์ ในรูปที่ 10 และแสดงผลการจัดกลุ่มในรูปที่ 11 เป็นสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR ที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC และอนุพันธ์อันดับที่สอง ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 2048-2500 นาโนเมตร ใช้แฟกเตอร์ 6 ให้ค่า RMSEP ต่ำสุด 0.0310 %g/v และ %CP เป็น 100 ผลทางสถิติแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่งด้วยเทคนิค NIRS วิธี DPLS ที่ใช้การปรับแต่งสเปกตรัม และช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ

Pretreatment	Wavelength (nm)											
	Whole region			1100-1850			2048-2500			1100-1850, 2048-2500		
	PC	RMSEP (%g/v)	%CP	PC	RMSEP (%g/v)	%CP	PC	RMSEP (%g/v)	%CP	PC	RMSEP (%g/v)	%CP
Original	7	0.0506	100	9	0.0246	100	6	0.0393	100	7	0.0414	100
MSC	6	0.0466	100	8	0.0306	100	6	0.0456	100	7	0.0432	100
MSC + 2 nd derivative	5	0.0646	100	5	0.0869	100	6	0.0310	100	5	0.0522	100



รูปที่ 10. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำหนดในการคำนวณ DPLS (แกน X) และผลการทำนายของสมการ DPLS ใช้สเปกตรัมปรับแต่งด้วย MSC ร่วมกับอนุพันธ์อันดับที่สอง ช่วงความยาวคลื่น 2048-2500 นาโนเมตร (แกน Y) สำหรับจัดกลุ่มนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ ($-0.5 < 0 < 0.5$) และนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่ง ($0.5 < 1 < 1.5$)



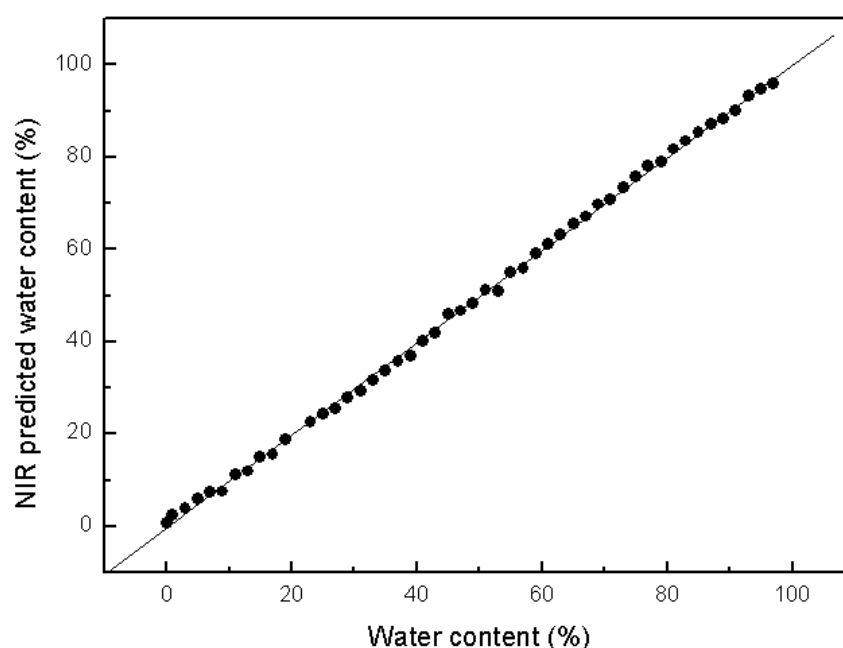
รูปที่ 11. แสดงผลการทดสอบสมการแยกกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ (กลุ่มล่างเส้นประ) และกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่ง (กลุ่มบนเส้นประ) แกน X หมายเลขตัวอย่าง แกน Y แสดงผลการจัดกลุ่มด้วยวิธี NIR จากสมการ DPLS

การวิเคราะห์ปริมาณสิ่งเจือปนในนมพาสเจอร์ไรส์

ในการหาปริมาณน้ำที่เจือปนในนม พาสเจอร์ไรส์คำนวณได้จาก สมการ PLS ที่สร้างขึ้นจากการคำนวณระหว่างค่าปริมาณน้ำที่ใส่ในตัวอย่างและค่าการดูดกลืนแสง NIR ของตัวอย่าง ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการที่ใช้ทำนายปริมาณน้ำที่เจือปนในนม พาสเจอร์ไรส์ พบว่าสมการที่สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งด้วย MSC ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-2500 นาโนเมตร (รูปที่ 12) ให้ผลการทำนายแม่นยำที่สุด สมการสร้าง ด้วย 4 แฟกเตอร์ ค่า RMSEP ต่ำที่สุดคือ 2.159 %V/V และให้ค่า correlation สูง ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลทางสถิติของสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณน้ำที่เจือปนในนมพาสเจอร์ไรส์ โดยเปรียบเทียบสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR ไม่ปรับแต่งและปรับแต่งวิธีต่างๆ และการใช้ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน

Pretreatment	Wavelength (nm)											
	Whole region			1100-1850			2048-2500			1100-1850, 2048-2500		
	PC	R	RMSEP (%v/v)	PC	R	RMSEP (%v/v)	PC	R	RMSEP (%v/v)	PC	R	RMSEP (%v/v)
Original	3	0.997	2.311	3	0.992	3.702	4	0.997	2.263	3	0.997	2.227
MSC	4	0.997	2.159	3	0.997	2.377	4	0.997	2.173	3	0.997	2.219
MSC + 2 nd derivative	3	0.996	2.468	4	0.997	2.195	1	0.996	2.358	2	0.997	2.242



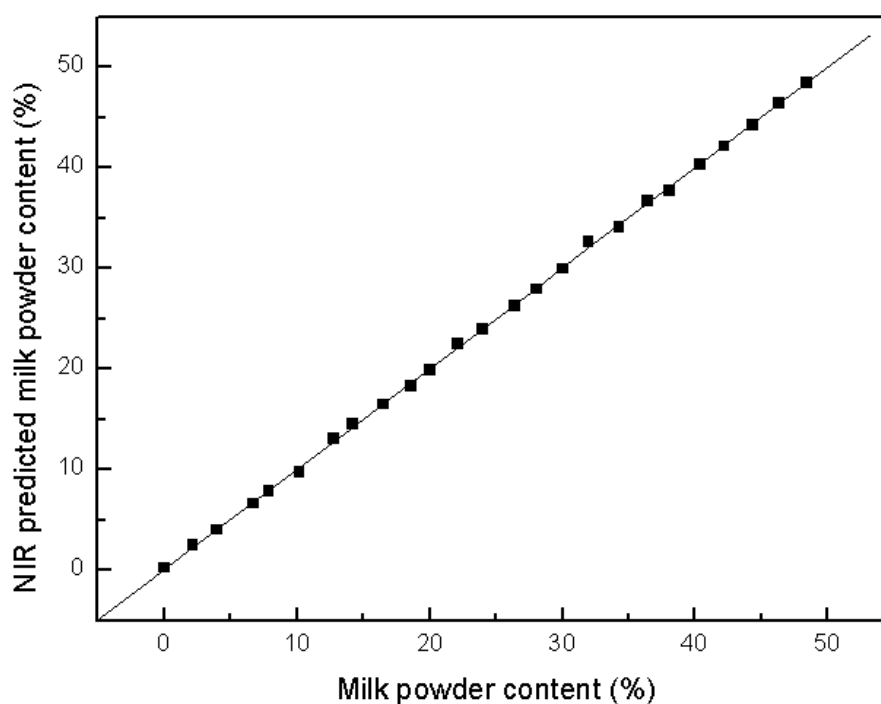
รูปที่ 12. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่เจือปนในนมพาสเจอร์ไรส์จริง (แกน X) และปริมาณน้ำที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)

ในการหาปริมาณนมผงที่เจือปนในนมสามารถทำได้โดยการสร้างสมการ PLS ที่คำนวณจากน้ำหนักนมผงที่ใส่ในตัวอย่างและค่าการดูดกลืนแสง NIR ของตัวอย่าง ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการที่ใช้ทำนายปริมาณนมผงที่เจือปนในนม พบว่าสมการที่สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งด้วย MSC ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร (รูปที่ 13) ให้ผลการทำนายแม่นยำ

ที่สุด สมการสร้างจาก 4 แฟกเตอร์ ค่า RMSEP ต่ำที่สุดคือ 0.244 %g/v และให้ค่า correlation สูง ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลทางสถิติของสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณนมผงที่เจือปนในนมพาสเจอร์ไรส์ โดยเปรียบเทียบสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR ไม่ปรับแต่งและปรับแต่งวิธีต่างๆ และการใช้ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน

Pretreatment	Wavelength (nm)											
	Whole region			1100-1850			2048-2500			1100-1850, 2048-2500		
	PC	R	RMSEP (%g/v)	PC	R	RMSEP (%g/v)	PC	R	RMSEP (%g/v)	PC	R	RMSEP (%g/v)
Original	4	0.999	0.264	2	0.999	0.710	5	0.999	0.490	3	0.999	0.348
MSC	4	0.999	0.251	5	0.999	0.457	5	0.999	0.310	4	0.999	0.244
MSC + 2 nd derivative	7	0.999	0.371	5	0.999	0.334	3	0.998	0.802	3	0.999	0.474



รูปที่ 13. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณนมผงปรุงแต่งที่เจือปนในนมพาสเจอร์ไรส์จริง (แกน X) และปริมาณนมผงปรุงแต่งที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร (แกน Y)

จากการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเป็นไปได้ในการจัดกลุ่มตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนด้วยน้ำและนมผงปรุงแต่งด้วยเทคนิค NIRS นั้น พบว่าเทคนิค NIRS สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำได้ดีที่สุด เมื่อใช้วิธี DPLS คำนวณจากข้อมูลสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วย MSC และอนุพันธ์อันดับที่สอง ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-1850 ถึง 2048-2500 นาโนเมตร และยังสามารถสร้างสมการ PLS เพื่อทำนายปริมาณน้ำที่เจือปนในนมได้ โดยสมการ คำนวณจากสเปกตรัมปรับแต่งด้วยวิธี MSC ในช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ให้ค่าความผิดพลาดในการทำนายต่ำที่สุด สำหรับการจำแนกตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนนมผงปรุงแต่ง พบว่าสามารถใช้ได้ ทั้งสองวิธีคือ 1) วิธี SIMCA สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่ง MSC ที่ช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 ถึง 2048-2500 นาโนเมตรและ 2) วิธี DPLS สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่ง MSC และอนุพันธ์อันดับที่สองความยาวคลื่นตั้งแต่ 2048-2500 นาโนเมตร วิธีจัดกลุ่มทั้ง 2 วิธีสามารถจำแนกกลุ่มตัวอย่างนมเจือปนนมผงได้ดี อาจจะเนื่องมาจากการเจือปนด้วยนมผงทำให้องค์ประกอบในน้ำนมเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดมากกว่าการเจือปนด้วยน้ำ ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อหาปริมาณนมผงที่เจือปนไปในนมด้วยสมการ PLS ได้สมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการคำนวณโดยใช้สเปกตรัม NIRS ปรับแต่งวิธี MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร

1.2 ทำการศึกษาเพื่อตรวจคัดแยกนมวัวดิบที่มีสิ่งเจือปน ได้แก่ น้ำและหางนม ออกจากนมบริสุทธิ์ ด้วยเทคนิค NIRS

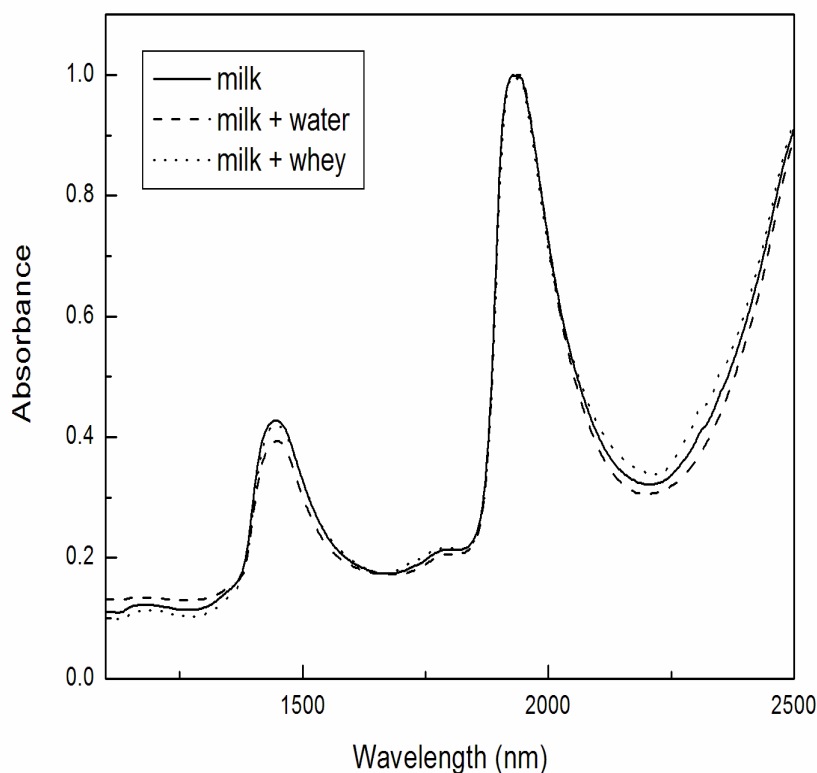
การจัดกลุ่มตัวอย่างนมวัวดิบบริสุทธิ์และนมวัวดิบเจือปน

เตรียมตัวอย่างนมวัวดิบเจือปน รวม 90 ตัวอย่างได้แก่นมดิบเจือปนน้ำ 50 ตัวอย่าง และนมดิบเจือปนหางนม 40 ตัวอย่าง โดยมีสัดส่วนการเจือปนแสดงในตารางที่

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณการเจือปนในตัวอย่างนมดิบ 90 ตัวอย่าง

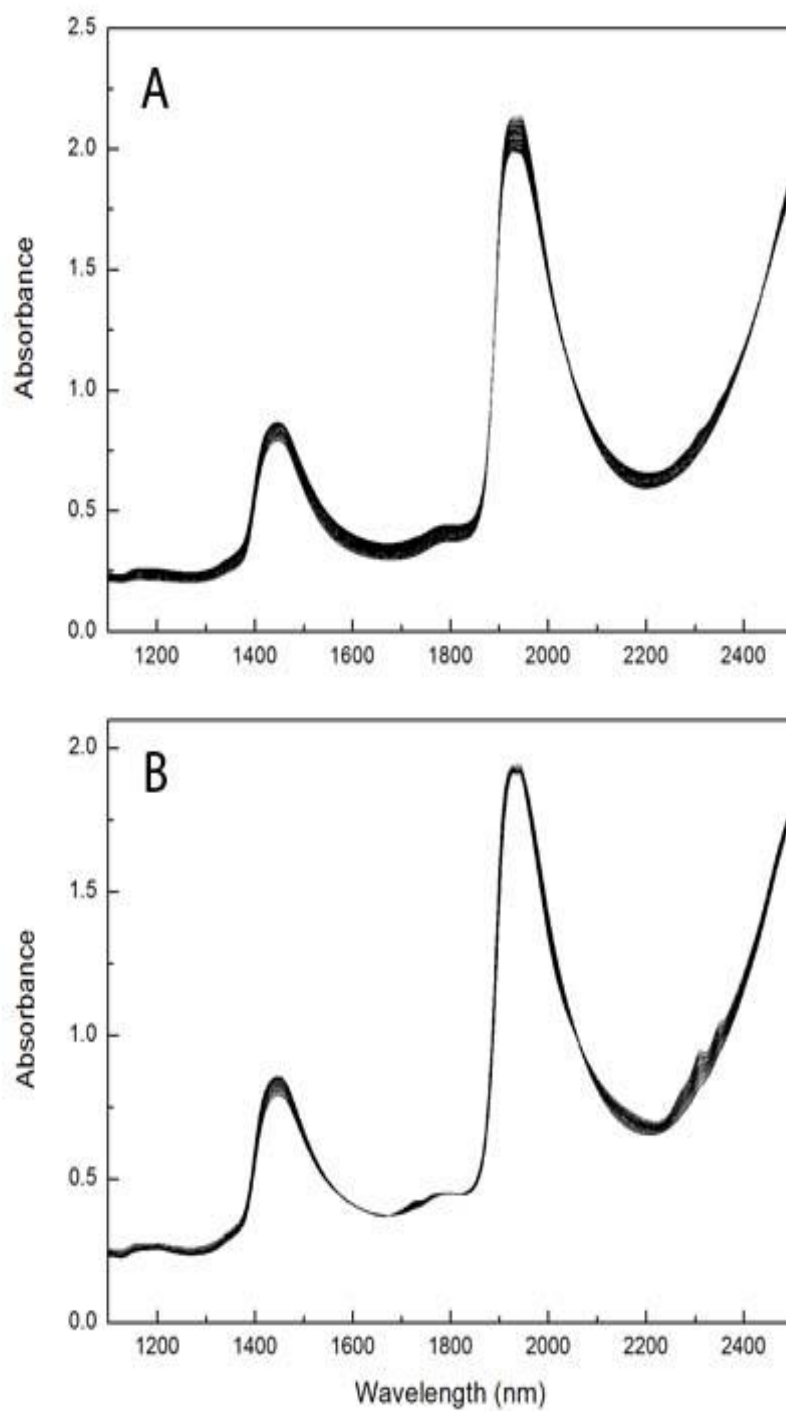
Adulterant	Min	Max	Mean
Water (%v/v)	1.00	97.00	49.00
Whey (%g/v)	2.15	48.40	25.25

เมื่อนำตัวอย่างนมทั้ง 3 กลุ่มมาสแกนเก็บสเปกตรัม NIR ในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบลักษณะสเปกตรัมดังแสดงในรูปที่ 14 ตำแหน่งพีค OH ของน้ำปรากฏชัดเจนที่พีค ~1450 และ 1900 นาโนเมตร



รูปที่ 14. แสดงสเปกตรัมเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตรของตัวอย่างนม 3 กลุ่ม ได้แก่ นมดิบบริสุทธิ์ (เส้นทึบ) นมดิบเจือปนน้ำ (เส้นประ) และนมดิบเจือปนหางนม (เส้นจุด)

เมื่อเติมน้ำลงในนมดิบจะเห็นการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสง NIRS ที่ตำแหน่งพีคประมาณ 1450 และ 1900 นาโนเมตรชัดเจน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้คือเมื่อเติมน้ำมากขึ้น การดูดกลืนแสงที่พีคตำแหน่งดังกล่าวจะมากตาม (รูป 15A) ในขณะที่การเติมหางนมลงในนมดิบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสง NIRS ในช่วง 2300 – 2400 นาโนเมตร ช่วงความยาวคลื่นนี้เป็นช่วงที่ปรากฏพีคของโมเลกุลโปรตีนและแลคโตส การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้คล้ายกับกรณีการเติมน้ำนั่นคือพีคในช่วง 2300 – 2400 นาโนเมตร จะสูงขึ้นเมื่อเติมหางนมลงในน้ำนมดิบมากขึ้นตามลำดับ (รูป 15B)



รูปที่ 15. แสดงสเปกตรัม NIRS ของตัวอย่างนมดิบที่ถูกเจือปนในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร ได้แก่ นมดิบเจือปนน้ำ (A) และนมดิบเจือปนหางนม (B)

ในการศึกษานี้จะแยกกลุ่มนมวัวดิบบริสุทธิ์ นมวัวดิบเจือปนน้ำ และนมวัวดิบเจือปนหางนมด้วยเทคนิค NIRS โดยเปรียบเทียบวิธีคำนวณ 2 วิธี คือ SIMCA และ DPLS เพื่อจัดกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่มในสมการเดียว สำหรับวิธี DPLS ทำการกำหนดให้นมดิบเจือปนหางนมมีค่า $Y = -1.0$ นมดิบบริสุทธิ์ $Y = 0.0$ และนมดิบเจือปนน้ำ $Y = 1.0$ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกกลุ่มของทั้ง 2 วิธี แสดงในตารางที่ 11 และ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนม วัวดิบบริสุทธิ์ นมวัวดิบ เจือปนน้ำ และนมวัวดิบเจือปนหางนม ด้วยเทคนิค NIRS วิธี SIMCA ที่ใช้การปรับแต่งสเปกตรัม และช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ

Pretreatment	Wavelength (nm)							
	Whole region		1100-1850		2048-2500		1100-1850, 2048-2500	
	Model distance	%CP	Model distance	%CP	Model distance	%CP	Model distance	%CP
Original	622/3552	97.96	336/1231	73.47	595/8743	84.69	980/8743	82.65
MSC	318/859	97.96	297/1773	83.67	240/506	85.71	450/1648	84.69
MSC + 2 nd derivative	133/347	100.00	122/278	83.67	91/599	75.51	96/550	84.69

Model distance: A/B; A = ระยะห่างระหว่างกลุ่มนมดิบบริสุทธิ์และกลุ่มนมดิบเจือปนน้ำ B = ระยะห่างระหว่างกลุ่มนมดิบบริสุทธิ์และกลุ่มนมดิบเจือปนหางนม

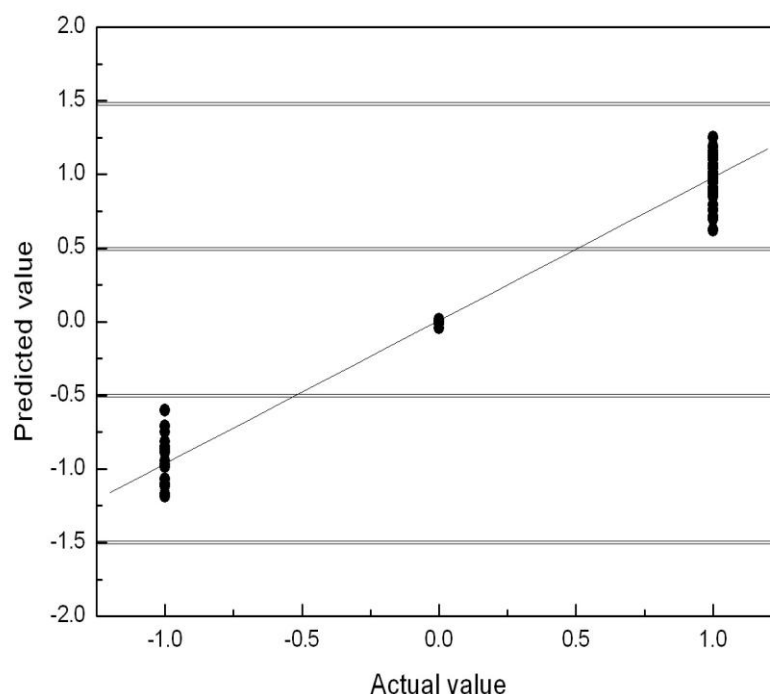
ตารางที่ 12 เปรียบเทียบผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนม วัวดิบบริสุทธิ์ นมวัวดิบ เจือปนน้ำ และนมวัวดิบเจือปนหางนม ด้วยเทคนิค NIRS วิธี DPLS ที่ใช้การปรับแต่งสเปกตรัม และช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ

Pretreatment	Wavelength (nm)							
	Whole region		1100-1850		2048-2500		1100-1850, 2048-2500	
	PC	%CP	PC	%CP	PC	%CP	PC	%CP
Original	9	97.96	8	98.98	8	100.00	8	97.96
MSC	7	97.96	7	98.98	5	93.88	5	88.78
MSC + 2 nd derivative	7	100.00	6	98.98	5	97.96	5	98.98

%CP = เปอร์เซนต์ความถูกต้องในการจัดกลุ่มนมของสมการ

ผลการเปรียบเทียบการแยกกลุ่มนมวิธี SIMCA และ DPLS พบว่า วิธี DPLS ให้ผลการแยกกลุ่มนมดีกว่าวิธี SIMCA ค่า %CP ที่ได้จากการสมการ DPLS สูงกว่า 97.00% ขณะที่วิธี SIMCA มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่จำแนกได้ถูกต้อง %CP เพียง 86.73% เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องจากสมการ SIMCA ไม่สามารถแยกตัวอย่างนมดิบที่เจือปนน้ำต่ำกว่า 11% v/v ได้

สมการ DPLS ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจัดกลุ่มนม คำนวณจากสเปกตรัม NIRS ที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC และ 2nd derivative ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ใช้แฟกเตอร์ 7 สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างนมได้ถูกต้อง 100% ดังรูปที่ 16 ประสิทธิภาพในการจัดกลุ่มนั้นน่าจะมาจากเทคนิค NIRS และการปรับแต่งสเปกตรัมวิธี MSC ช่วยลดปัญหาการกระเจิงแสงของตัวอย่างนม และวิธี 2nd derivative ช่วยขยายให้เห็นความแตกต่างของแต่ละสเปกตรัมโดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นที่หมูปังก์ชันองค์ประกอบทางเคมีของสิ่งเจือปน คือ น้ำและหางนม



รูปที่ 16. แสดงการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำหนด -1.0 = กลุ่มนมดิบเจือปนหางนม 0.0 = กลุ่มนมดิบบริสุทธิ์และ 1.0 = กลุ่มนมดิบเจือปนน้ำ (แกน X) และผลการจัดกลุ่มตัวอย่างด้วยสมการ DPLS ตัวอย่างตกในช่วง $-0.5 > Y > -1.5$ จัดเป็นนมดิบเจือปนหางนม ช่วง $0.5 > Y > -0.5$ จัดเป็นนมดิบบริสุทธิ์ และช่วง $1.5 > Y > 0.5$ จัดเป็นนมดิบเจือปนน้ำ (แกน Y)

การวิเคราะห์ปริมาณสิ่งเจือปนในนมดิบ

นอกจากจะใช้เทคนิค NIRS เพื่อจำแนกตัวอย่างนมบริสุทธิ์และนมที่มีการเจือปนได้แล้ว จากผลการศึกษาเพื่อหาปริมาณสิ่งเจือปนในนมดิบด้วยเทคนิค NIRS พบว่าสามารถทำนายปริมาณสิ่งเจือปนได้ง่ายและรวดเร็ว โดยนำข้อมูลสเปกตรัม NIRS และปริมาณสิ่งเจือปนมาคำนวณสร้างสมการ PLS สมการ

PLS สำหรับทำนายปริมาณน้ำที่นำมาเจือปนในนมดิบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด สร้างจากข้อมูลสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งด้วยวิธี MSC ในช่วง 1100-2500 นาโนเมตรหรือ whole region นั้นเอง สมการใช้จำนวน PC เป็น 4 และให้ความผิดพลาดต่ำสุดที่ RMSEP 2.159 %v/v (ตารางที่ 13)

สมการสำหรับทำนายปริมาณหางนมที่เจือปนในนมดิบแสดงในตารางที่ 14 เมื่อดูค่า R นั้นเกือบเท่ากับ 1 ในทุกสมการ โดยสมการที่มีประสิทธิภาพดีคำนวณได้จากข้อมูลสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งด้วยวิธี MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร เป็นสมการที่ให้ความผิดพลาดต่ำสุดที่ RMSEP 0.244 %g/v

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบผลทางสถิติของสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณน้ำที่เจือปนในนมดิบ โดยเปรียบเทียบสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR ไม่ปรับแต่งและปรับแต่งวิธีต่างๆ และการใช้ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน

Pretreatment	Wavelength (nm)											
	Whole region			1100-1850			2048-2500			1100-1850, 2048-2500		
	PC	R	RMSEP (%v/v)	PC	R	RMSEP (%v/v)	PC	R	RMSEP (%v/v)	PC	R	RMSEP (%v/v)
Original	3	0.997	2.311	3	0.992	3.702	4	0.997	2.263	3	0.997	2.227
MSC	4	0.997	2.159	3	0.997	2.377	4	0.997	2.173	3	0.997	2.219
MSC + 2 nd derivative	3	0.996	2.468	4	0.997	2.195	1	0.996	2.358	3	0.997	2.242

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบผลทางสถิติของสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณหางนมที่เจือปนในนมดิบ โดยเปรียบเทียบสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR ไม่ปรับแต่งและปรับแต่งวิธีต่างๆ และการใช้ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน

Pretreatment	Wavelength (nm)											
	Whole region			1100-1850			2048-2500			1100-1850, 2048-2500		
	PC	R	RMSEP (%g/v)	PC	R	RMSEP (%g/v)	PC	R	RMSEP (%g/v)	PC	R	RMSEP (%g/v)
Original	4	0.999	0.264	2	0.999	0.701	5	0.999	0.490	3	0.999	0.348
MSC	4	0.999	0.251	5	0.999	0.457	5	0.999	0.310	4	0.999	0.244
MSC + 2 nd derivative	7	0.999	0.371	5	0.999	0.334	3	0.998	0.802	3	0.999	0.474

ผลการทดลองที่ใช้น้ำและหางนมเจือปนลงในนมวัวดิบ แล้วใช้เทคนิค NIRS ร่วมกับวิธีทางสถิติ เพื่อจำแนกนมบริสุทธิ์ออกจากนมที่ถูกเจือปนนั้น แสดงให้เห็นแนวโน้มที่ดีและมีความเป็นไปได้สูงในการใช้เทคนิค NIRS ตรวจสอบการเจือปน โดยเฉพาะการคำนวณด้วยวิธี DPLS จะจำแนกกลุ่มนมได้ถูกต้องมากที่สุด ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามการใช้หางนมปนลงในนมดิบนั้นเมื่อนำตัวอย่างเหล่านี้มาตรวจวิเคราะห์หาองค์ประกอบน้ำนม จะพบว่ามีองค์ประกอบที่วิเคราะห์ได้จะมีสัดส่วนที่ไม่ได้มาตรฐานตามการรับซื้อนมดิบ เนื่องจากหางนมเป็นส่วนหนึ่งของนมที่ผ่านกระบวนการนำเอาไขมันออกไป ในขณะที่องค์ประกอบอื่นยังมีอยู่ ได้แก่ โปรตีน เมื่อนำมาเจือปนจะได้ให้น้ำนมที่มีองค์ประกอบผิดปกติ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการเตรียมน้ำนมเจือปนที่มีลักษณะเลียนแบบนมดิบมากที่สุด ทั้งลักษณะที่มองเห็นและสัดส่วนองค์ประกอบน้ำนมที่สำคัญก็ต้องอยู่ในมาตรฐานปกติของน้ำนมดิบเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำนมผงที่เรียกว่า whole milk powder มาเจือปนแทนหางนมในการศึกษาช่วงต่อมา เนื่องจากนมผงชนิดนี้จะมีปริมาณไขมันสูง เมื่อนำมาละลายน้ำจะมีลักษณะเหมือนน้ำนมวัวดิบทั้งลักษณะปรากฏและองค์ประกอบทางโภชนาการ เพียงแต่ขาดองค์ประกอบสำคัญได้แก่ วิตามิน แร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย จะมีอยู่ในนมวัวดิบที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำนมผงนั่นเอง

1.3 ทำการศึกษาเพื่อตรวจคัดแยกนมวัวดิบที่มีสิ่งเจือปน ได้แก่ น้ำและนมผง ออกจากนมบริสุทธิ์ ด้วยเทคนิค NIRS

การจัดกลุ่มตัวอย่างนมวัวดิบบริสุทธิ์และนมวัวดิบที่มีสิ่งเจือปน

การจำแนกนม 3 กลุ่ม คือ 1) นมดิบธรรมชาติ 95 ตัวอย่าง 2) นมดิบเจือปนน้ำ ระดับการเจือปน 4 – 50% v/v รวม 165 ตัวอย่าง และ 3) นมดิบเจือปนนมผง (whole milk powder) ตัวอย่างนมกลุ่มนี้เมื่อเจือปนด้วยน้ำนมผงยังคงมีปริมาณคุณค่าทางอาหารเหมือนกับนมดิบธรรมชาติทั่วไป ระดับการเจือปน 20 – 100% v/v รวม 220 ตัวอย่าง

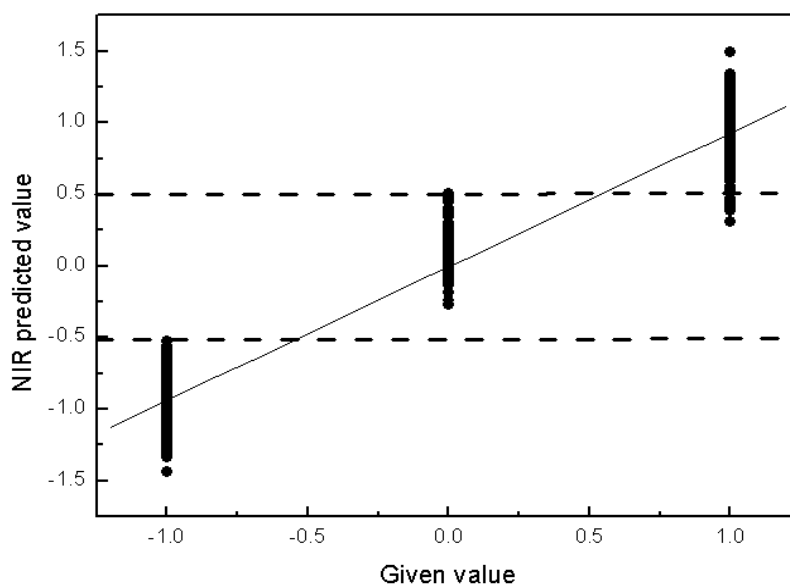
คำนวณสร้างสมการจำแนกกลุ่มนมบริสุทธิ์ นมที่เจือปนด้วยน้ำ และนมเจือปนนมผง โดยนำข้อมูลสเปกตรัม NIR ของตัวอย่างนม มาคำนวณด้วยวิธี DPLS ซึ่งได้พิสูจน์ในขั้นตอนการวิจัยข้อ 1.1 และ 1.2 แล้วว่า วิธี DPLS เหมาะสมในการคัดแยกกลุ่มนมเจือปนออกจากนมบริสุทธิ์มากที่สุด ดูจากผลการจำแนกกลุ่มนมมีประสิทธิภาพสูงถึง 100% โดยกำหนดให้กลุ่มนมดิบธรรมชาติมีค่าเป็น 0 กลุ่มนมเจือปนน้ำมีค่าเป็น 1 และกลุ่มนมเจือปนนมผงมีค่าเป็น -1 ตามลำดับ นำ ค่าที่กำหนดและค่าสเปกตรัม NIRS ของตัวอย่างมาคำนวณสร้างสมการตามหลัก PLS โดยมีเกณฑ์การทำนายกลุ่มตัวอย่าง คือผลการทำนายมีค่าอยู่ระหว่าง $-0.5 < 0 < 0.5$ จัดเป็นนมดิบธรรมชาติ ผลการทำนายมีค่าระหว่าง $0.5 < 1 < 1.5$ จัดเป็นกลุ่มนมเจือปนน้ำ และผลการทำนายมีค่าระหว่าง $-1.5 < -1 < -0.5$ จัดเป็นกลุ่มนมเจือปนนมผง

สมการการจัดกลุ่มด้วยวิธี DPLS ที่ดีที่สุดได้แก่ สมการที่คำนวณโดยใช้สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC ในช่วงความยาวคลื่นทั้งช่วงตั้งแต่ 1100-2500 นาโนเมตร ผลทางสถิติของสมการ DPLS นี้ให้ค่า correlation สูงถึง 0.9667 และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเป็น 0.2275 โดยใช้จำนวนแฟกเตอร์เป็น 9 ดังรูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำหนดและการใช้สมการ DPLS นี้ จากสมการการแยกกลุ่มนมดิบและนมเจือปนนมผงมีการแยกดี โดยมีตัวอย่างนมผง 100 % ที่มีลักษณะเหมือนนมดิบมากจึงตกทับเส้นที่แบ่งกลุ่มนมบริสุทธิ์และนมเจือปนนมผง สำหรับกลุ่มนมเจือปนน้ำค่อนข้างยากกว่าในการแยก

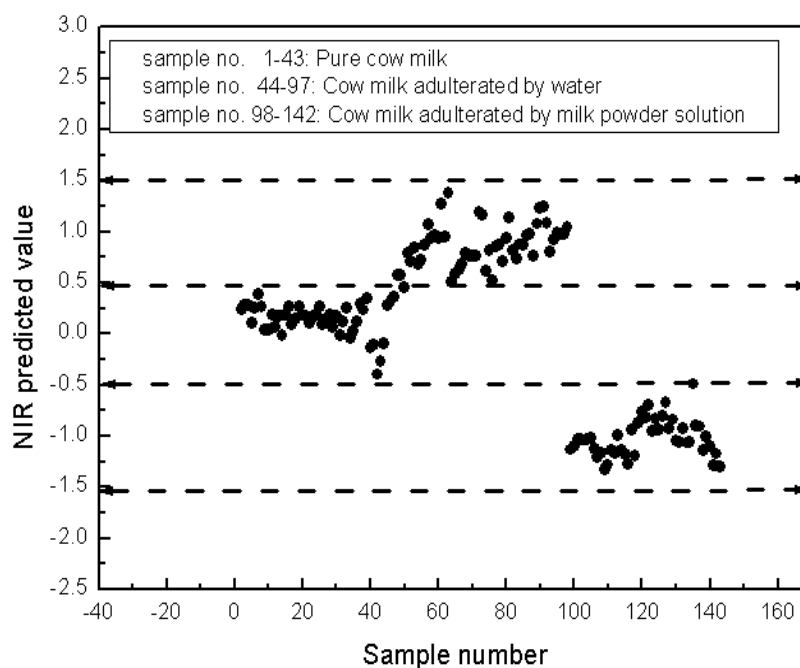
ออกจากกลุ่มนมดิบบริสุทธิ์โดยเฉพาะนมที่เจือปนน้ำเพียงเล็กน้อยในช่วง 4- 9% v/v จะแยกออกจากกลุ่มนมบริสุทธิ์ได้ยาก ผลทางสถิติในการทดสอบสมการ DPLS นี้ โดยนำไปใช้ตรวจสอบตัวอย่างนม ชุดทดสอบจำนวน 142 ตัวอย่าง ผลสถิติให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนต่ำสุด 0.2323 และความถูกต้องในการจัดกลุ่มตัวอย่างสูงสุดถึง 97% อีก 3 % ที่ตรวจสอบผิดพลาดเป็นตัวอย่างนมเจือปนน้ำในปริมาณต่ำ (รูปที่ 18)

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบผลการทดสอบสมการ DPLS ในการใช้เทคนิค NIRS แยกกลุ่มตัวอย่างนมวัวดิบบริสุทธิ์ นมวัวดิบเจือปนน้ำ และนมวัวดิบเจือปนนมผงในชุดทดสอบ โดยการใช้การปรับแต่งสเปกตรัมและช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ

Pretreatment	Wavelength (nm)											
	Whole region			1100-1850			2048-2500			1100-1850, 2048-2500		
	PC	%CP	RMSEP (%v/v)	PC	%CP	RMSEP (%v/v)	PC	%CP	RMSEP (%v/v)	PC	%CP	RMSEP (%v/v)
Original	8	94	0.2495	9	90	0.2934	3	90	0.3008	6	94	0.2664
MSC	9	97	0.2323	10	96	0.2577	5	92	0.2529	7	94	0.2478
MSC + 2 nd derivative	9	95	0.2604	10	87	0.3005	4	89	0.3042	5	91	0.2942



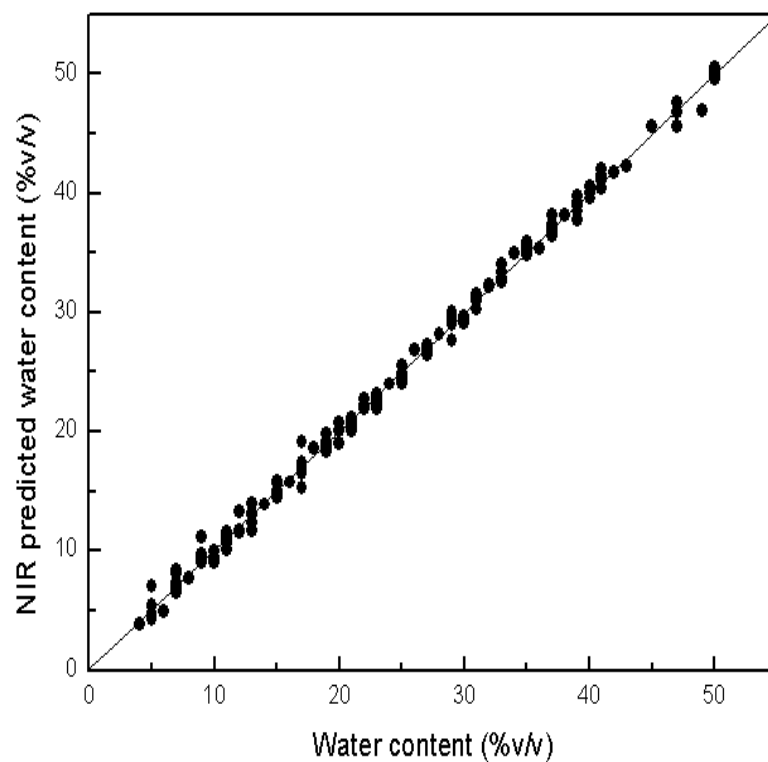
รูปที่ 17. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำหนดในการคำนวณ DPLS (แกน X) และผลการทำนายของสมการ DPLS ใช้สเปกตรัม NIRS ปรับแต่งด้วย MSC ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y) จัดกลุ่มนมดิบธรรมชาติ ($-0.5 < 0 < 0.5$) นมเจือปนน้ำ ($0.5 < 1 < 1.5$) และนมเจือปนนมผง ($-1.5 < -1 < -0.5$)



รูปที่ 18. พล็อตระหว่างผลการแยกกลุ่มตัวอย่างนมชุดทดสอบด้วยเทคนิค NIRS ใช้สมการ DPLS ที่แยกกลุ่มถูกต้องมากที่สุด 97% (แกน Y) และหมายเลขตัวอย่าง (แกน X) โดยนมชุดทดสอบแบ่งเป็นนมบริสุทธิ์ (ตัวอย่างที่ 1-43) นมเจือปนน้ำ (ตัวอย่างที่ 44-97) และนมเจือปนน้ำนมผง (ตัวอย่างที่ 98-142)

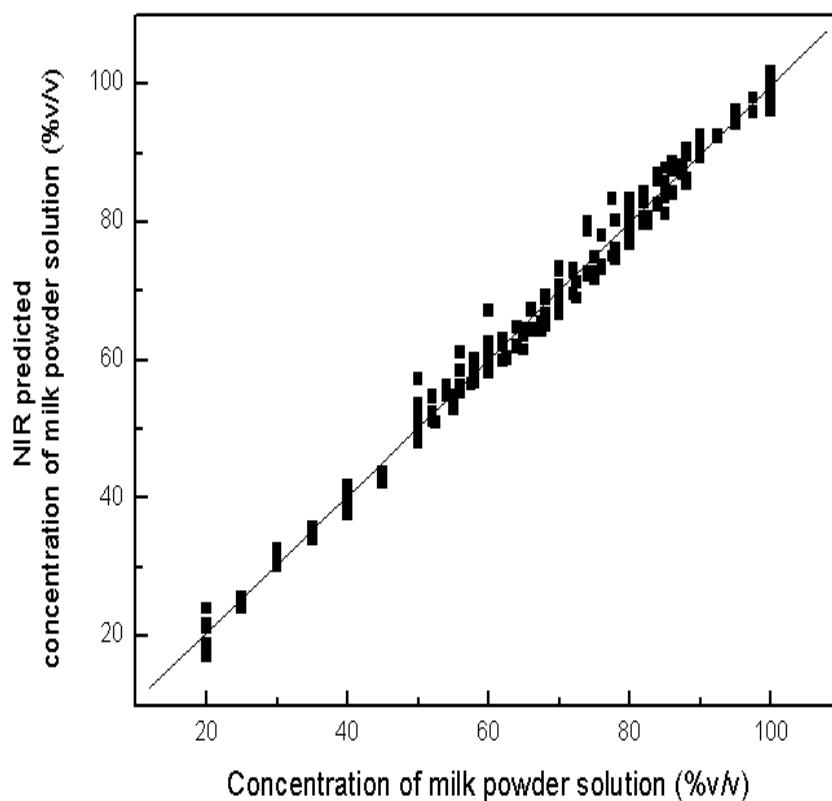
การวิเคราะห์ปริมาณสิ่งเจือปนในนมดิบ

ในการหาปริมาณน้ำที่เจือปนในน้ำนมดิบสามารถทำได้โดยการสร้างสมการ PLS ที่คำนวณจากปริมาณน้ำที่ใส่ในตัวอย่างและการดูดกลืนแสง NIRS ของตัวอย่าง เหล่านั้น จากการสร้างสมการแบบต่าง ๆ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการที่ใช้ทำนายปริมาณน้ำที่เจือปนในนมดิบ พบว่าสมการที่สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งด้วย MSC ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100 - 2500 นาโนเมตร ให้ผลการทำนายแม่นยำที่สุด สมการสร้างจาก 8 แฟกเตอร์ ค่า RMSEC ต่ำที่สุดคือ 0.6552 %v/v และให้ค่า correlation สูงเป็น 0.9986 ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่เจือปนในนมดิบจริง (แกน X) และปริมาณน้ำที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)

การหาปริมาณนมผงที่เจือปนในน้ำนมดิบ พบว่าสมการที่สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งด้วย MSC ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร ให้ผลการทำนายแม่นยำที่สุด สมการสร้างจาก 3 แฟกเตอร์ ค่า RMSEC ต่ำที่สุดคือ 2.007 %v/v และให้ค่า correlation สูงเป็น 0.9953 (รูปที่ 20)



รูปที่ 20. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนมผงที่เจือปนในนมจริง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัมปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร

จากการศึกษาพบว่าเทคนิค NIRS มีแนวโน้มที่จะใช้จำแนกตัวอย่างนมที่ถูกเจือปนออกจากนมสดแท้ได้ โดยการใช้เทคนิค NIRS ร่วมกับการประมวลผลทางสถิติวิธี DPLS สามารถจำแนกตัวอย่างนมเจือปนได้โดยผลการทดสอบให้จำแนกตัวอย่างชุดทดสอบให้ความถูกต้องในการคัดแยกถึง 97% โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัม NIRS ที่ปรับแต่งด้วย MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100 - 2500 นาโนเมตร และยังสามารถสร้างสมการ PLS เพื่อทำนายปริมาณน้ำและปริมาณน้ำนมผงที่เจือปนในนมดิบได้อีกด้วย

2. การหาปริมาณองค์ประกอบน้ำนมโดยไม่ทำลายด้วยวิธีอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS)

ในการทดลองมีวัตถุประสงค์ที่จะสร้าง PLS calibration model สำหรับทำนายปริมาณองค์ประกอบทางโภชนาการและทำนายคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำนมดิบที่สำคัญ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน แลคโตส ของแข็งทั้งหมด (total solid, TS) ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (solid non fat, SNF) ค่าความถ่วงจำเพาะ และจุดเยือกแข็ง รวมทั้งสิ้น 7 สมการ สมการจะสร้างจากข้อมูลสเปกตรัม NIR และปริมาณองค์ประกอบน้ำนม รวมถึงค่าทางกายภาพของ ตัวอย่างนมดิบธรรมชาติ 90 ตัวอย่าง ซึ่งมาจากการสแกนเก็บสเปกตรัม NIRS และการวิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (วิธีการทดลองข้อ 2.7) ดังรูปที่ 21 แสดงเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างนมดิบสำหรับค่าอ้างอิงทั้ง 7 ค่า



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 21. แสดงเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ค่าอ้างอิงของนมดิบตัวอย่าง (ก) แลคโตมิเตอร์ (lactometer) ใช้หาค่าความถ่วงจำเพาะ (ข) The Advanced Cryoscope ใช้วัดจุดเยือกแข็ง และ (ค) MilkoScan ใช้วิเคราะห์ปริมาณ ไขมัน โปรตีน แลคโตส TS และ SNF

สมการ PLS สร้างจากข้อมูลของตัวอย่างนมดิบ 90 ตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบสมการที่คำนวณจากสเปกตรัม NIRS ดิบและที่คำนวณเพื่อปรับแต่งสมการด้วยวิธีต่าง ๆ จนได้สมการหลายแบบ ทำการคัดเลือกสมการที่มีประสิทธิภาพในการทำนายหรือหาปริมาณสูงสุด ซึ่งพิจารณาจากความถูกต้องในการทำนาย นั่นคือให้ค่าสถิติในการทำนายผิดพลาดต่ำ ค่าสถิติเหล่านี้จะได้จากการนำสมการมาทำนายตัวอย่างชุดทดสอบ คือนมดิบ 3 1 ตัวอย่างที่เราทราบค่าอ้างอิงทั้ง 7 ค่า คือ ไขมัน โปรตีน แลคโตส ของแข็งทั้งหมด (total solid, TS) ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (solid non fat, SNF) ค่าความถ่วงจำเพาะ และจุดเยือกแข็ง เรียบร้อยแล้ว สมการ PLS calibration สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของ แต่ละองค์ประกอบที่ได้ ทำการศึกษาจะแสดงไว้ในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบผลทางสถิติของสมการ PLS สำหรับทำนายปริมาณองค์ประกอบไขมันและสมบัติกายภาพของนมดิบ โดยเปรียบเทียบสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIR ไม่ปรับแต่งและปรับแต่งวิธีต่างๆ และการใช้ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน

Pretreatment	Statistics			
	PC	Correlation	RMSEC	RMSEP
FAT; ORIGINAL				
Whole	7	0.9688	0.1477	0.1630
1100-1850	6	0.9469	0.1916	0.2052
2048-2500	3	0.9436	0.1974	0.2118
1100-1850+2048-2500	5	0.9634	0.1597	0.1643
FAT; MSC				
Whole	5	0.9589	0.1691	0.1727
1100-1850	5	0.9480	0.1897	0.1922
2048-2500	2	0.9368	0.2085	0.2457
1100-1850+2048-2500	5	0.9640	0.1584	0.1610
FAT; MSC+2nd				
Whole	3	0.9431	0.1982	0.2201
1100-1850	5	0.9507	0.1848	0.1959
2048-2500	2	0.9401	0.2032	0.2143
1100-1850+2048-2500	3	0.9457	0.1937	0.2148

PROTEIN; ORIGINAL				
Whole	7	0.8038	0.0334	0.0373
1100-1850	5	0.6122	0.0443	0.0468
2048-2500	4	0.6316	0.0435	0.0528
1100-1850+2048-2500	5	0.6728	0.0415	0.0485
PROTEIN; MSC				
Whole	8	0.9256	0.0212	0.0234
1100-1850	10	0.8703	0.0276	0.0256
2048-2500	3	0.4123	0.0511	0.0596
1100-1850+2048-2500	4	0.5592	0.0465	0.0510
PROTEIN; MSC+2nd				
Whole	5	0.7681	0.0359	0.0427
1100-1850	10	0.8747	0.0272	0.0293
2048-2500	1	0.1026	0.0558	0.0631
1100-1850+2048-2500	5	0.7231	0.0387	0.0495
LACTOSE; ORIGINAL				
Whole	7	0.8398	0.0323	0.0372
1100-1850	5	0.7659	0.0382	0.0378
2048-2500	3	0.4166	0.0540	0.0576
1100-1850+2048-2500	5	0.7840	0.0369	0.0400
LACTOSE; MSC				
Whole	8	0.9256	0.0225	0.0351
1100-1850	8	0.8263	0.0335	0.0351
2048-2500	4	0.6503	0.0452	0.0497
1100-1850+2048-2500	4	0.6222	0.0465	0.0529
LACTOSE; MSC+2nd				
Whole	6	0.8062	0.0352	0.0408
1100-1850	6	0.7755	0.0375	0.0440
2048-2500	1	0.2931	0.0568	0.0621

1100-1850+2048-2500	9	0.8881	0.0273	0.0315
SNF; ORIGINAL				
Whole	7	0.8038	0.0531	0.0576
1100-1850	4	0.6170	0.0702	0.0747
2048-2500	3	0.3736	0.0827	0.0789
1100-1850+2048-2500	5	0.6935	0.0643	0.0687
SNF; MSC				
Whole	8	0.9252	0.0338	0.0435
1100-1850	8	0.7913	0.0545	0.0449
2048-2500	4	0.4951	0.0775	0.0873
1100-1850+2048-2500	4	0.4493	0.0801	0.0899
SNF; MSC+2nd				
Whole	6	0.7931	0.0543	0.0538
1100-1850	7	0.7690	0.0570	0.0528
2048-2500	1	0.2321	0.0868	0.0917
1100-1850+2048-2500	1	0.2264	0.0869	0.0924
TS; ORIGINAL				
Whole	7	0.9634	0.1574	0.1814
1100-1850	6	0.9368	0.2054	0.2200
2048-2500	3	0.9235	0.2253	0.2460
1100-1850+2048-2500	5	0.9527	0.1785	0.1906
TS; MSC				
Whole	4	0.9364	0.2060	0.2347
1100-1850	5	0.9374	0.2045	0.2044
2048-2500	2	0.9228	0.2263	0.2611
1100-1850+2048-2500	4	0.9409	0.1989	0.2095
TS; MSC+2nd				
Whole	5	0.9527	0.1785	0.2059

1100-1850	6	0.9501	0.1832	0.2123
2048-2500	2	0.9237	0.2250	0.2327
1100-1850+2048-2500	6	0.9604	0.1635	0.1881
SP; ORIGINAL				
Whole	8	0.8607	0.0004	0.0007
1100-1850	7	0.6827	0.0006	0.0008
2048-2500	5	0.7496	0.0006	0.0007
1100-1850+2048-2500	6	0.7576	0.0006	0.0008
SP; MSC				
Whole	6	0.6700	0.0005	0.0007
1100-1850	6	0.4590	0.0006	0.0008
2048-2500	4	0.5116	0.0006	0.0008
1100-1850+2048-2500	5	0.5457	0.0006	0.0008
SP; MSC+2nd				
Whole	4	0.4817	0.0006	0.0008
1100-1850	5	0.4301	0.0007	0.0008
2048-2500	3	0.3874	0.0007	0.0008
1100-1850+2048-2500	3	0.3532	0.0007	0.0008
FP; ORIGINAL				
Whole	1	0.2003	0.0097	0.0035
1100-1850	1	0.1956	0.0097	0.0035
2048-2500	1	0.2000	0.0097	0.0035
1100-1850+2048-2500	1	0.1990	0.0097	0.0035
FP; MSC				
Whole	1	0.1886	0.0097	0.0034
1100-1850	5	0.3822	0.0091	0.0034
2048-2500	1	0.1870	0.0097	0.0034
1100-1850+2048-2500	1	0.1892	0.0097	0.0034

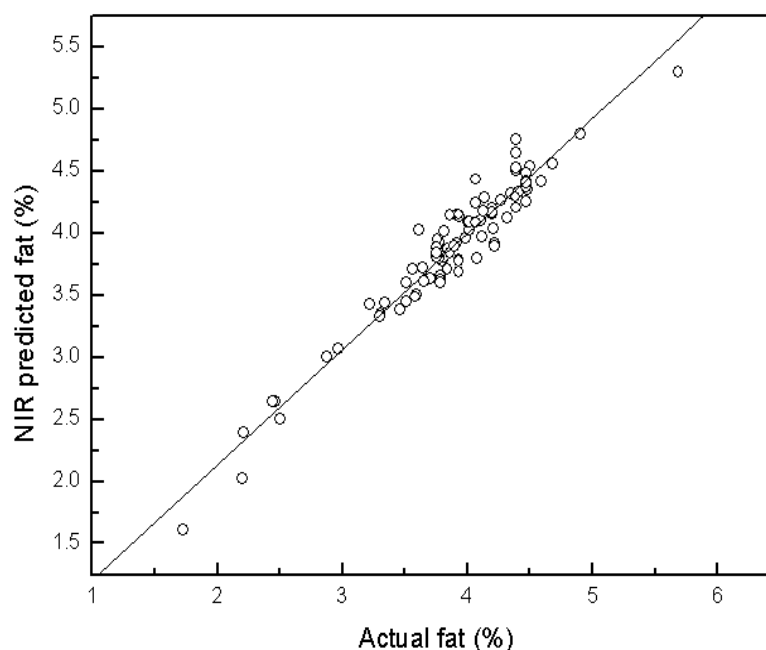
FP; MSC+2 nd				
Whole	1	0.0320	0.0097	0.0034
1100-1850	1	0.0375	0.0097	0.0033
2048-2500	1	0.1997	0.0096	0.0034
1100-1850+2048-2500	1	0.2013	0.0096	0.0034

ผลการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างสมการ PLSR สำหรับวิเคราะห์ในเชิงปริมาณและเชิงกายภาพของนมดิบ ซึ่งสร้างจากข้อมูลสเปกตรัม NIRS และค่าองค์ประกอบน้ำนม ได้แก่ ไขมัน โปรตีน แลคโตส ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (SNF) ของแข็งทั้งหมด (TS) รวมถึงคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (SP) ค่าจุดเยือกแข็ง (FP) ของนมดิบ 90 ตัวอย่าง สมการที่สร้างขึ้นทั้งหมดแสดงในตารางที่ 16 เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของสมการที่ได้ โดยการนำค่าสเปกตรัม NIRS ของตัวอย่างนมดิบชุดทดสอบจำนวน 31 ตัวอย่างมาป้อนลงในสมการทั้งหมด สมการเหล่านั้นจะแสดงผลการคำนวณที่ทำนายปริมาณองค์ประกอบน้ำนมทั้ง 5 ค่า และสมบัติทางกายภาพอีก 2 ค่า แล้วประมวลสรุปเป็นค่าทางสถิติดังตารางที่ 16 ซึ่งจะใช้ค่าเหล่านี้ในการเลือกสมการที่มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุด นั่นคือให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดในการทำนายต่ำสุด (RMSEP)

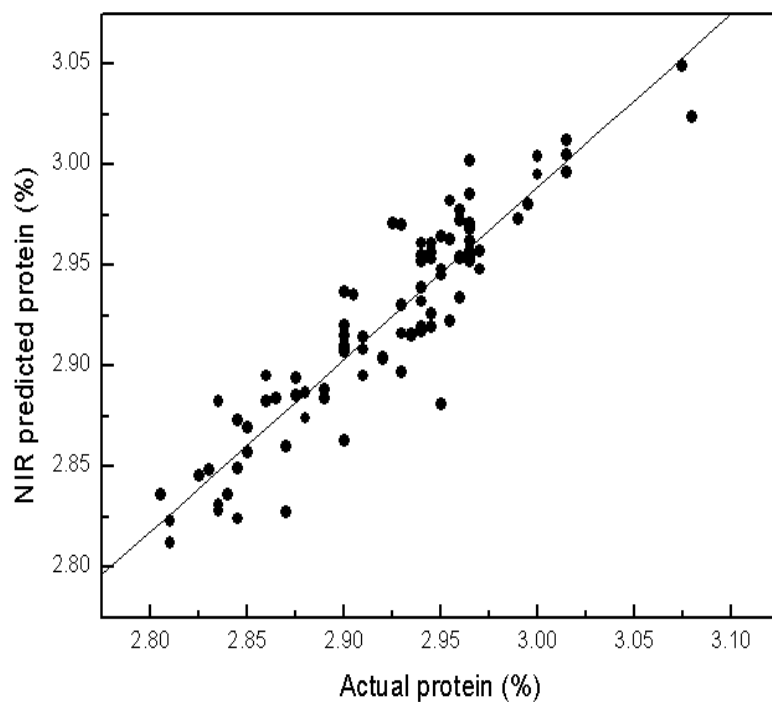
สรุปได้ดังนี้ สมการสำหรับทำนายปริมาณไขมันที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งด้วยวิธี MSC ในช่วงความยาวคลื่น 2 ช่วง คือ 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร สมการให้ค่า R เป็น 0.9640 ถึงค่า R จะต่ำกว่าสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIRS ดิบทั้งช่วง แต่ให้ความถูกต้องมากกว่า RMSEP เป็น 0.1610% และใช้แฟกเตอร์ในการสร้างสมการเพียง 5 แฟกเตอร์ (รูปที่ 22) สมการสำหรับทำนายปริมาณโปรตีนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งวิธี MSC ทั้งช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ให้ R สูงสุดเป็น 0.9256 และ RMSEP ต่ำสุด 0.0234 % (รูปที่ 23) สมการทำนายปริมาณแลคโตสที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งวิธี MSC ทั้งช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ให้ R สูงสุดเป็น 0.9256 RMSEC เป็น 0.0225% และ RMSEP เป็น 0.0351% (รูปที่ 24) สำหรับสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (SNF) พิจารณาจากค่าทางสถิติเลือกสมการที่สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งด้วยวิธี MSC ทั้งช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ซึ่งให้ค่า R สูง 0.9252 และ RMSEP ต่ำสุด 0.0435% แสดงในรูปที่ 25 สมการสำหรับองค์ประกอบสุดท้ายคือปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ให้ประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุดเมื่อสร้างจากสเปกตรัม NIRS ดิบในช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ให้ R เป็น 0.9634 และความผิดพลาดต่ำทั้ง RMSEC และ RMSEP เป็น 0.1516% และ 0.1814% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 26

ผลของสมการทำนายสมบัติทางกายภาพของนมดิบนั้น มีเพียงสมการ PLS สำหรับวิเคราะห์ปริมาณความถ่วงจำเพาะในนมดิบที่ให้ผลดี โดยสร้างจากสเปกตรัม NIRS ดิบ ในช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ใช้แฟกเตอร์ 8 ตัว มี R สูงสุดที่ระดับ 0.8607 RMSEC และ RMSEP เป็น 0.0004 และ 0.0007 ตามลำดับ (รูปที่ 27) ส่วนสมการทำนายจุดเยือกแข็งในนมดิบผลการวิเคราะห์ทางสถิติต่ำ สมการที่ดีที่สุดสร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งวิธี MSC ช่วง 1100-1850 นาโนเมตร มี R เพียง 0.3822 เมื่อดูจากรูป

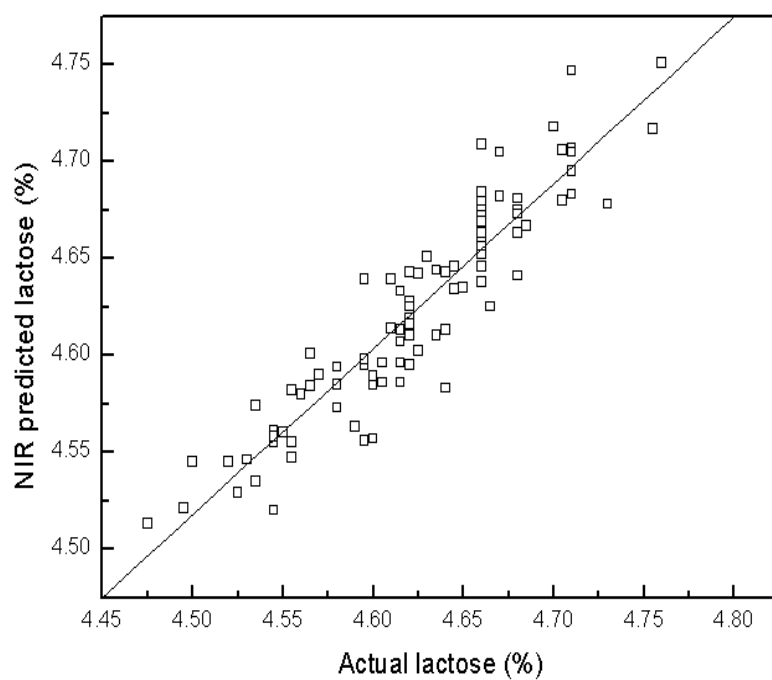
28 จะเห็นว่าปริมาณนมดิบที่มีค่าจุดเยือกแข็งในช่วงแคบ ๆ ประมาณ -0.52 มีจำนวนมาก ซึ่งค่าของตัวอย่างเกาะกลุ่มและความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดด้วยวิธีอ้างอิงกับสมการ NIRS ในช่วงนี้ค่อนข้างต่ำ ไม่เป็นไปในเชิงเส้นตรง ดังนั้นจึงควรศึกษาเพิ่มเติมโดยพิจารณาเพิ่มตัวอย่างนมดิบการใช้สร้างสมการและหาวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อแก้ปัญหานี้ หรืออาจต้องพิจารณาใช้วิธีการสร้างสมการแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Non-linearity) หากความสัมพันธ์ของค่าจุดเยือกแข็งและสเปกตรัม NIRS ไม่เป็นไปในแนวเส้นตรง



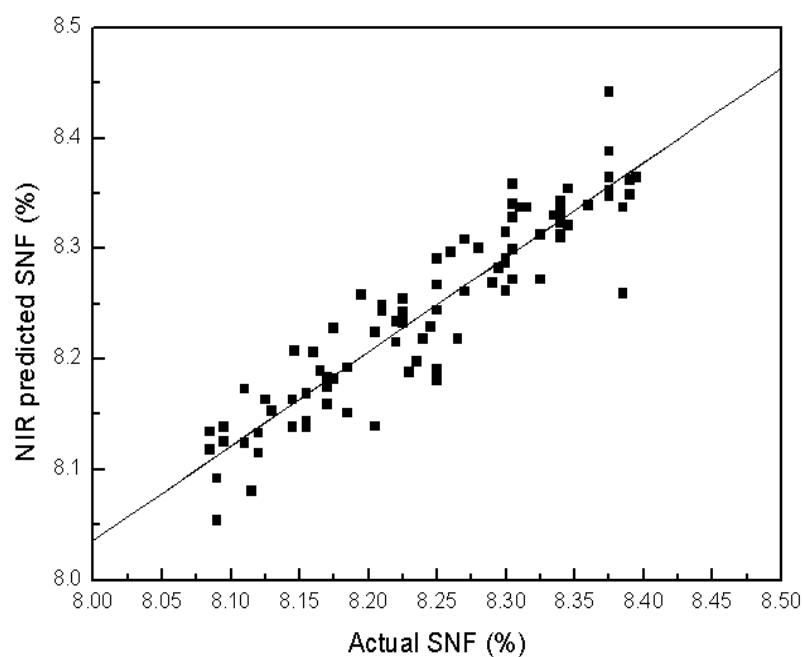
รูปที่ 22. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร (แกน Y)



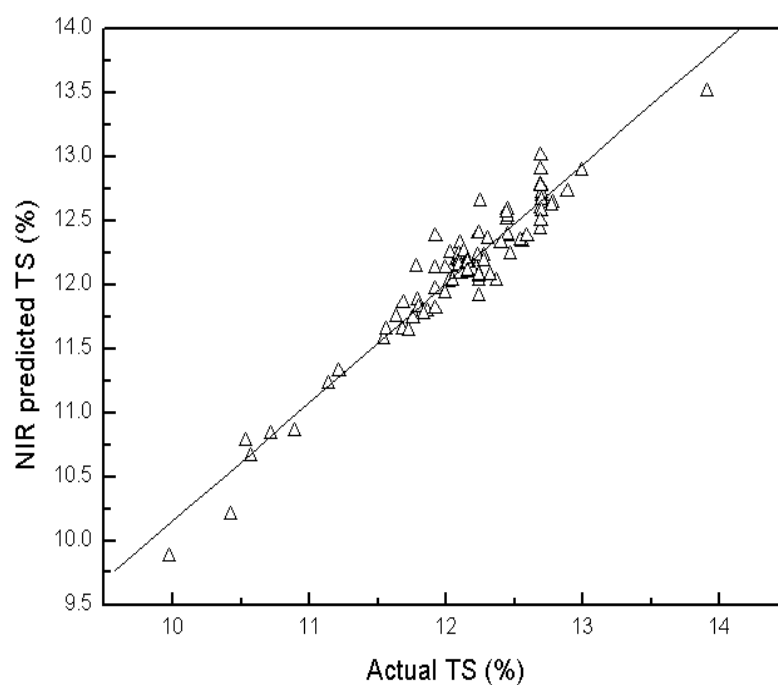
รูปที่ 23. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่ง MSC ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)



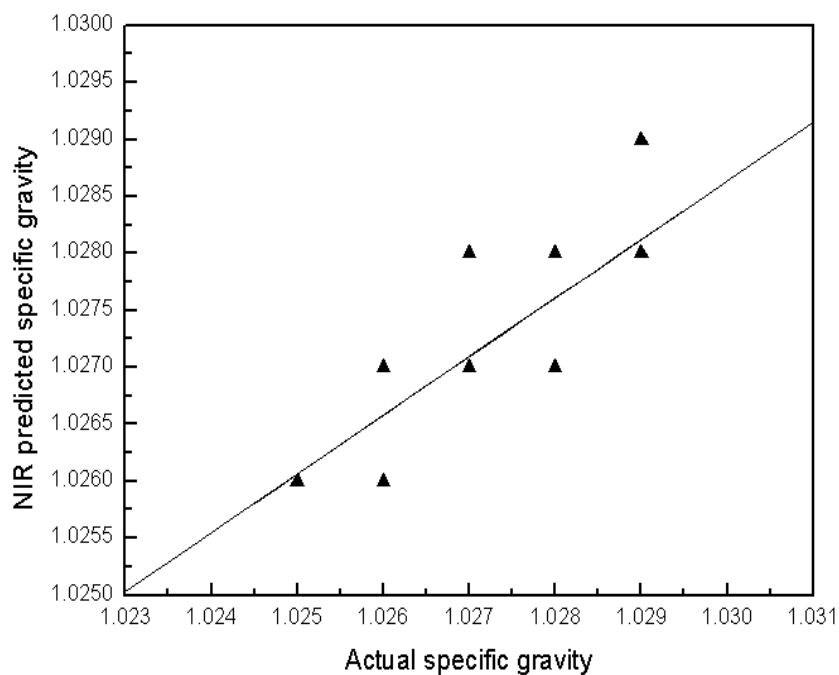
รูปที่ 24. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแลคโตสที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่ง MSC ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)



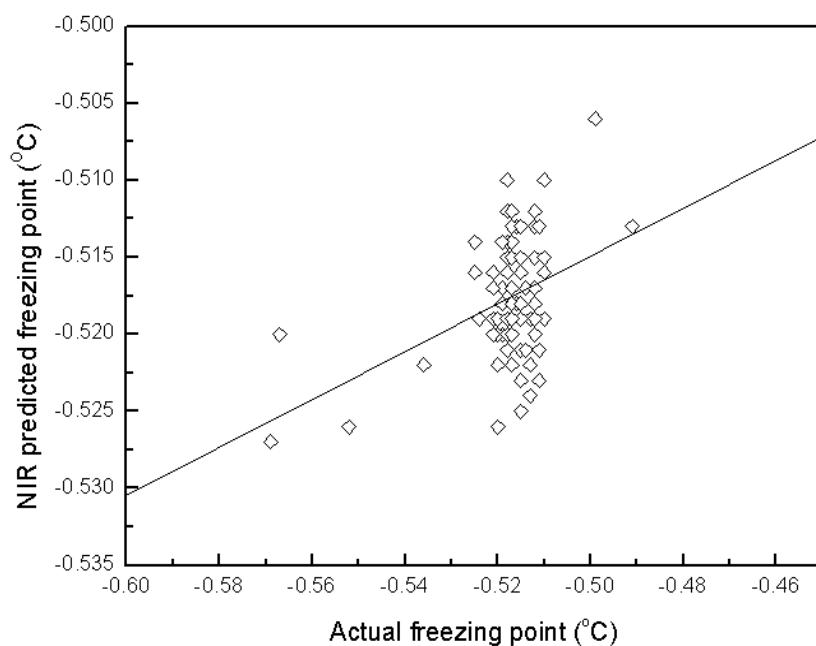
รูปที่ 25. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (SNF) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)



รูปที่ 26. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ดิบ ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)



รูปที่ 27. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งแบบ MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (แกน Y)



รูปที่ 28. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจุดเยือกแข็งที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง (แกน X) และที่ทำนายจากสมการ PLS สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่ง MSC ความยาวคลื่น 1100-1850 นาโนเมตร (แกน Y)

สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาวิจัยเพื่อตรวจคัดแยกนมดิบที่มีสิ่งเจือปน ได้แก่ น้ำและนมผงออกจากนมบริสุทธิ์ ด้วยเทคนิค NIRS นั้น จากการคำนวณด้วยวิธี DPLS สามารถคัดแยกได้ถูกต้องสูงสุด 97% มีความผิดพลาด 3% โดย 3% นั้นเกิดจากการจัดกลุ่มนมเจือปนน้ำผิด เนื่องจากมีระดับการเจือปนน้ำในนมดิบต่ำ การคัดแยกจึงเป็นไปได้ยาก เพราะตัวอย่างจะมีลักษณะใกล้เคียงกับนมดิบบริสุทธิ์มาก ส่วนนมที่มีการเจือปนนมผงนั้นสามารถคัดแยกได้ถูกต้องทั้งหมด สมการที่คำนวณได้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทั่วไป ดังสมการที่ (1) และสามารถสรุปผลในแต่ละช่วงของการวิจัย ได้ดังนี้

$$Y = \sum_i^k b_{i,j} X_{i,j} \quad (j = 1, 2 \dots n \text{ Factor}) , \quad (1)$$

Y = ค่าที่ทำนายได้จากข้อมูล NIRS

; กรณีการแยกกลุ่ม/คัดแยกนม Y = ค่าที่ทำนายจากสมการ DPLS (-1, 0, 1)

; กรณีการทำนายปริมาณ Y = ปริมาณที่ทำนายจากสมการ PLS

X = ข้อมูลสเปกตรัม NIRS ดิบที่ไม่มีการปรับแต่ง

i = ลำดับข้อมูลที่มีความยาวคลื่น NIRS เริ่มต้น

k = ลำดับข้อมูลที่มีความยาวคลื่น NIRS สุดท้าย

j = แฟกเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างสมการ

b = regression coefficient. $b = W / (P^T W) Q$

เมื่อทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม NIRS จำคำนวณได้ X ใหม่ดังนี้

1. ข้อมูลสเปกตรัม NIRS ที่ผ่านการทำ Pretreatment ด้วยวิธี MSC ดังสมการ;

$$X_{i, MSC} = (X_{iw} - a_i) / b_i$$

$$X_{iw} = a_i + b_i \bar{X}_{iw}$$

2. ข้อมูลสเปกตรัม NIRS ที่ผ่านการทำ Pretreatment ด้วยวิธี 2nd derivative (Savitzky Golay);

$$X_\lambda = a_0 + 2xa_2\lambda + K + 2xa_2\lambda^l$$

1. ผู้วิจัยเริ่มการวิจัยเบื้องต้นด้วยการคัดแยกนมผงจากนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์และการนำนมพาสเจอร์ไรส์มาเจือปนด้วยน้ำและนมผงปรุงแต่งสำหรับเด็ก และพบว่า เทคนิค NIRS สามารถคัดแยกตัวอย่างนมเจือปนออกจากนมบริสุทธิ์ได้ และยังสามารถหาปริมาณสิ่งเจือปนที่ปนอยู่ในนมได้อีกด้วย โดยพบว่า วิธีการคำนวณเชิงสถิติที่ใช้ได้ดีที่สุดในการแยกกลุ่มนมนี้ คือ วิธี DPLS สมการที่ดีที่สุดสำหรับการแยกนมพาสเจอร์ไรส์เจือปนน้ำออกจากนมพาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์คำนวณจากข้อมูล สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วย MSC และอนุพันธ์อันดับที่สอง ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-1850 ถึง 2048-2500 นาโนเมตร ส่วนสมการ

PLS สำหรับทำนายปริมาณน้ำที่เจือปนในนม พาสเจอร์ไรส์คำนวณ จากสเปกตรัมปรับแต่งด้วยวิธี MSC ในช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ให้ค่าความผิดพลาดในการทำนายต่ำที่สุด

สำหรับการจำแนกตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์บริสุทธิ์ และตัวอย่างนม พาสเจอร์ไรส์ เจือปนนมผง ปรับแต่ง สมการ DPLS คำนวณจากสเปกตรัมปรับแต่ง MSC และอนุพันธ์อันดับที่สองความยาวคลื่น ตั้งแต่ 2048-2500 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อหาปริมาณนมผงที่เจือปนไปในนมด้วย สมการ PLS ได้สมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งวิธี MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร

ในขั้นการวิจัยต่อมาเมื่อเริ่มใช้นมวัวดิบในการทดลอง และเจือปนด้วยน้ำและหางนมผง ผลการวิจัยสนับสนุนความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค NIRS ตรวจสอบการเจือปนด้วยวิธี DPLS เพียง สมการเดียวที่แยกกลุ่มนมเจือปนจากนมบริสุทธิ์ สมการ DPLS ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการจัดกลุ่มนม คำนวณจากสเปกตรัม NIRS ที่ปรับแต่งด้วยวิธี MSC และ 2nd derivative ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ใช้แพ็คเกจ 7 สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างนมได้ถูกต้อง 100% นอกจากคัดแยกนมแล้วยัง สามารถสร้างสมการ PLS สำหรับหาปริมาณการเจือปน โดยแยกเป็น 2 สมการ คือ สมการทำนาย ปริมาณน้ำ สร้างจากข้อมูลสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งด้วยวิธี MSC ในช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ความ ผิดพลาดต่ำสุดที่ RMSEP 2.159 %v/v และสมการทำนายปริมาณหางนม คำนวณจากข้อมูลสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งด้วยวิธี MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร เป็นสมการที่ ให้ความผิดพลาดต่ำสุดที่ RMSEP 0.244 %g/v เขียนรูปสมการทั่วไปได้ตามสมการที่ (1)

เนื่องจากการใช้หางนมปนลงในนมดิบ ทำให้นมที่ได้มีองค์ประกอบน้ำนมไม่ได้มาตรฐานตาม การรับซื้อนมดิบและสมบัติทางกายภาพผิดปกติอย่างเห็นได้ชัด ผู้วิจัยจึงนำเอานมผง (whole milk powder) มาเจือปนแทนหางนม และกำหนดช่วงในการเจือปนที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้มากที่สุด คือ การเจือ ปนน้ำในนมดิบ 4-50%v/v และการเจือปนน้ำนมผงในนมดิบ 20-100% v/v สมการ DPLS สามารถจำแนก ตัวอย่างนมเจือปนได้โดยผลการคัดแยกนมชุดทดสอบให้ความถูกต้องในการคัดแยกถึง 97% โดยใช้ข้อมูล สเปกตรัม NIRS ที่ปรับแต่งด้วย MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100 - 2500 นาโนเมตร ความผิดพลาด 3% คือนมที่เจือปนด้วยน้ำปริมาณต่ำ 4-9% v/v สำหรับสมการ PLS ใช้ทำนายปริมาณการเจือปนน้ำสร้างจาก สเปกตรัม MSC ในช่วงความยาวคลื่น 1100 - 2500 นาโนเมตร ให้ผลการทำนายแม่นยำที่สุด ค่า RMSEC ต่ำที่สุดคือ 0.6552 %v/v และให้ค่า correlation สูงเป็น 0.9986 ส่วนสมการทำนายปริมาณนมผง คำนวณจากสเปกตรัม MSC ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร ให้ผล การทำนายแม่นยำที่สุด RMSEC ต่ำที่สุดคือ 2.007 %v/v และให้ค่า correlation สูงเป็น 0.9953

2. การวิจัยเพื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของน้ำนมวัวดิบด้วยเทคนิค NIRS นั้น ผลของ สมการ PLS ที่สร้างขึ้นทั้ง 7 สมการ เพื่อใช้ทำนายค่าต่าง ๆ ดังนี้ ปริมาณไขมัน โปรตีน แลคโตส SNF TS ความถ่วงจำเพาะ และจุดเยือกแข็ง ค่าเหล่านี้สามารถวิเคราะห์ออกมาได้พร้อมกันโดยการป้อนข้อมูล สเปกตรัม NIRS ของตัวอย่างนมที่จะวิเคราะห์เข้าไป เทคนิค NIRS ใช้ข้อมูล 1 สเปกตรัมของตัวอย่างนม 1 ตัวให้ผลการวิเคราะห์ทั้ง 7 ค่าพร้อมกัน โดยผลทางสถิติที่ได้จากงานวิจัยแสดงความเป็นไปได้ในการใช้ เทคนิค NIRS วิเคราะห์ปริมาณไขมัน โปรตีน แลคโตส SNF TS และความถ่วงจำเพาะในน้ำนมดิบ

ยกเว้นผลการวิเคราะห์หาจุดเยือกแข็งในนมดิบให้ผลทางสถิติต่ำ จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของสมการให้ดีขึ้นเสียก่อนที่จะสามารถนำมาใช้ได้จริง โดยสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) สมการทำนายปริมาณไขมัน สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งด้วยวิธี MSC ในช่วงความยาวคลื่น 2 ช่วง คือ 1100-1850 และ 2048-2500 นาโนเมตร สมการให้ค่า R เป็น 0.9640 RMSEP เป็น 0.1610%

2) สมการทำนายปริมาณโปรตีน สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งวิธี MSC ทั้งช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ให้ R สูงสุดเป็น 0.9256 และ RMSEP ต่ำสุด 0.0234 %

3) สมการทำนายปริมาณแลคโตส สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งวิธี MSC ทั้งช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ให้ R สูงสุดเป็น 0.9256 และ RMSEP เป็น 0.0351%

4) สมการทำนายปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (SNF) สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งด้วยวิธี MSC ทั้งช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ซึ่งให้ค่า R สูง 0.9252 และ RMSEP ต่ำสุด 0.0435%

5) สมการทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) สร้างจากสเปกตรัม NIRS ดิบในช่วง 1100-2500 นาโนเมตร ให้ R เป็น 0.9634 และ RMSEP 0.1814%

6) สมการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ สร้างจากสเปกตรัม NIRS ดิบ ในช่วง 1100-2500 นาโนเมตร มี R สูงสุดที่ระดับ 0.8607 และ RMSEP เป็น 0.0007

7) สมการทำนายจุดเยือกแข็ง สร้างจากสเปกตรัม NIRS ปรับแต่งวิธี MSC ช่วง 1100-1850 นาโนเมตร มี R เพียง 0.3822

เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์. 2547. รายงานสรุป. สรุปสถานการณ์โคนมประจำปี 2547 และแนวโน้มปี 2548 . http://www.dld.go.th/transfer/situation/dairy/dairy_dec_47.htm, 1 พฤศจิกายน 2548.
- กรมปศุสัตว์. 2548. แผนพัฒนาโคนม. รายละเอียดแผนพัฒนาโคนม 2548. http://www.dld.go.th/ict/guestbook/plan_diary48.doc, 23 ตุลาคม 2548.
- เพ็ญแข แสงแก้ว. 2544. สถิติเพื่อการวิจัยโดยใช้คอมพิวเตอร์ (SPSS Version 10.0). โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟันนี้พับบลิชชิง, กรุงเทพฯ.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. นมสด. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- วรรณนา ตั้งเจริญชัย. 2538. ปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพนม และผลิตภัณฑ์นม . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุโขทัยธรรมมาธิราช, มหาวิทยาลัย. 2546. อาหารและโภชนาการ. พิมพ์ครั้งที่ 6. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, กรุงเทพฯ.
- ส่วนข้อมูลข่าว ฝ่ายวิจัยและข้อมูลข่าว สำนักข่าวไทย. 2545. สรุปข่าวเด่น. โครงการอาหารเสริม (นม) โรงเรียน . http://rdd.mcot.net/top/45/soc/ed_school_milk_project/milk.htm, 1 พฤศจิกายน 2548.
- ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและทดสอบสมการในเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. หน้า 131 – 151. การอบรมเชิงปฏิบัติการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27 – 28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อนุพันธ์ เทอดวงศ์สกุล. 2545. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. หน้า 67 – 98. ใน วารุณี ฐานะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์สกุล และธงชัย สุวรรณสิขณห์, ผู้รวบรวม. การอบรมเชิงปฏิบัติการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Chen J Y, Iyo C, Kawano S. 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.1999, 7: 265-273.
- Donald A B, Emil W C. Handbook of Near-Infrared Analysis, 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York. 2001, p 504-506.
- Hiromi K Y, Oritani Y, Takamura H, Matoba T. Protein Content in Milk by Near-Infrared Spectroscopy. J. Food Sci.1994, 59(2): 313-315.

Osborne, B.G., T.Fearn and P.H. Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy with Application on Food and Beverage Analysis. Longman Scientific & Technical. 217 p.

Rehman Zia-Ur, Saeed A, Zafar S I. Hydroxymethylfurfural as an Indicator for the Detection of Dried Powder in Liquid Milk. *Milchwissenschaft*. 2000, 55(5), 256-257.

Sasic S, Ozaki Y. Short-Wave Near-Infrared Spectroscopy of Biological Fluids. 1. Quantitative Analysis of Fat, Protein, and Lactose in Raw Milk by Partial Least-Squares Regression and Band Assignment. *Analytical Chemistry*. 2001, 73(1): 64-71.

Sasic S, Ozaki Y. Band Assignment of Near-Infrared Spectra of Milk by Use of Partial Least-Squares Regression. *Applied Spectroscopy*. 2000, 54(9): 1327-1338.

Tsenkova R, Atanassova S, Toyoda K, Ozaki Y, Itoh K, Fearn T. Near-Infrared Spectroscopy for Dairy Management: Measurement of Unhomogenized Milk Composition. *Journal of Dairy Science*. 1999, 82(11): 2344-2351.

Wolfschoon-Pombo A F, Antonio M, Furtado M. Detection of Adulteration of Pasteurized Milk with Whey by Determination of the Casein-Bound Phosphorus and Protein Nitrogen Content. *Zeitschrift fuer Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung*. 1989, 188(1): 16-21.

Ystgaard O M, Homeyer P G, Bird E W. Detection of Adulteration of Milk by Lactometric and Freezing-Point Methods. *Journal of Dairy Science*. 1951, 34: 680-688.

Output

1. Kasemsumran, Sumaporn; Thanapase, Warunee; Kiatsoonthon, Artaya. **Feasibility of near-infrared spectroscopy to detect and to quantify adulterants in cow milk.** Analytical Sciences (2007), 23(7), 907-910.
2. Kasemsumran, Sumaporn; Kiatsoonthon, Artaya; Thanapase, Warunee, Near-Infrared Spectroscopic Analysis for Rapid Detection of Cow Milk Adulteration. **The 13th International Conference on NIR Spectroscopy, June 15-21, 2007 (Umea, Sweden)** Page A12-141.
3. กำลังอยู่ในขั้นตอนการเขียนบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารต่อไป

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำโครงการไปใช้ประโยชน์

ดำเนินการวิจัยต่อยอดโดยการศึกษาศึกษาการตรวจสอบสิ่งเจือปนในน้ำนมดิบในช่วงความยาวคลื่นสั้นของ Near Infrared spectroscopy (ขอการสนับสนุนจากแหล่งทุนอื่น)