



## การจำแนกประเภทของนมวัวนมกระบือและนมแพะด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี Classification of Cow's, Buffalo's and Goat's Milk by Fourier Transform Near Infrared Spectroscopy

รวิภัทร ลากเจริญสุข<sup>1</sup>, กรณพต แก้วสอน<sup>2\*</sup>

Ravipat Lapcharoensuk<sup>1</sup>, Kannapot Kaewsorn<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 10520

<sup>1</sup>Curriculum of Agricultural Engineering, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ, ชลบุรี, 20110

<sup>2</sup>Division of Agricultural Engineering, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Bangphra Campus, Chon Buri, 20110, Thailand

\*Corresponding author: Tel: +66-38-358-201, Fax: +66-38-358-224, E-mail: kannapot60@hotmail.com

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อจำแนกนมวัว นมกระบือ และนมแพะ นมที่ใช้ทดลองประกอบด้วยนม 11 ชนิด คือ นมกระบือดิบ นมกระบือพาสเจอร์ไรส์ นมวัวดิบ นมวัวดิบต้ม นมวัวพาสเจอร์ไรส์ นมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรมไขมัน นมวัวสเตอริไลซ์ นมวัวยูเอชที นมแพะดิบ นมแพะพาสเจอร์ไรส์ และนมแพะยูเอชที การสร้างแบบจำลองใช้วิธี Principal component analysis (PCA) วิธี Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) และวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) ผลการศึกษาแสดงว่าแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมของนมกระบือดิบด้วยวิธี SIMCA สามารถใช้จำแนกนมชนิดอื่นได้ และแบบจำลองที่ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงจากวิธี PLS-DA โดยการทำ Cross-validation คือแบบจำลองของนมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบไม่มีไขมัน นมวัวดิบต้ม และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ และแบบจำลองให้ผลการทำนายดีจากการทำ Test set validation คือ แบบจำลองจากนมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรมไขมัน นมวัวสเตอริไลซ์ นมวัวดิบต้ม นมแพะดิบ และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้สูงในการประยุกต์ใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการจำแนกนมได้

คำสำคัญ: นม, การจำแนก, ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

### Abstract

This research aims to apply the Fourier transform near infrared spectroscopy (FT-NIRS) for classification cow, goat and buffalo milk. Eleven milk samples included raw buffalo milk, pasteurized buffalo milk, raw cow milk, boiled cow milk, pasteurized cow milk, no fat pasteurized cow milk, sterilize cow milk, UHT cow milk, raw goat milk, pasteurized goat milk and UHT goat milk. Classification models were developed by Principal component analysis (PCA), Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) and Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) method. Classification model of raw buffalo milk, which created by SIMCA method, could well identify other types of milk. Classification results on models of no fat pasteurized cow milk, boiled cow milk and pasteurized cow milk, which were developed by PLS-DA based on cross-validation method, showed high percent of correct identification. Moreover, good classification models based on test set validation method were models of no fat pasteurized cow milk, boiled cow milk, sterilize cow milk, raw goat milk and pasteurized goat milk. The findings point to possible application of FT-NIRS for classification the types of milk.

Keywords: Milk, Classification, SIMCA, PLS-DA, FT-Near infrared spectroscopy

## 1 บทนำ

นมมีองค์ประกอบหลักคือ โปรตีน ไขมัน น้ำตาลนม (แลคโตส) วิตามิน และแร่ธาตุ ซึ่งมีประมาณ 13% นอกจากนั้นอีกประมาณ 87% เป็นน้ำ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราช, 2546) ปัจจุบันนมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและได้รับความนิยมในการบริโภคคือนมวัว นมกระป๋อง และนมแพะ โดยหากเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของนมวัวกับนมกระป๋อง พบว่านมกระป๋องมีโปรตีน แคลเซียม เหล็ก และฟอสฟอรัส สูงกว่านมวัว 40.6 92 37.7 และ 118 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมทั้งยังมีวิตามินเอมากกว่านมวัว เนื่องจากกระป๋องสามารถย่อยเปลี่ยนแคโรทีนจากอาหารเป็นวิตามินเอได้เกือบหมด และนมกระป๋องมีคอเลสเตอรอลน้อยกว่านมวัวถึง 43 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นนมกระป๋องยังมีสารต้านอนุมูลอิสระและวิตามินอีอยู่ในระดับสูง อีกทั้งยังมีกิจกรรม Peroxidase เป็น 2-4 เท่าของนมวัว(www.buffalomilk.co.uk) เมื่อเปรียบเทียบนมกระป๋องกับนมแพะแล้ว นมกระป๋องจะมีคอเลสเตอรอลต่ำและมีแคลเซียมสูงกว่านมแพะ (สุขสันต์, 2554) สำหรับเรื่องความแตกต่างด้านราคาน้ำมันดิบในปัจจุบันราคาน้ำมันแพะประมาณ 50 บาทต่อกิโลกรัม นมวัวประมาณ 18 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนนมกระป๋องประมาณ 180 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการจำแนกนมทั้ง 3 ชนิด อาจจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่มีความสามารถในการจำแนกได้อย่างถูกต้องและสะดวกรวดเร็ว

ปัจจุบันเทคนิคหนึ่งซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับความสนใจและถูกนำมาประยุกต์ใช้กับผลผลิตทางการเกษตรและอาหารคือ เทคนิค Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการตรวจสอบทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้เป็นอย่างดี ในด้านเชิงปริมาณมีการศึกษาเพื่อนำเทคนิค NIRS ในช่วงความยาวคลื่นสั้นเพื่อประเมิน ไขมัน โปรตีน และแลคโตสในน้ำนมวัวดิบด้วยวิธี partial least-squares regression (Sasic and Ozaki, 2001) อีกทั้ง NIRS ยังถูกประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจสอบสิ่งเจือปนในน้ำนมวัวดิบได้อย่างรวดเร็วและการหาปริมาณองค์ประกอบน้ำนมด้วยวิธีวิเคราะห์แบบเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ศุมาพร, 2551) และรายงานของ Kalinin et al. (2013) ได้ศึกษาการใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในช่วงคลื่นสั้นในลักษณะแสงสะท้อนกลับแบบแพร่และการทะลุผ่านตัวอย่างเพื่อตรวจสอบไขมันและโปรตีนในนม ซึ่งผลการศึกษาระบุว่ามีความแม่นยำเป็นที่น่าสนใจ

นอกจากนั้นเทคนิค NIRS ยังถูกใช้เพื่อจำแนกกลุ่มของผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร โดย Chen et al. (2012) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อจำแนกน้ำผึ้งจันทน์ตาม

ที่มาของน้ำหวานของดอกไม้ ซึ่งได้ผลการจำแนกเป็นที่น่าสนใจจากรายงานของ Luna et al. (2013) รายงานความสามารถในการจำแนกน้ำมันถั่วเหลืองที่ผลิตจากถั่วเหลืองธรรมชาติและถั่วเหลืองที่มีการตัดแต่งพันธุกรรมได้เป็นอย่างดีด้วยการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีร่วมกับการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) และวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) และจากรายงานของ Inácio et al. (2011) ซึ่งรายงานการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีร่วมกับการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) อย่างมีประสิทธิภาพในการจำแนกกลุ่มของนมผงตามปริมาณโปรตีนของนมผง 2 ชนิด

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-NIRS) ร่วมกับการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) วิธี Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) และวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) สำหรับจำแนกชนิดของนมกระป๋อง นมวัว และนมแพะที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งอาจเป็นเทคนิคทางเลือกเพื่อใช้ในการจำแนกชนิดของนมกระป๋อง นมวัว และนมแพะได้

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 ตัวอย่างนม

ตัวอย่างนมที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 11 ชนิดดังนี้ 1) นมกระป๋องดิบ (Raw buffalo milk) 2) นมกระป๋องพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurized buffalo milk) 3) นมวัวดิบ (Raw cow milk) 4) นมวัวดิบต้ม (Boiled cow milk) 5) นมวัวพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurized cow milk) 6) นมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพร่องไขมัน (Pasteurized cow milk no fat) 7) นมวัวสเตอริไลซ์ (Sterilize cow milk) 8) นมวัวยูเอชที (UHT cow milk) 9) นมแพะดิบ (Raw goat milk) 10) นมแพะพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurized goat milk) 11) นมแพะยูเอชที (UHT goat milk) ซึ่งนมเหล่านี้เป็นนมที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด

### 2.2 การวัดสเปกตรัมของนม

ตัวอย่างนมแต่ละชนิดถูกนำมายังศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร (NIRS Research Center for Agricultural Product and Food) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตัวอย่างนมถูกวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) จนกว่าอุณหภูมิของ

ตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนมแต่ละชนิดปริมาตรเท่ากับ 0.45 ml จะถูกหยดด้วยปิเปตใส่หลอดแก้วควอทซ์สเปกตรัมของนมจะถูกเก็บข้อมูลด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มสเปกโตรมิเตอร์ (Bruker Ltd., Germany) ในโหมดการวัดแบบสะท้อนกลับในช่วงเลขคลื่นเท่ากับ 12,500 ถึง 4,000  $\text{cm}^{-1}$  ที่ทุก 16  $\text{cm}^{-1}$  ในการวัดสเปกตรัมหนึ่งครั้งของนมแต่ละชนิดทำการวัด 32 ซ้ำ และการหาค่าเฉลี่ยนมแต่ละชนิดจะถูกวัดสเปกตรัมจำนวน 5 ซ้ำ รวมจำนวนทั้งสิ้น 55 ซ้ำ Figure 1 แสดงการวัดสเปกตรัมของนมด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มสเปกโตรมิเตอร์



Figure 1 Spectra measurement of milk by FT-NIR spectrometer.

### 2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

สเปกตรัมของนมทั้ง 11 ชนิดได้ถูกแสดงไว้ใน Figure 2 การจำแนกนมชนิดต่างๆ ใช้วิธีการศึกษาการแบ่งกลุ่มสเปกตรัมของนมด้วยวิธี Principal component analysis (PCA), แบบจำลองในการจำแนกนมชนิดต่างๆ ถูกสร้างโดยวิธี Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) และ Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler 9.8 (CAMO, Norway) การสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกชนิดของนมจะใช้ข้อมูลสเปกตรัมเริ่มต้นเพียงเท่านั้น ในการวิเคราะห์ผลความถูกต้องจากการจำแนกโดยวิธี SIMCA และวิธี PLS-DA จะถูกรายงานด้วยเปอร์เซ็นต์การจำแนกตัวเอง (Self-classified) การจำแนกนมชนิดอื่น (Other classified) และการจำแนกโดยรวม (Total classified) โดยสูตรการคำนวณเป็นดังนี้

$$\text{Self-classified} = \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่สามารถจำแนกตัวเอง}}{\text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Other classified} = \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่สามารถจำแนกเป็นกลุ่มอื่น}}{\text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Total classified} = \frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่จำแนกถูกต้องทั้งหมด}}{\text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}} \times 100 \quad (3)$$

โดยผลการจำแนกทั้ง 3 ค่าข้างต้นจะถูกนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยรวมของการจำแนก (Total correct) โดยหาค่าเฉลี่ยจากผลการจำแนกทั้ง 3 ค่า

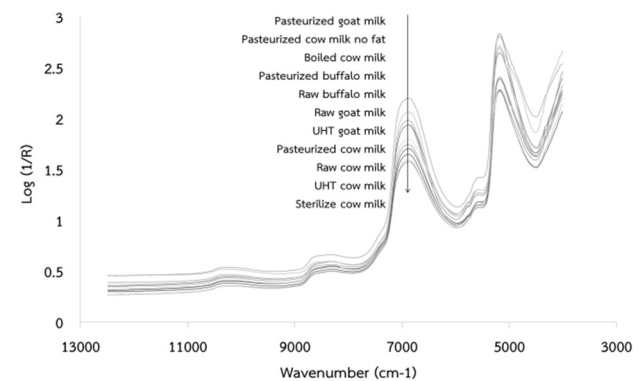


Figure 2 NIR Spectra of milk.

### 3 ผลและวิจารณ์

ผลการจำแนกกลุ่มนมด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) โดยการใช้แฟกเตอร์ 1 (PC1) และแฟกเตอร์ 2 (PC2) ได้แสดงใน Figure 3 โดยจะเห็นว่า นมแพะพาสเจอร์ไรส์ มีการจำแนกกลุ่มออกจากนมชนิดอื่นๆ อย่างชัดเจน การจำแนกกลุ่มโดยแกนของแฟกเตอร์ 1 (PC1) จากรูปแสดงให้เห็นว่านมแพะพาสเจอร์ไรส์ นมวัวพาสเจอร์ไรส์พร่องไขมัน นมกระป๋องพาสเจอร์ไรส์ นมกระป๋องดิบ และนมวัวดิบต้ม จำแนกออกจากนมวัวพาสเจอร์ไรส์ นมแพะยูเอชที นมแพะดิบ นมวัวสเตอริไลซ์ นมวัวยูเอชที และนมวัวดิบด้วยแฟกเตอร์ 1 (PC1) นมกลุ่มแรกที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นกระจายตัวอยู่ในด้านของแฟกเตอร์ 1 (PC1) เป็นบวก และนมกลุ่มที่ 2 ที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นอยู่ในด้านของแฟกเตอร์ 1 (PC1) เป็นลบ และการจำแนกกลุ่มโดยแกนของแฟกเตอร์ 2 (PC2) แสดงให้เห็นว่านมแพะดิบ นมแพะยูเอชที นมแพะพาสเจอร์ไรส์ และนมวัวดิบซึ่งกระจายตัวอยู่ในด้านของแฟกเตอร์ 2 (PC2) ที่เป็นลบ สามารถแยกออกจากนมวัวดิบต้ม นมวัวพาสเจอร์ไรส์พร่องไขมัน นมวัวพาสเจอร์ไรส์ นมวัวยูเอชที นมวัวสเตอริไลซ์ และนมกระป๋องดิบ ซึ่งกระจายตัวอยู่ในด้านแฟกเตอร์ 2 (PC2) ที่เป็นบวก

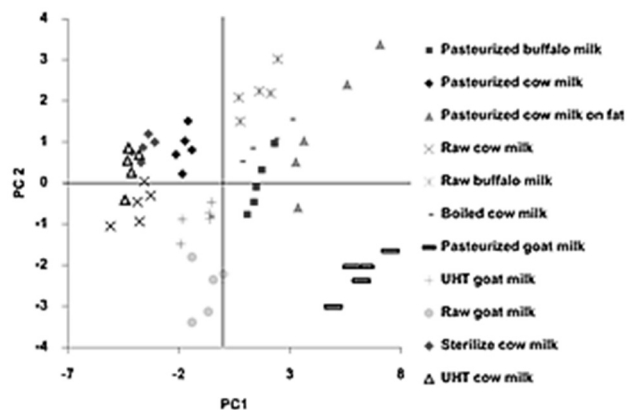


Figure 3 Scatter plot of PC1 and PC2 from modeling by principal component analysis (PCA) method.

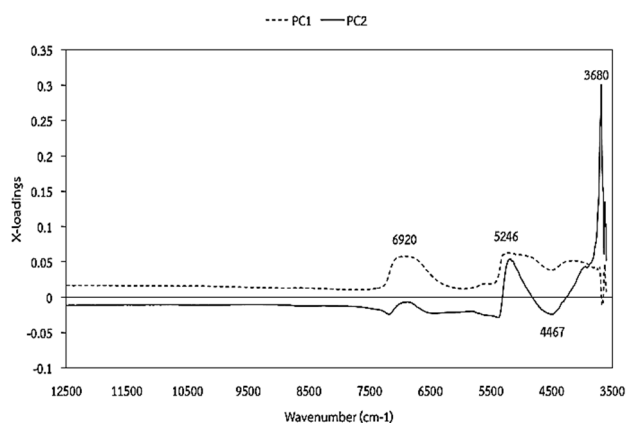


Figure 4 X-loadings plot of PC1 and PC2 from modeling by principle component analysis (PCA) method.

X-loadings plot ของแฟกเตอร์ 1 (PC1) และแฟกเตอร์ 2 (PC2) แสดงใน Figure 4 จากรูปกราฟ X-loadings ของทั้ง 2 แฟกเตอร์แสดงพีคที่เหมือนกันที่ตำแหน่งเลขคลื่นเท่ากับ 6920 5246 4467 และ 3680  $\text{cm}^{-1}$  (ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 1445 1906 2239 และ 2717 nm ตามลำดับ) ซึ่งที่ตำแหน่งเลขคลื่นเท่ากับ 6920  $\text{cm}^{-1}$  สอดคล้องกับค่าการดูดกลืนแสงของ aromatic ( $2\times\text{C-H str.}+\text{C-H def.}$ ) ที่ตำแหน่งเลขคลื่นเท่ากับ 4467  $\text{cm}^{-1}$  สอดคล้องกับค่าการดูดกลืนแสงของ amino acid ( $\text{N-H str.}+\text{NH}_3^+ \text{ def.}$ ) (Osborne et al., 1993)

เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกชนิดของนมด้วยวิธี Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) ได้แสดงไว้ใน Table 1 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมของนมทุกชนิดสามารถทำนายตัวเองได้ถูกต้อง โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทุกแบบจำลองจากสเปกตรัมของนมกระป๋องมีความถูกต้องสูงสุดโดยมีความถูกต้องในการทำนายนมชนิดอื่นเท่ากับ 73 เปอร์เซ็นต์ และผล

ความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 82 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองที่ได้นี้อาจกล่าวได้ว่าการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีโดยการสร้างแบบจำลองจากสเปกตรัมของนมกระป๋องดิบด้วยวิธี Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) สามารถจำแนกนมชนิดอื่นๆ ทั้ง 11 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ สำหรับความถูกต้องในการทำนายโดยรวมของแบบจำลองอื่นนั้นมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 9-64 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผลการทำนายโดยรวมของการจำแนกชนิดของนมด้วยวิธี Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) แสดงผลความถูกต้องรวมของทุกแบบจำลองของการทำนายตัวเองเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ การทำนายนมชนิดอื่นๆ เท่ากับ 41 เปอร์เซ็นต์ และความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์

Table 1 Results of classification of milk by Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) method.

| Model                       | PC | Percent correct of classified (%) |                  |                  |
|-----------------------------|----|-----------------------------------|------------------|------------------|
|                             |    | Self-classified                   | Other classified | Total classified |
| Raw buffalo milk            | 2  | 100                               | 73               | 82               |
| Pasteurized buffalo milk    | 2  | 100                               | 36               | 45               |
| Raw cow milk                | 2  | 100                               | 45               | 55               |
| Pasteurized cow milk        | 2  | 100                               | 18               | 27               |
| Pasteurized cow milk no fat | 2  | 100                               | 36               | 45               |
| Sterilize cow milk          | 2  | 100                               | 55               | 64               |
| UHT cow milk                | 2  | 100                               | 36               | 45               |
| Boiled cow milk             | 2  | 100                               | 0                | 9                |
| Raw goat milk               | 2  | 100                               | 45               | 55               |
| Pasteurized goat milk       | 1  | 100                               | 64               | 64               |
| UHT goat milk               | 2  | 100                               | 45               | 55               |
| Total correct               |    | 100                               | 41               | 50               |

Table 2 Results of classification of milk by Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) method and Cross-validation.

| Model                       | PC | Percent correct of classified (%) |                  |                  |
|-----------------------------|----|-----------------------------------|------------------|------------------|
|                             |    | Self-classified                   | Other classified | Total classified |
| Raw buffalo milk            | 7  | 60                                | 100              | 96               |
| Pasteurized buffalo milk    | 7  | 0                                 | 100              | 91               |
| Raw cow milk                | 7  | 20                                | 100              | 93               |
| Pasteurized cow milk        | 7  | 0                                 | 100              | 91               |
| Pasteurized cow milk no fat | 7  | 100                               | 100              | 100              |
| Sterilize cow milk          | 7  | 60                                | 100              | 96               |
| UHT cow milk                | 7  | 0                                 | 100              | 91               |

| Model                 | PC | Percent correct of classified (%) |                  |                  |
|-----------------------|----|-----------------------------------|------------------|------------------|
|                       |    | Self-classified                   | Other classified | Total classified |
| Boiled cow milk       | 7  | 100                               | 100              | 100              |
| Raw goat milk         | 7  | 80                                | 100              | 98               |
| Pasteurized goat milk | 7  | 100                               | 100              | 100              |
| UHT goat milk         | 7  | 20                                | 100              | 93               |
| Total correct         |    | 49                                | 100              | 95               |

เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายชนิดนมด้วยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยการทำการ cross-validation ได้แสดงใน Table 2 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองจากสเปกตรัมของนมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรองไขมัน นมวัวดิบต้ม และนมแพะพาสเจอร์ไรส์มีความถูกต้องในการทำจำแนกได้ดีมาก โดยให้เปอร์เซ็นต์ของการทำนายตัวเอง ทำนายชนิดอื่น และทำนายโดยรวมเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองที่ได้นี้อาจกล่าวได้ว่าการใช้ฟูเรียร์ทรานฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีโดยการสร้างแบบจำลองจากสเปกตรัมของนมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรองไขมัน นมวัวดิบต้ม และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) สามารถประยุกต์ใช้ในการจำแนกนมชนิดอื่นๆ ทั้ง 11 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ ผลการทำนายนมกระป๋องพาสเจอร์ไรส์ นมวัวพาสเจอร์ไรส์ และนมวัวยูเอชทีแสดงเปอร์เซ็นต์การทำนายตัวเอง (Self-classified) เท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองจากวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยการทำการ cross-validation ไม่สามารถจำแนกว่านมทั้ง 3 ชนิดนี้ออกจากนมชนิดอื่น แต่ในทางกลับกันเปอร์เซ็นต์การทำนายกลุ่มอื่นๆ (Other classified) มีค่าเท่ากับ 100 นั้นหมายความว่าแบบจำลองสามารถนำมาจำแนกนมชนิดอื่นออกจากนมทั้ง 3 ชนิดนี้ได้ สำหรับผลการทำนายโดยรวมของการจำแนกชนิดของนมด้วยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยการทำการ cross-validation แสดงผลความถูกต้องรวมของทุกแบบจำลองของการทำนายตัวเองเท่ากับ 49 เปอร์เซ็นต์ การทำนายนมชนิดอื่นๆ เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

Table 3 Results of classification of milk by Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) method and Test set validation.

| Model                       | PC | Percent correct of classified (%) |                  |                  |
|-----------------------------|----|-----------------------------------|------------------|------------------|
|                             |    | Self-classified                   | Other classified | Total classified |
| Raw buffalo milk            | 7  | 0                                 | 100              | 91               |
| Pasteurized buffalo milk    | 7  | 0                                 | 100              | 91               |
| Raw cow milk                | 7  | 0                                 | 100              | 91               |
| Pasteurized cow milk        | 7  | 0                                 | 100              | 91               |
| Pasteurized cow milk no fat | 7  | 100                               | 100              | 100              |
| Sterilize cow milk          | 7  | 100                               | 100              | 100              |
| UHT cow milk                | 7  | 0                                 | 100              | 91               |
| Boiled cow milk             | 7  | 100                               | 100              | 100              |
| Raw goat milk               | 7  | 100                               | 100              | 100              |
| Pasteurized goat milk       | 7  | 100                               | 100              | 100              |
| UHT goat milk               | 7  | 0                                 | 100              | 91               |
| Total correct               |    | 46                                | 100              | 95               |

Table 3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายชนิดนมด้วยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยการทำการ test set validation จากตารางแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมของนมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรองไขมัน นมวัวสเตอริไลซ์ นมวัวดิบต้ม นมแพะดิบ และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายตัวเอง ทำนายนมชนิดอื่นและทำนายโดยรวมเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้นี้สามารถกล่าวได้ว่าการใช้ฟูเรียร์ทรานฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีโดยการสร้างแบบจำลองจากสเปกตรัมของนมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรองไขมัน นมวัวสเตอริไลซ์ นมวัวดิบต้ม นมแพะดิบ และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) สามารถประยุกต์ใช้ในการจำแนกนมชนิดอื่นๆ ทั้ง 11 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ ผลการทำนาย นมกระป๋องดิบ นมกระป๋องพาสเจอร์ไรส์ นมวัวดิบ นมวัวพาสเจอร์ไรส์ นมวัวยูเอชที และนมแพะยูเอชที แสดงเปอร์เซ็นต์การทำนายตัวเอง (Self-classified) เท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองจากวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยการทำการ test set validation ไม่สามารถจำแนกว่านมทั้ง 6 ชนิดนี้ออกจากนมชนิดอื่น แต่ในทางกลับกันเปอร์เซ็นต์การทำนายกลุ่มอื่นๆ (Other classified) มีค่าเท่ากับ 100 นั้นหมายความว่าแบบจำลองสามารถนำมาจำแนกนมชนิดอื่นออกจากนมทั้ง 6

ชนิดนี้ได้ สำหรับผลการทำนายโดยรวมของการจำแนกชนิดของนม ด้วยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยการทำการ test set validation แสดงผลความถูกต้องรวมของทุกแบบจำลองของการทำนายตัวเองเท่ากับ 46 เปอร์เซ็นต์ การทำนายนมชนิดอื่นๆ เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการจำแนกชนิดของนมด้วยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยการทำการ cross-validation จาก Table 2 แสดงให้เห็นว่านมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรองไขมัน นมวัวดิบเต็ม และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ ให้ผลการจำแนกทั้งเปอร์เซ็นต์การจำแนกตัวเอง (Self-classified) การจำแนกนมชนิดอื่น (Other classified) และการจำแนกโดยรวม (Total classified) ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการจำแนกชนิดของนมด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) ซึ่งแสดงผลใน Figure 1 โดยนมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรองไขมัน และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ มีการแยกกลุ่มออกจากนมชนิดอื่นๆ อย่างชัดเจน แต่สำหรับนมวัวดิบเต็มการใช้วิธี Principal component analysis (PCA) ไม่แสดงการจำแนกกลุ่มออกจากกลุ่มนมอื่นๆ ได้ชัดเจน การจำแนกชนิดของนมด้วยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยการทำการ test set validation จาก Table 3 แสดงให้เห็นว่านมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรองไขมัน นมวัวสเตอริไลซ์ นมวัวดิบเต็ม นมแพะดิบ และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ แสดงให้เห็นผลการจำแนกตัวเอง (Self-classified) การจำแนกนมชนิดอื่น (Other classified) และการจำแนกโดยรวม (Total classified) ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำแนกกลุ่มที่แสดงใน Figure 1 โดยนมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรองไขมัน นมแพะดิบ และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ แสดงผลการจำแนกตัวเองออกจากนมชนิดอื่นอย่างชัดเจนยกเว้นนมวัวสเตอริไลซ์ และนมวัวดิบเต็มที่ยังมีการเกาะกลุ่มกับนมวัวชนิดอื่นๆ อยู่ สำหรับการทำนายตัวเอง (Self-classified) โดยวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยการทำการ cross-validation แสดงเปอร์เซ็นต์การทำนายตัวเองเท่ากับ 0 ในนม 3 ชนิด (นมกระป๋องพาสเจอร์ไรส์ นมวัวพาสเจอร์ไรส์ และนมวัวยูเอชที) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาการจำแนกชนิดของนมด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) ซึ่งแสดงผลใน Figure 1 จะเห็นว่านมทั้ง 3 ชนิดนี้มีการเกาะกลุ่มกับนมชนิดอื่นๆ จึงอาจเป็นสาเหตุให้เปอร์เซ็นต์การทำนายตัวเองของนมทั้ง 3 ชนิดมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งผลที่เกิดขึ้นข้างต้นกับนมทั้ง 3 ชนิดแสดงเช่นเดียวกันในเปอร์เซ็นต์การทำนาย

ตัวเองโดยแบบจำลองจากวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) โดยการทำการ test set validation แต่การทำการ test set validation ให้ผลการทำนายตนเองเท่ากับ 0 ในการทำนาย นมกระป๋องดิบ นมวัวดิบ และนมแพะยูเอชทีด้วย ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการทำการ test set validation ตัวอย่างต้องถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม test set ซึ่งทำให้ตัวอย่างในการสร้างแบบจำลองน้อยกว่าการทำโดยวิธี cross-validation นั่นเอง

#### 4 สรุป

จากการศึกษาการจำแนกนมชนิดต่างๆ ที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดด้วยฟูเรียร์ทรานฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองจากสเปกตรัมของนมกระป๋องดิบด้วยวิธี Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) สามารถใช้จำแนกนมชนิดอื่นๆ ทั้ง 11 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ นอกจากนั้นแบบจำลองที่สร้างจากวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) สามารถจำแนกนมชนิดอื่นๆ ทั้ง 11 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ โดยแบบจำลองที่ให้ผลการทำนายดีจากการทำการ cross-validation คือแบบจำลองจากสเปกตรัมของนมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรองไขมัน นมวัวดิบเต็ม และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ และแบบจำลองให้ผลการทำนายดีจากการทำการ Test set validation คือแบบจำลองจากสเปกตรัมของนมวัวพาสเจอร์ไรส์แบบพรองไขมัน นมวัวสเตอริไลซ์ นมวัวดิบเต็ม นมแพะดิบ และนมแพะพาสเจอร์ไรส์ จากผลการศึกษาครั้งนี้จึงสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้สูงในการประยุกต์ใช้ฟูเรียร์ทรานฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีร่วมกับวิธี Soft independent modeling by class analogy (SIMCA) และวิธี Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) ในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการจำแนกนมกระป๋อง นมวัว และนมแพะออกจากกันได้

#### 5 เอกสารอ้างอิง

- มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2546. อาหารและโภชนาการ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพมหานคร.
- ศุมาพร เกษมสำราญ. 2551. การตรวจสอบสิ่งเจือปนในนํ้านมวัวดิบอย่างรวดเร็วและการหาปริมาณองค์ประกอบนํ้านมด้วยวิธีวิเคราะห์แบบเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัยและสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. 52 หน้า

สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์. 2554. กระบือนมในประเทศไทย.

แหล่งข้อมูล : <https://soclaimon.wordpress.com/2011/07/26> เข้าถึงเมื่อเข้าถึงเมื่อ 2 ธันวาคม 2555.

Chen, L., Wang, J., Ye, Z., Zhao, J., Xue, X., Heyden, Y.V., Sun, Q. 2012. Classification of Chinese honeys according to their floral origin by near infrared spectroscopy. Food Chemistry 135, 338-342.

Inácio, M.R.C., Moura, M.F.V., Lima, K.M.G. 2011. Classification and determination of total protein in milk powder using near infrared reflectance spectrometry and the successive projections algorithm for variable selection. Vibrational Spectroscopy 57, 342-345.

Kalinin, A.V., Krashennnikov, V.N., Krivtsun, V.M. 2013. Short-wave near infrared spectrometry of back scattering and transmission of light by milk for multi-component analysis. Journal of Near Infrared Spectroscopy 21, 35-41.

Luna, A.S., Silva, A.P., Pinhoa, J.S.A., Ferréb, J., Boquéb, R. 2013. Rapid characterization of transgenic and non-transgenic soybean oils by chemometric methods using NIR spectroscopy. Spectrochimica Acta Part A 100, 115-119.

Osborne, B.G., Fearn, T., Hindle, P.H. 1986. Near infrared spectroscopy in food analysis (1st ed.). Longman Science & Technical, UK, Chapter 2.

Sasic, S., Ozaki, Y. 2001. 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, 73 (1), 64-71.