



รายงานการวิจัย

การพัฒนาสูตรไอศกรีมโดยใช้ไขมันและโปรตีนจากพืช
(Development of Ice Cream Formulation Using Fats and Proteins
from Vegetable)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การพัฒนาสูตรไอศกรีมโดยใช้ไขมันและโปรตีนจากพืช
(Development of Ice Cream Formulation Using Fats and Proteins
from Vegetable)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร. ศุภฤตย์ ไทยอุดม
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2547
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กุมภาพันธ์ 2550

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนงบประมาณประจำปี 2547 เพื่อใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ในการทดลอง วิเคราะห์และตรวจวัด ขอขอบคุณพนักงานและเจ้าหน้าที่สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรที่อำนวยความสะดวกและจัดการบัญชีของโครงการวิจัยมาโดยตลอดและเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ด้วยดีเสมอมา สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวอนอมดวง แซ่ลิ้นักศึกษาปริญญาโทที่ทุ่มเทร่างกายและแรงใจทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จเป็นรูปธรรม

ศุภฤตย์ ไทยอุดม

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาสูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช 2) ศึกษาผลของโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืชที่มีผลต่อโครงสร้างและคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม โดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืช (น้ำมันปาล์ม: PO และมาร์گارีน: HF) ทดแทนโปรตีนและไขมันนมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีม โดยแปรปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ร้อยละ 5 6 และ 7 โดยน้ำหนัก และไขมันพืชที่ร้อยละ 8 10 และ 12 โดยน้ำหนัก ตามแผนการทดลองแบบ Central Composite Design ขนาด 2 ตัวแปร 13 สิ่ง ทดลอง และเทคนิคการหาพื้นที่การตอบสนอง ซึ่งใช้ค่าคุณลักษณะของไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ได้แก่ 1) ขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม 2) ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม 3) อัตราการละลายและ 4) ค่าสีของไอศกรีม (L a b) เป็นต้นแบบในการหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิต การศึกษาปริมาณโปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันและโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ใช้เทคนิค SDS-PAGE และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องผ่าน ตามลำดับ

สูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมถั่วเหลืองสูตรที่ใช้ไขมันปาล์ม (SPO) ประกอบด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มร้อยละ 4.8 และ 11.0 โดยน้ำหนักตามลำดับ และไอศกรีม ถั่วเหลืองสูตรที่ใช้มาร์گارีน (SHF) ประกอบด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์گارีนร้อยละ 5.2 และ 8.6 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการศึกษาปริมาณโปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมพบว่าชนิดและคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันพืชที่ใช้ในส่วนผสมจะมีผลต่อปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน โดยส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้มาร์گارีนเป็นส่วนประกอบจะมีปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันมากกว่าน้ำมันปาล์ม และจากผลการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านทำให้ทราบว่าโครงสร้างของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมประกอบด้วยเม็ดไขมัน กลุ่มก้อนของเม็ดไขมันที่เสียความคงตัวบางส่วน และโปรตีนถั่วเหลืองที่กระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของซีรัมและรอบเม็ดไขมัน

Abstract

The objectives of this study were 1) to optimize the ice cream formulation from soy protein and vegetable lipids and 2) to study the effect of soy protein and vegetable lipid on the ice cream structure and physical characteristics. Substitution of milk protein and milk fat with soy protein isolated (SPI) and two different vegetable lipids (palm oil; PO and margarine; HF), respectively, in ice cream product was studied. The content of SPI (5%, 6% and 7% w/w) and vegetable lipids (8%, 10% and 12%w/w) were optimized according to the Central Composite Design (CCD) (13 experimental design points) and Response Surface Methodology (RSM). The characteristics studied were 1) fat droplet size in ice cream mix 2) ice cream mix viscosity 3) melting rate and 4) color (L a b). These characteristics were determined and compared with those of milk ice cream (commercial recipe) for optimizing the contents of SPI and vegetable lipids. The protein coverage on the surface of fat droplets and microstructure of the mixes were studied using SDS-PAGE and TEM, respectively.

The optimal formulation of palm oil ice cream (SPO) contained 4.80% (w/w) SPI and 11.0% (w/w) PO, while the optimal formulation of margarine ice cream (SHF) contained SPI and HF at 5.20 and 8.60% (w/w), respectively. The results of protein coverage on the surface of fat droplets in ice cream mixes indicated that chemical and physical properties of fat affected the surface protein coverage on the surface of fat droplets. The protein coverage on surface of fat droplets from margarine in the SHF ice cream mix was higher than that of palm oil in the SPO ice cream mix. Transmission electron micrograph of these ice cream mixes showed that the microstructure of ice cream mixes was composed of fat droplets and partially coalesced fat droplets. In addition, the dispersion of soy protein in serum phase and on the surface of partially coalesced fat droplets was observed.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
สมมติฐานของการวิจัย	5
ข้อตกลงเบื้องต้น	5
ขอบเขตของการวิจัย	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	8
วัสดุดิบ.....	8
วิธีการทดลอง.....	8
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์	
อภิปรายผล	15
บทที่ 4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
บทสรุป.....	47
ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	53
ภาคผนวก ข	59
ภาคผนวก ค	62
ประวัติผู้วิจัย	64

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมที่มีปริมาณ โปรตีนถั่วเหลือง สกัด (SPI).....	15
ตารางที่ 3.2 ปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันที่ใช้ในแต่ละสูตรตามแผนการ ทดลองแบบ CCD ขนาด 13 สิ่งทดลอง.....	17
ตารางที่ 3.3 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมนมสูตรทางการค้า.....	18
ตารางที่ 3.4 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SPO	20
ตารางที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนตัวแปรอิสระในพจน์ของ linear quadratic และ interaction ต่อค่าการตอบสนองของไอศกรีม SPO.....	21
ตารางที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการ โพลีโนเมียลอันดับสองของค่าการ ตอบสนองของไอศกรีม SPO.....	22
ตารางที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการ โพลีโนเมียลอันดับสองของค่าการตอบสนอง ของไอศกรีม SPO หลังผ่านการวิเคราะห์แบบ Stepwise regression.....	23
ตารางที่ 3.8 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SHF.....	29
ตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์ห้ำวเวียนซ์ (ANOVA) ของตัวแปรอิสระในพจน์ของ linear quadratic และ interaction ต่อค่าการตอบสนองของไอศกรีม SHF.....	30
ตารางที่ 3.10 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการ โพลีโนเมียลอันดับสองของค่าการ ตอบสนองของไอศกรีม SHF.....	31
ตารางที่ 3.11 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการ โพลีโนเมียลอันดับสองของค่าการ ตอบสนองของไอศกรีม SHF หลังผ่านการวิเคราะห์แบบ Stepwise regression.....	32
ตารางที่ 3.12 ค่าการทำนายจากสมการรีเกรสชันและค่าจริงจากการทดลองของค่าการ ตอบสนองต่างๆ ที่สูตรที่เหมาะสมของไอศกรีม SPO และ SHF.....	35
ตารางที่ 3.13 ค่าสัมประสิทธิ์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ โปรตีนทั้งหมดที่ถูก ดูดซับบนผิวเมล็ด ไขมัน (mg. m ⁻²) กับปริมาณ SPI (X ₁) และปริมาณไขมัน (X ₂) สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF.....	37

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางภาคผนวกที่ 1 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่พบในตัวอย่างไขมัน.....	57
ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณ โปรตีนที่เกาะบนผิวเมล็ด ไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF.....	60
ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณ โปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเมล็ด ไขมันในส่วนผสมพร้อมทำ ไอศกรีมนมสูตรควบคุม	61

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 3.1 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของขนาดเม็ดไขมัน (ก่อนบ่ม) สำหรับไอศกรีม SPO.....	25
ภาพที่ 3.2 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำ (ก่อนบ่ม) ไอศกรีม SPO	25
ภาพที่ 3.3 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของอัตราการละลาย สำหรับ ไอศกรีม SPO.....	26
ภาพที่ 3.4 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของค่าความหนืดในส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม สำหรับไอศกรีม SHF.....	33
ภาพที่ 3.5 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของอัตราการละลาย สำหรับ ไอศกรีม SHF.....	33
ภาพที่ 3.6 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของค่า L a และ b สำหรับ ไอศกรีม SHF.....	34
ภาพที่ 3.7 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของปริมาณ โปรตีนที่เกาะบนพื้นผิวเม็ดไขมัน สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO.....	40
ภาพที่ 3.8 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของปริมาณ โปรตีนที่เกาะบนพื้นผิวเม็ดไขมัน สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF.....	40
ภาพที่ 3.9 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO (หลังการบ่ม) จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด6% และน้ำมันปาล์ม 7.17% 10% และ 12.83% ที่กำลังขยาย 2 ระดับ คือ 1000 เท่า และ 5000 เท่า.....	43
ภาพที่ 3.10 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF(หลังการบ่ม) จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด6% และมาร์การ์ริน 7.17% 10% และ 12.83% ที่กำลังขยาย 2 ระดับคือ 1000 เท่า และ 5000 เท่า.....	44
ภาพที่ 3.11 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO ที่ประกอบด้วย 5% SPI+ 8% PO, 7% SPI+ 8% PO, 5% SPI+ 12% PO และ 7% SPI+ 12% PO ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	45
ภาพที่ 3.12 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF ที่ประกอบด้วย 5%SPI + 8%HF, 7%SPI + 8%HF, 5%SPI + 12%HF และ 7%SPI + 12 %HF ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพภาคผนวกที่ 1 รูปแบบการเกิดผลึกของไขมัน ด้วยเครื่อง DSC ที่อัตราการลดอุณหภูมิ 5°C/min.....	58
ภาพภาคผนวกที่ 2 รูปแบบการหลอมเหลวของไขมัน ด้วยเครื่อง DSC ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5°C/min.....	58
ภาพภาคผนวกที่ 3 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนมสูตรควบคุม (สูตรทางการค้า) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ก) และ 5,000 เท่า (ข).....	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไอศกรีม (ice cream) ถือเป็นของหวานที่ได้รับความนิยมทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตภูมิประเทศที่มีอากาศร้อน ดังเช่นประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากรสชาติหอมหวานและความเย็นของไอศกรีมที่สามารถดับกระหายและคลายร้อนได้ดี ดังนั้นไอศกรีมจึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นวัยเด็กหรือวัยผู้ใหญ่ล้วนแล้วแต่ชอบรับประทานไอศกรีมเพื่อคลายร้อนกันแทบทั้งสิ้น ปัจจุบันไอศกรีมเป็นของหวานที่มีวางขายกันทั่วไป ทั้งที่มีลักษณะเป็นร้านในห้างสรรพสินค้า หรือไอศกรีมรถเข็นที่ตระเวนขายตามท้องถนน และแนวโน้มทางการตลาดของไอศกรีมในประเทศไทยมีอัตราการขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งจะเห็นได้จากมูลค่าการตลาดไอศกรีมในประเทศไทยในปี 2547 มีมูลค่าถึง 9100 ล้านบาท เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2546 เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 ซึ่งนับว่าเป็นอัตราการขยายตัวของตลาดที่อยู่ในเกณฑ์สูง (ธนาคารกรุงไทย, สำนักงานวิจัยธุรกิจ, www, 2548) ทั้งนี้ตลาดไอศกรีมในประเทศไทยยังมีโอกาสขยายตัวได้อีกมากถึงแม้ว่าจะมีการแข่งขันที่รุนแรง จากการเทียบปริมาณการบริโภคไอศกรีมต่อคนต่อปีของคนไทยกับต่างประเทศแล้วพบว่าอัตราการบริโภคของคนไทยยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำมากกล่าวคือ คนไทยบริโภคไอศกรีมเพียง 0.599 ลิตรต่อคนต่อปี ในขณะที่ประเทศเพื่อนบ้านอย่างมาเลเซียมีอัตราการบริโภค 3 ลิตรต่อคนต่อปี ญี่ปุ่น 7 ลิตรต่อคนต่อปี ออสเตรเลีย 18 ลิตรต่อคนต่อปี และสหรัฐอเมริกา 24 ลิตรต่อคนต่อปี (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, www, 2547) นอกจากนี้ธุรกิจไอศกรีมในประเทศไทยยังมีช่องว่างทางการตลาดเปิดกว้าง โดยเฉพาะตลาดไอศกรีมในต่างจังหวัด นอกจากการขยายตัวของตลาดในประเทศแล้ว ผู้ประกอบการไอศกรีมในประเทศไทยยังมีการส่งออกไอศกรีมไปจำหน่ายยังต่างประเทศ โดยตลาดส่งออกไอศกรีมนั้นนับว่าเป็นตลาดที่น่าจับตามอง แม้ว่าในปัจจุบันมูลค่าการส่งออกจะยังไม่อยู่ในเกณฑ์สูงเมื่อเทียบกับสินค้าส่งออกหลักของประเทศ แต่อัตราการขยายตัวอยู่ในเกณฑ์ก้าวกระโดดในช่วงระยะ 4-5 ปีที่ผ่านมา กล่าวคือ ในปี 2546 ปริมาณการส่งออกไอศกรีมเท่ากับ 13,848 ตัน มูลค่า 720.76 ล้านบาท เมื่อเทียบกับในปี 2545 ซึ่งมีการส่งออกเพียง 10,473 ตัน มูลค่า 491.83 ล้านบาท ทั้งปริมาณและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 32.2 และ 46.5 ตามลำดับ จากเดิมที่ปี 2540-2543 การส่งออกไอศกรีมนั้นมีมูลค่าเพียง 50 ล้านบาท และคาดว่าในปี 2549 ประเทศไทยจะมีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 800 ล้านบาท (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, www, 2549) ซึ่งไทยมีปัจจัยเกื้อหนุนหลายประการในการที่จะก้าวขึ้นไปเป็นศูนย์กลางการผลิตไอศกรีมในภูมิภาคนี้ในอนาคต เนื่องจากมีกำลังการผลิตที่เพียงพอ มีวัตถุดิบหลากหลาย ต้นทุนการผลิตอยู่ในเกณฑ์ต่ำ รวมทั้งประเทศในแถบนี้ยังมีความต้องการ

บริโภคริมเพิ่มขึ้น ซึ่งเท่ากับว่ามีตลาดรองรับอยู่ ทำให้มีนักลงทุนต่างประเทศหลายรายเข้ามาลงทุนตั้งโรงงานผลิตไอศกรีมในประเทศไทย และมีแผนที่จะผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการส่งออกไอศกรีมของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, www, 2549)

โดยทั่วไปส่วนประกอบหลักของไอศกรีม ได้แก่ นม ไขมันนม และสารให้ความหวาน (sweeteners) หรือน้ำตาล นมในไอศกรีมเป็นแหล่งของโปรตีน แร่ธาตุและวิตามินต่างๆที่เป็นประโยชน์ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินดี และวิตามินบีสอง นอกจากนี้ในไอศกรีมยังมีการเติมสารให้ความคงตัว (stabilizer) และอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) สารปรุงแต่งกลิ่นรส และส่วนผสมอื่นๆ อีก เช่น ผลิตภัณฑ์จากไข่ สี แป้งคัดแปร ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวต่างจากผลิตภัณฑ์อาหารหวานแช่แข็งชนิดอื่น องค์ประกอบต่างๆในไอศกรีมจะเป็นตัวที่ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันไป เช่น นมซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบหลักในไอศกรีมจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสหอมหวานที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว ไขมันนมจะช่วยให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อ โครงสร้างของไอศกรีม และเนื้อสัมผัสที่เนียนนุ่มลื่น รวมถึงการเพิ่มกลิ่นรสของนมและลักษณะการละลายที่ดีให้กับไอศกรีม (Goff, 1997; Adapa, Dingeldein and Schmidt, 2000) ส่วนโปรตีนที่พบในนม เช่น เคซีน (casein) และ โปรตีนเวย์ (whey protein) จะช่วยให้ระบบอิมัลชันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ice cream mix) มีความคงตัวมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนนมเหล่านี้สามารถเกิดเป็นฟิล์มล้อมรอบเม็ดไขมันและฟองอากาศทำให้เม็ดไขมันและฟองอากาศไม่เกิดการรวมตัวและแยกชั้นกับส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัว (serum) ในระบบอิมัลชันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Segall and Goff, 1999, 2002; Zhang and Goff, 2004) นอกเหนือจากส่วนประกอบทั้งสองชนิดนี้แล้วยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อีกที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพของไอศกรีม ซึ่งได้แก่ สารให้ความหวาน เช่น น้ำตาล และไซรัป (syrup) ประเภทต่างๆ ที่เติมลงในส่วนผสมของไอศกรีม สารเหล่านี้นอกจากจะให้ความหวานและรสชาติที่กลมกล่อมแก่ไอศกรีมแล้วยังเป็นตัวช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ช่วยให้ขนาดของเม็ดน้ำแข็งในไอศกรีมมีขนาดเล็กและป้องกันการเกิดการรวมตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็งที่ละลาย (recrystallization) ของไอศกรีม โดยสารให้ความหวานเหล่านี้จะช่วยเพิ่มความหนืดในส่วนหนึ่งของของเหลวที่ไม่แข็งตัวของไอศกรีม (Goff, McCurdy and Fulford, 1990; Miller-Livney and Hartel, 1997) นอกจากสารให้ความหวานแล้ว สารให้ความคงตัวยังเป็นอีกส่วนประกอบหนึ่งที่ทำให้ไอศกรีมนั้นมีคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สารให้ความคงตัวที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ โลกัสบีนัม (locust bean gum; LBG) กัวกัม (guar gum) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose; CMC) แซนแทนกัม (xanthan gum) โซเดียมแอลจีเนต (sodium alginate) คาร์ราจีแนน (carrageenan) เจลาติน (gelatin) เป็นต้น สารให้ความคงตัวเหล่านี้เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ประเภทกัม (gum)

ซึ่งจะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและส่วนที่ไม่แข็งตัวในไอศกรีม (unfrozen phase) เช่นเดียวกับ สารให้ความหวาน

นอกเหนือจากส่วนประกอบที่กล่าวมาข้างต้นนั้นแล้ว น้ำตาลแล็กโทสที่พบในน้ำนม ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญก็มีผลทำให้ไอศกรีมที่ผลิตได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติแตกต่างกันไป โดยถ้าปริมาณน้ำตาลแล็กโทสมากจะทำให้ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่หยาบคล้ายเม็ดทราย (sandiness) ลักษณะดังกล่าวเกิดจากผลึกของน้ำตาลแล็กโทสในไอศกรีม ซึ่งถือเป็นลักษณะเนื้อสัมผัสที่ทำให้คุณภาพของไอศกรีมด้อยลงและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ น้ำตาลแล็กโทสยังก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบการย่อยของผู้บริโภคบางกลุ่มที่ขาดเอนไซม์แล็กเตส ซึ่งทำให้เกิดอาการแพ้ที่เรียกว่า lactose intolerance อันได้แก่ อาการเวียนศีรษะ ท้องอืดเนื่องจากเกิดแก๊สในกระเพาะ แน่นท้อง เสียคท้อง และท้องร่วงหลังจากบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลแล็กโทส (NIDDK, www, 2002) ซึ่งเป็นผลทำให้ผู้บริโภคกลุ่มนี้ปฏิเสธที่จะบริโภคนมและผลิตภัณฑ์จากนมรวมถึงไอศกรีมด้วย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหมือนหรือคล้ายนมแต่ปราศจากน้ำตาลแล็กโทสจึงเกิดขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์ปราศจากน้ำตาลแล็กโทสนั้นมีราคาค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากกระบวนการที่ใช้การสกัดเพื่อแยกเอาน้ำตาลแล็กโทสออกนั้นต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิต ดังนั้นการผลิตไอศกรีมที่ปราศจากน้ำตาลแล็กโทสจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อราคาต้นทุนที่สูงขึ้น และอาจส่งผลกระทบต่อราคาของผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้นด้วย การใช้วัตถุดิบชนิดอื่นที่ถือได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารประเภทโปรตีนและแร่ธาตุสูงจากพืช เช่น พืชตระกูลถั่วจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยให้ต้นทุนในการผลิตมีราคาไม่สูงมากนัก เช่น การใช้น้ำนมถั่วเหลืองที่ใส่สารอาหารประเภทโปรตีนในระดับที่สูงกว่านมในระดับการบริโภคเดียวกันแต่มีราคาถูกกว่านมมาก (NIDDK, www, 2002) ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนในการผลิตไอศกรีมต่ำลงด้วย

ถั่วเหลืองจัดเป็นพืชตระกูลถั่วที่ให้โปรตีนประมาณร้อยละ 40 และให้น้ำมันประมาณร้อยละ 21 ซึ่งถือว่าเป็นระดับของโปรตีนและไขมันที่สูงมาก (Joseph, 2001) โปรตีนถั่วเหลืองเป็นหนึ่งในพืชอาหารที่มีงานวิจัยกันมากที่สุด ถือว่าเป็น “functional foods” ซึ่งหมายถึงอาหารที่ให้ประโยชน์ไม่เพียงเฉพาะสารอาหารที่จำเป็นเท่านั้น แต่ยังอาจให้สิ่งอื่นๆที่เป็นประโยชน์อย่างโดดเด่นมากต่อร่างกายอีกด้วย ได้แก่ พอลิฟีนอล (polyphenols) ไอโซฟลาโวนส์ (isoflavones) สารยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitors) และซาโปนิน (saponins) เป็นต้น ทำให้ผู้ที่บริโภคอาหารที่ทำจากถั่วเหลืองเป็นประจำไม่ค่อยมีประวัติเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจ และมะเร็งบางประเภท ซึ่งสารกลุ่มพอลิฟีนอล ในถั่วเหลืองถูกสร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เกิดในเซลล์เป็นไฟโตอะเล็กซิน (phytoalexin) หรือสารที่ใช้ป้องกันแมลงศัตรูพืชมากัดกินเมล็ดถั่ว เนื่องจากในโครงสร้างของสารกลุ่มพอลิฟีนอลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จึงสามารถป้องกันการเกิดอันตรายจากสารอนุมูลอิสระที่ก่อให้เกิดโรคบางชนิดเช่น โรคหัวใจและโรคต่อกระเจก ข้อเสื่อมและ

โรคมะเร็งได้ (มลศิริ วีโรทัย, 2545) ไอโซฟลาโวนส์เป็นสารอีกกลุ่มหนึ่งที่มีประโยชน์และพบมากในถั่วเหลืองประมาณ 1-4 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลือง ประกอบด้วย ไดซิน (daidzein) จินิสติน (genistein) และไกลซิโนน (glycitin) จากการศึกษาพบว่าสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเหมือนเอสโตรเจนที่มาจากพืช (phytoestrogen หรือ estrogenlike) สามารถจับกับส่วนที่จับเอสโตรเจน (estrogen receptors) ทำให้มีผลเหมือนกับมีฮอร์โมนเอสโตรเจน สามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็งในหญิงวัยหมดประจำเดือน และโรคมะเร็งที่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมน เช่น มะเร็งเต้านม (Joseph, 2001) ส่วนสารยับยั้งทริปซินที่พบในโปรตีนถั่วเหลืองถือเป็นสารที่สามารถขัดขวางการดูดซึมหรือการนำไปใช้ประโยชน์ของโปรตีนถั่วเหลือง ดังนั้นในการแปรรูปถั่วเหลืองจะต้องกำจัดสารดังกล่าวออก มิฉะนั้นจะทำให้ร่างกายไม่สามารถย่อยสลายโปรตีนถั่วเหลืองในทางเดินอาหารได้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้พบว่าสารยับยั้งทริปซินมีคุณสมบัติในการยับยั้งเซลล์มะเร็งได้ (anticarcinogen activity) (มลศิริ วีโรทัย, 2545) นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังมีประโยชน์ต่อผู้บริโภคในการช่วยควบคุมน้ำหนักตัวเพื่อให้มีสุขภาพที่ดีอีกด้วย (AFIC, www, 2004)

โปรตีนถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีนหลัก 2 ส่วน คือ เบต้า-คอนไกลิซีนิน (β -conglycinin หรือ 7S globulin) และไกลิซีนิน (glycinin หรือ 11S globulin) ซึ่งมีความสามารถในการเกิดเจลได้ (Renkema, 2001) ลักษณะโครงสร้างตาข่ายของเจลที่เกิดขึ้นน่าจะมีประโยชน์ในการช่วยให้ไอศกรีมมีความคงตัวต่อการละลายมากขึ้น เนื่องจากลักษณะโครงสร้างตาข่ายเจลงน่าจะช่วยลดการเคลื่อนที่ของเม็ดไขมันและผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กไม่ให้เกิดการแยกชั้นและป้องกันการรวมตัวกันใหม่ (recrystallization) ของผลึกน้ำแข็งที่ละลายจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการเก็บและการขนส่ง ส่งผลให้การเกิดการโตและการรวมกันของผลึกน้ำแข็งลดลง ไอศกรีมที่ได้จึงมีคุณลักษณะและคุณภาพที่ดีใกล้เคียงกับคุณภาพของไอศกรีมที่เสร็จจากกระบวนการผลิตใหม่ๆ นอกจากนี้คุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนถั่วเหลืองได้มีการศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก (Puppo and Añón, 1999; Kim, Renkenma and van Vleit., 2001; Mitidieri and Wagner, 2002; Roesch and Corredig, 2002; 2003) จากการศึกษาของ Mitidieri and Wagner (2002) พบว่าระบบอิมัลชันที่มีโปรตีนถั่วเหลืองนั้นสามารถป้องกันการรวมตัวของเม็ดไขมัน (coalescence) ได้ดี แสดงว่าโปรตีนถั่วเหลืองสามารถลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมันได้ดี หรือมีคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ที่ดีได้ ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มล้อมรอบเม็ดไขมันกันไม่ให้เม็ดไขมันเกิดการชนและรวมตัวกันใหม่ (Roesch and Corredig, 2003)

ในขณะที่เดียวกันการใช้ไขมันพืชทดแทนไขมันนม เช่น การใช้ไขมันปาล์ม ถั่วเหลือง และ/หรือมะพร้าว ในการผลิตไอศกรีม ไม่เพียงแต่จะตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในผู้ที่แพ้ น้ำตาลแล็กโทสเท่านั้น แต่ยังสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในกลุ่มที่บริโภคมังสวิรัตหรืออาหารเจและผู้ที่ไม่บริโภคนมได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการใช้ผลิตภัณฑ์โปรตีนและ

ไขมันพืชทดแทนโปรตีนและไขมันนมอาจจะส่งผลให้คุณลักษณะและคุณภาพของไอศกรีมที่ได้แตกต่างจากเดิมที่ใช้โปรตีนและไขมันนม ซึ่งได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เช่น สี กลิ่น เนื้อสัมผัส ดังนั้นการศึกษาเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดังกล่าวให้มีคุณลักษณะและคุณภาพใกล้เคียงกับไอศกรีมที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันนม และให้ได้ลักษณะที่ต้องการของผู้บริโภค จึงน่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเก็บเป็นฐานข้อมูลเชิงวิชาการ และนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงในการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาสูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันจากพืช เพื่อให้ได้ลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมที่ผลิตจากโปรตีนและไขมันนม และสอดคล้องกับการยอมรับของผู้บริโภค

1.2.2 เพื่อให้เข้าใจผลของชนิดและปริมาณของไขมันที่มีต่อลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลือง

1.2.3 เพื่อให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช ในปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกัน และทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะและคุณภาพกับไอศกรีมที่ใช้โปรตีนและไขมันนม

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1.3.1 ชนิดและปริมาณของโปรตีนที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมจะมีผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพของไอศกรีมที่ได้

1.3.2 ชนิดและปริมาณของไขมันที่แตกต่างกันจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมที่ได้

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ไอศกรีมนมสูตรควบคุม ดัดแปลงมาจากไอศกรีมสูตรทางการค้า (economic formula) (Marshall, Goff and Hartel, 2003) ประกอบด้วย ไขมันเนย (butter fat) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก นมผงปราศจากไขมัน (skim milk powder) ร้อยละ 10.5 โดยน้ำหนัก น้ำตาลทรายขาว (sucrose) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก 42 DE กลูโคส ซีรัป (glucose syrup) ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก locust bean gum ร้อยละ 0.275 โดยน้ำหนัก แคปปา-คาราจีแนน (κ-carrageenan) ร้อย

ละ 0.025 และ ทะวิน 80 (Tween 80) ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 36 โดยน้ำหนัก

1.4.2 ในการพัฒนาสูตรไอศกรีม ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) และไขมันพืช 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม และมาร์การ์ีนจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว โดยกรรมวิธีการเติมหมู่ไฮโดรเจนหรือไฮโดรจีเนต

1.4.3 ผลึกภัณฑ์ไอศกรีมที่ผลิตเป็น ไอศกรีมที่มีปริมาณการขึ้นโฟม (% overrun) อยู่ในช่วง 30 - 50

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เน้นการพัฒนาสูตรไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช เพื่อให้ได้คุณลักษณะและคุณภาพที่ใกล้เคียงกับ ไอศกรีมที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันนม และให้ได้ลักษณะของไอศกรีมที่สอดคล้องกับความต้องการและการยอมรับของผู้บริโภค โดยจะศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมที่ได้โดยเปรียบเทียบกับไอศกรีมนมสูตรควบคุม ดังนี้

- ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ice cream mixes)
- ขนาดของเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม
- ปริมาณการขึ้น โฟมของ ไอศกรีม
- ความคงตัวต่อการละลายของ ไอศกรีมแช่แข็ง
- สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

และการศึกษาลักษณะ โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ได้โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope; TEM) และศึกษาปริมาณ โปรตีนที่ล้อมรอบหรือถูกดูดซับที่ผิวของเม็ดไขมัน (surface protein coverage) โดย SDS-PAGE เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการแปรผลของผลการใช้ชนิดและปริมาณ โปรตีนที่ต่างกันต่อคุณลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้รับองค์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลือง กระบวนการวิธีในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ในแต่ละขั้นตอน

1.6.2 สามารถนำความรู้ด้านปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโดยใช้ผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืชทดแทนโปรตีนและไขมันนม มาประยุกต์ใช้ต่อในระดับอุตสาหกรรม

1.6.3 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำองค์ความรู้และกระบวนการผลิตไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช พัฒนาสู่อุตสาหกรรมไอศกรีม โดยสร้างความร่วมมือทางด้านงานวิจัย

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1.1 วัตถุดิบ

โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Soy protein isolated: SPI) ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 90 จาก บริษัท Solae Company, สหรัฐอเมริกา ส่วนไขมันพืช 2 ชนิด น้ำมันปาล์ม (PO) และ มาร์การ์린 (โดยกรรมวิธีการเติมหมู่ไฮโดรเจนของน้ำมันปาล์มร้อยละ 55 และน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 27) (HF) จาก บริษัทลำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), ประเทศไทย นมผงขาดมันเนย (Skim milk powder: SMP) ปริมาณโปรตีนร้อยละ 99 จาก บริษัท Murray Goulburn Co-operative Co., Ltd., ออสเตรเลีย ไขมันเนย ปริมาณไขมันร้อยละ 99.9 จาก บริษัท Murray Goulburn Co-operative Co., Ltd., ออสเตรเลีย สำหรับน้ำตาลทรายขาว จากบริษัทรวมเกษตรกรรม อุตสาหกรรม จำกัด, ประเทศไทย กลูโคสซีรับ (42 DE) จาก บริษัทคอร์นโปรดักส์ อะมาร์คาส (ประเทศไทย) จำกัด, ประเทศไทย สารให้ความคงตัว โลกัสบีนกัน (Locust bean gum) และ แคลป้า-คาราจีแนน (κ-carrageenan) จาก บริษัท SKW Biosystems, ฝรั่งเศส อิมัลซิไฟเออร์ (Tween80) จาก บริษัท SEPPIC S.A., Paris, France.

2.1.2 วิธีการทดลอง

1) สูตรส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

สูตรส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนมสูตรทางการค้าที่ใช้เป็นสูตรต้นแบบในการเปรียบเทียบ คัดแปลงจากสูตรไอศกรีมนมทางการค้า (Marshall and Arbuckle, 1996) ประกอบด้วย ไขมันเนยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก นมผงขาดมันเนย ร้อยละ 10.5 โดยน้ำหนัก น้ำตาลทรายขาว ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก 42 DE กลูโคสซีรับ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โลกัสบีนกัน ร้อยละ 0.275 โดยน้ำหนัก แคลป้า-คาราจีแนน ร้อยละ 0.025 และ ทะวิน 80 ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 35-37 โดยน้ำหนัก

สำหรับสูตรส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองประกอบด้วย ไขมันพืช ในช่วงร้อยละ 8-12 โดยน้ำหนัก โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) ในช่วงร้อยละ 5-8 โดยน้ำหนัก สำหรับส่วนประกอบอื่นจะกำหนดให้คงที่ระดับเดียวกับสูตรไอศกรีมนมทางการค้า

2) การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและตัวอย่างไอศกรีมแช่แข็ง

คัดแปลงจากวิธีการของ Goff, Verespej and Smith (1999) และ Marshall and Arbuckle (1996)

ละลายนมผงปราศจากไขมัน หรือ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด ในน้ำเปล่า จากนั้นนำไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จึงเติมส่วนผสมแห้งของน้ำตาลทราย โลกัสบีนกัม แคลป้า-คาราจีแนน ลงไป ทำการผสมให้ส่วนผสมแห้งละลาย เพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 75 องศาเซลเซียส จึงเติม 42 DE กลูโคสซีรัป และไขมันลงไป ตามลำดับและทำการพลาสมาเจอไรซ์ส่วนผสมทั้งหมดที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จึงเติม ทะวิน 80 ลงในส่วนผสมและคนให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันด้วยเครื่อง โอ โมจีโนเซอร์ 2 ระดับความดัน (15 MR-8TA, APV Gaulin Inc, Massachusetts, USA) โดยความดันแรกเท่ากับ 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และความดันที่สองเท่ากับ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้เย็น โดยเร็วในภาชนะในอ่างน้ำแข็ง แล้วนำตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมไปบ่มในห้องแช่เย็น (PTV19T/43, Montecchio, Italy) ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ส่วนการเตรียมตัวอย่าง ไอศกรีมแช่แข็ง ทำได้โดยนำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วเข้าเครื่องปั่นไอศกรีม (Model 103, Taylor Company, Illinois, USA) เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจึงบรรจุไอศกรีมที่ได้ลงในภาชนะและเก็บในตู้แช่แข็ง (ULT2540-5V36, Kendro Laboratory Products, USA) ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงย้ายไปเก็บในห้องแช่แข็ง (NT34T/404/43, Montecchio, Italy) ที่อุณหภูมิ -21 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดสอบต่อไป

3) การศึกษาและการทดสอบคุณลักษณะของไอศกรีม

3.1) การทดสอบหาสูตรเบื้องต้นในการผลิตไอศกรีมจากผลิตภัณฑ์โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืช

กำหนดส่วนประกอบต่างๆ ของไอศกรีมรวมทั้งปริมาณไขมันที่ระดับคงที่ ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และแปรความเข้มข้นของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้ ที่ 5 ระดับ คือ ที่ร้อยละ 5.0 6.0 7.0 7.5 และ 8.0 โดยน้ำหนัก โดยให้น้ำหนักรวมของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเท่ากับ 2 กิโลกรัม ส่วนกระบวนการผลิตไอศกรีมผลิตตามกระบวนการมาตรฐานการผลิตของ Marshall and Arbuckle (1996) ซึ่งจะสอดคล้องกับแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ขนาด 5 สิ่งทดลองและจำนวน 3 ซ้ำ ทำการวัดคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมดังนี้

3.1.1 วัดค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

นำตัวอย่างของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ผ่านการบ่มที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของแต่ละสูตร ปริมาตร 11 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะบรรจุของชุด minisample วัด

ค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield (DV-III Ultra, Brookfield Engineering Laboratories Inc., Massachusetts, USA) ที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส แต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ซ้ำ

3.1.2 การวัดค่าอัตราการขึ้นโคมของไอศกรีม (%overrun) หลังผ่านกระบวนการผลิตไอศกรีม ตามวิธีของ Marshall and Arbuckle (1996)

นำตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาบรรจุใส่กล่องพลาสติกที่ซั้งและทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ซั้งน้ำหนักของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม (Freezer Model 103, Taylor Company, Illinois, USA) นาน 15 นาที หลังจากนั้นตักไอศกรีมที่ผ่านการปั่นแล้วบรรจุลงในกล่องพลาสติกเดิม ซั้งน้ำหนักของไอศกรีมที่ได้ และคำนวณหาค่าการขึ้นโคมของไอศกรีมตามวิธีของ Marshall and Arbuckle (1996) แต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ซ้ำ

3.1.3 วัดค่าการคงตัวต่อการละลาย หรืออัตราการละลายของไอศกรีม ดัดแปลงจากวิธีการของ Koxholt et al. (2001)

ตักไอศกรีมด้วยช้อนตักไอศกรีมให้ได้ลักษณะทรงกลม (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร และน้ำหนักประมาณ 50 กรัม) ซั้งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง บันทึกเป็นน้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น จากนั้นวางก้อนไอศกรีมบนตะแกรงสแตนเลส ที่มีรูตะแกรงขนาด 42 รูต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ซั้งน้ำหนักไอศกรีมส่วนที่ละลายทุกๆ 10 นาที และนำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละการละลายของไอศกรีมดังสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละการละลาย (\% melting)} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมส่วนที่ละลาย}}{\text{น้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น}} \times 100 \quad (1)$$

จากนั้นนำร้อยละการละลายที่คำนวณได้ที่แต่ละช่วงเวลามาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลาเพื่อหาอัตราการละลาย (meltdown rate) ของไอศกรีม (แต่ละตัวอย่างวัดค่า 3 ซ้ำ)

3.1.4 การคัดเลือกปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีมเบื้องต้น

คัดเลือกปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใกล้เคียงกับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ค่าอัตราการขึ้นโคมมากที่สุดของไอศกรีมหลังการปั่นแข็ง และค่าความคงตัวต่อการละลายใกล้เคียงไอศกรีมนมสูตรทางการค้าที่สุด เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบหาสูตรที่เหมาะสมต่อไป

3.2) การทดสอบหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช

ศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีมโดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืชแทนโปรตีนและไขมันนมโดยใช้แผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ขนาด 13 สิ่งทดลอง โดยแปรชนิดของปริมาณของไขมัน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม และมาร์การีน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 10 และ 12 และแปรปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้ให้ครอบคลุมปริมาณที่ได้จากการทดสอบสูตรเบื้องต้นในข้อ 3.3.1 โดยให้ปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้นเป็นจุดกึ่งกลาง จากนั้นจึงแปรชนิดของไขมัน โดยประเมินจากการวัดค่าคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมดังนี้

3.2.1 วัดขนาดเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม

ทำการเจือจางตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมด้วยน้ำกลั่น 1000 เท่า จากนั้นนำตัวอย่างที่เจือจางแล้วไปวัดขนาดเม็ดไขมันด้วยเครื่อง Laser light scattering (Mastersizer S, Malvern Instruments, Worcestershire, UK) ที่ 632.8 นาโนเมตร รายงานผลเป็นค่า $d_{3,2}$ (volume average mean diameter)

3.2.2 วัดค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม ตามข้อที่ 3.1.1

3.2.3 วัดค่าอัตราการขึ้น โฟมของไอศกรีม ตามข้อที่ 3.1.2

3.2.4 วัดค่าการคงตัวต่อการละลาย หรืออัตราการละลายของไอศกรีมแช่แข็ง ตามข้อที่ 3.1.3

3.2.5 วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมแช่แข็งในระบบ Hunter (L a b)

นำตัวอย่าง ไอศกรีมที่ผ่านการแช่แข็งเป็นระยะเวลา 8 วัน มาวัดค่าสีในระบบ Hunter (L a b) ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta CR-300, Osaka, Japan) 9 ครั้งต่อตัวอย่าง (3 ครั้งต่อ 1 บรรจุภัณฑ์จำนวน 3 บรรจุภัณฑ์) ปรับเทียบค่าเครื่อง (calibrate) ด้วยแผ่นสีมาตรฐาน (white tail; $L = 97.26$; $a = 0.05$; $b = 1.71$) ก่อนการวัดทุกครั้ง

3.2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีม

นำค่าคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมหรือค่าการตอบสนอง (response) ที่ได้จากการทดสอบ มาสร้างความสัมพันธ์กับตัวแปร (ปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณ ไขมันพืช) โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (multiple regression) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS system for window 6.12 (SAS Institute Inc., North Carolina, USA) และ SPSS V 13.0 (SPSS Inc., Illinois, USA) สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายและแสดง

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัวต่อค่าการตอบสนองตามแบบสมการพหุนามอันดับสอง และใช้สมการแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวในการสร้างกราฟพื้นผิว การตอบสนอง (Response surface plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistica V 5.0 (StatSoft, Inc., Oklahoma, USA)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (2)$$

เมื่อ β_0 คือ ค่าคงที่ ณ จุดกึ่งกลางการทดลอง (0, 0); β_1 และ β_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อันดับหนึ่ง (linear); β_{11} และ β_{22} คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อันดับสอง (quadratic) และ β_{12} คือ ค่าสัมประสิทธิ์พจน์อิทธิพลร่วมของตัวแปรอิสระทั้งสอง (interaction); X_1 คือ ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (%w/w) และ X_2 คือ ปริมาณไขมันพืช (%w/w)

สำหรับการหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองและปริมาณไขมันพืชที่เหมาะสมที่สุด จะใช้ค่าคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมนมสูตรทางการค้าเป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบความใกล้เคียงของคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืช สูตรที่เหมาะสมที่สุดสามารถทำนายได้จากการนำสมการพหุนามอันดับสองที่ได้จากการศึกษา มาแก้สมการ (differentiation) เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมที่สุด (optimum prediction) ในการผลิตไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืชที่ให้คุณภาพและคุณลักษณะใกล้เคียงกับ ไอศกรีมนมสูตรทางการค้ามากที่สุด

3.2.7 การยืนยันผลการทำนายสูตรที่เหมาะสม

ทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดลองจริง โดยใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืชจากสูตรที่เหมาะสม กับค่าการตอบสนองที่ได้จากการแทนค่าในสมการแบบจำลองรีเกรสชันที่ใช้ในการทำนายหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืช

4) การศึกษาปริมาณของโปรตีนที่ถูกดูดซับและล้อมรอบบริเวณผิวของเม็ดไขมัน (surface protein coverage) ดัดแปลงจากวิธีของ Roesch and Corredig (2002)

นำตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ผ่านการบ่มที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แยกส่วนที่เป็นครีม (ไขมัน) ออกจากส่วนที่เป็นซีรัม โดยการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ระดับ 19,000 x g นาน 30 นาที ที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่อไอศกรีมเกิดการแยกชั้นแล้วแยกเอาส่วนที่เป็นครีมออกมาละลายในสารละลาย โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 50 มิลลิโมลต่อลิตร pH 7.5 โดยใช้ส่วนที่เป็นครีม 5 กรัม ต่อสารละลายบัฟเฟอร์ 50 กรัม และทำการ

ปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่สภาวะเดิม จนเกิดการแยกชั้นของครีมนีกครั้งจึงตัดส่วนที่เป็นครีมออกมาฝังบนกระดาษกรอง (Whatman เบอร์ 1) เพื่อให้กระดาษซับส่วนที่เป็นของเหลวไว้ ส่วนซีรัมที่ใช้ในการวิเคราะห์จะนำจากส่วนที่ผ่านการปั่นเหวี่ยงครั้งแรกโดยใช้ไมโครปิเปตดูดออกจากหลอดอย่างระมัดระวัง จากนั้นจึงนำส่วนของครีมและซีรัมที่แยกไว้ไปละลายใน สารละลายอิเล็กโตรโฟรีซิสบัฟเฟอร์ (25 mL 0.5 mol/L Tris-HCl, pH 6.8; 4 g SDS /100 mL; 0.01g bromophenol blue/100 mL; 10 g 2-mercaptoethanol/100mL; 20 g glycerol/100mL) และนำตัวอย่างสารละลายผสมไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เพื่อให้โปรตีนเสียสภาพ หลังจากนั้นนำสารละลายผสมไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง ที่ 15,000 x g นาน 1.5 นาที แล้วจึงปิเปตตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงใน 12.5% อะคริลาไมด์เจล ด้วยไมโครปิเปต และทำการส่งกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ขนาด 120 โวลต์ผ่านเจล จากนั้นจึงนำเจลที่ได้ไปวัดความเข้มของแถบโปรตีนด้วย Densitometer (Labworks™ Image Acquisition and Analysis Software, UVP Inc., Upland, CA) และคำนวณหาปริมาณ โปรตีนที่ถูกดูดซับและล้อมรอบเม็ดไขมันจากการเปรียบเทียบค่าความเข้มและความกว้างของแถบโปรตีนมาตรฐาน (bovine serum albumin) ที่ทราบปริมาณ โปรตีนที่แน่นอน โดยปริมาณ โปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันที่ได้เป็นเพียงค่าประมาณการเพื่อใช้ในศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของโปรตีนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน น้ำมันปาล์มและมาร์การ์รินในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่ม

5) การศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังบ่ม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ตามวิธีของ Thaiudom and Goff (2003)

เตรียมตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค agar rod sleeve ตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ผ่านการบ่มที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงจะถูกดูดเข้าไปในหลอดที่ทำขึ้นจากอะการ์ (agar) ให้มีความยาวของหลอดอะการ์ประมาณ 7 มิลลิเมตร จากนั้นจึงปิดปลายหัวท้ายของหลอดอะการ์ที่มีส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมด้วยอะการ์เหลว รอจนอะการ์แข็งตัวจึงนำหลอด อะการ์ดังกล่าวจุ่มลงใน 2% glutaraldehyde เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จุ่มหลอดอะการ์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จำนวน 3 ครั้งโดยทิ้งห่างครั้งละ 10 นาที และแช่ทิ้งไว้ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เป็นเวลา 1 คืน จึงนำออกจากฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ทำให้แห้งและกำจัดน้ำ (dehydrate) ออกจากตัวอย่างด้วยการแช่ในเอทานอลที่ลำดับความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 60 70 80 90 และ 95 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นละ 10 นาที จากนั้นจึงทำการกำจัดน้ำออกที่สมบูรณ์ โดยแช่ในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก 2 ครั้งครั้งละ 15 นาที และแช่ในโพรพิลีนออกไซด์ (propylene oxide) เข้มข้น 2 ครั้ง ครั้งละ 15 นาที แล้วจึงนำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายผสมระหว่างโพรพิลีนออกไซด์และ embedding medium ในอัตราส่วน 1:1 โดย embedding medium

ประกอบด้วย Jembed 812 Resin ร้อยละ 49.76 โดยน้ำหนัก, dodecenyl succinic anhydride ร้อยละ 24.49 โดยน้ำหนัก, Nadic methyl anhydride ร้อยละ 24.02 โดยน้ำหนัก, tri-(dimethylaminomethyl) phenol ร้อยละ 1.73 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นจึงแช่ตัวอย่างในสารละลายผสมระหว่าง propylene oxide และ embedding medium ในอัตราส่วน 1:2 2 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องแล้วแช่ใน embedding medium เข้มข้นร้อยละ 100 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ผ่านการตรึงแล้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ก่อนนำตัวอย่างข้างต้นมาตัดให้มีความหนา 90 นาโนเมตร ด้วยเครื่องตัดตัวอย่างบางพิเศษ (Ultramicrotome Model MTX 75500) ตัดตัวอย่างบน gold grid จากนั้นย้อมตัวอย่างด้วย ซิลเวอร์ โปรตีน (silver proteinate) ตามด้วย ยูรานิล อะซิเตด (uranyl acetate) และ เลด ซิเตรต (lead citrate) จึงนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน แบบส่องผ่าน (TEM-2010, JEOL, Japan) โดยกำหนดให้ความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 80 กิโลโวลต์

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่สามารถใช้ผลิตไอศกรีม

จากการทดสอบกระบวนการผลิตไอศกรีม เพื่อหาสูตรเบื้องต้นซึ่งใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม ในการทดสอบควบคุมปริมาณน้ำมันปาล์มที่ใช้ในสูตรให้คงที่ที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทำให้ทราบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่สามารถผลิตไอศกรีมได้โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้ ที่มีลักษณะโดยรวมใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้า คือที่ร้อยละ 8.0 7.5 7.0 6.0 และ 5.0 โดยน้ำหนัก และให้ไอศกรีมที่มีคุณลักษณะทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมที่ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) ต่างๆ

ปริมาณ SPI (% w/w)	Ice cream mix viscosity (before aging; cP)	% Overrun	Melting rate (g/min)
8.0	167.50 + 10.95 ^a	22.28 ± 1.46 ^d	0.989 + 0.06 ^d
7.5	120.00 + 10.00 ^b	23.83 ± 1.87 ^{cd}	1.091 + 0.10 ^c
7.0	75.83 + 5.85 ^c	24.18 ± 1.99 ^c	1.121 + 0.19 ^c
6.0	34.17 + 2.58 ^d	31.33 ± 2.41 ^a	1.362 + 0.03 ^b
5.0	24.17 + 8.47 ^c	28.02 ± 1.26 ^b	1.392 + 0.04 ^b
Control*	21.25 + 1.37 ^c	30.52 + 2.62 ^a	1.549 + 0.02 ^a

หมายเหตุ: - * เป็นไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ใช้เป็นชุดควบคุมและต้นแบบ

- a, b, c, d เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมระหว่างไอศกรีมนมสูตรทางการค้าที่ใช้โปรตีนและไขมันนม กับสูตรที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม พบว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก มีค่าความหนืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากสูตร ไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ($p \leq 0.05$) ซึ่งหมายถึงปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ความเข้มข้นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนักจะให้ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้าหรือชุดควบคุม แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการขึ้นโฟมของไอศกรีมหลังการปั่น จะเห็นว่าไอศกรีมที่มีปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่

ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก ให้ค่าอัตราการขึ้นโคมสูงสุดและมีค่าไม่แตกต่างจากไอศกรีมนมสูตรทางการค้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้อัตราการขึ้นโคมของไอศกรีมจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ใช้ในสูตรลดลง แต่ที่ปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองที่ร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก มีค่าการขึ้นโคมของไอศกรีมต่ำกว่าที่ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าการขึ้นโคมของไอศกรีมระหว่างการปั่นแข็งน้อยลงนั้น เนื่องจากโปรตีนที่เพิ่มขึ้นนั้น ทำให้เกิดลักษณะ โครงสร้างตาข่ายของโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3.1) ส่งผลให้ความสามารถในการแทรกตัวเข้าสู่เนื้อไอศกรีมของอากาศระหว่างการตีปั่นลดลง จึงส่งผลให้ค่าการขึ้นโคมของไอศกรีมที่ได้ต่ำลง ส่วนไอศกรีมสูตรที่มีปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก มีค่าการขึ้นโคมของไอศกรีมต่ำกว่าที่ร้อยละ 6.0 นั้น อาจเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนที่ใช้มีน้อยลง ทำให้มีปริมาณโปรตีนที่จะฟอร์มตัวเป็นแผ่นฟิล์มล้อมรอบฟองอากาศลดลง จึงเก็บกักอากาศไว้ในโครงสร้างไอศกรีมได้น้อย

จากคุณสมบัติอัตราการละลายของไอศกรีมสูตรต่างๆ (ตารางที่ 3.1) พบว่า อัตราการละลายของไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะลดลงตามปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างตาข่ายของโปรตีนถั่วเหลืองในไอศกรีมแข็งแรงขึ้นและทำให้ไอศกรีมที่ได้มีความคงตัวต่อการละลายมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไอศกรีมที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองและโปรตีนนม จะเห็นว่าไอศกรีมที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองจะมีอัตราการหลอมละลายช้าหรือมีความคงตัวต่อการละลายสูงกว่าไอศกรีมจากโปรตีนนมอย่างชัดเจน อาจเนื่องมาจากโครงร่างตาข่ายของเจลที่เกิดจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ล้อมรอบฟองอากาศมีความแข็งแรงมากกว่าโปรตีนนม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rodríguez Niño และคณะ (2005) ที่พบว่าความหนาของโปรตีนฟิล์มที่ล้อมรอบฟองอากาศในชั้นโมโนเลเยอร์ (monolayer) ที่เกิดจากโปรตีนถั่วเหลืองมีความหนามากกว่าโปรตีนนม ส่งผลให้โคมหรืออิมัลชันที่มีโปรตีนถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบมีความคงตัวมากกว่า

เมื่อพิจารณาคูณลักษณะของไอศกรีมที่ได้ทั้ง 3 คุณลักษณะ (ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำก่อนปั่น ค่าอัตราการขึ้นโคม และค่าอัตราการละลายของไอศกรีมแช่แข็ง) จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ให้ไอศกรีมมีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้ามากที่สุดคือ ระดับความเข้มข้นร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงเลือกปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก เป็นจุดกึ่งกลางของแผนการทดลองแบบ CCD โดยให้ครอบคลุมปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในช่วง ร้อยละ 5.0 ถึง 7.0 โดยน้ำหนัก เพื่อทำการทดสอบหาสูตรที่เหมาะสมต่อไป

3.2 สูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันพืช

ในการทดสอบเพื่อหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณไขมันพืชที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีคุณลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้า ใช้แผนการทดลองแบบ CCD จำนวน 13 สิ่งทดลอง โดยแปรปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในช่วงร้อยละ 5.0 ถึง 7.0 โดยน้ำหนัก และแปรปริมาณไขมันพืชในช่วงร้อยละ 8.0-12.0 โดยน้ำหนัก ดังแสดงใน ตารางที่ 4.2 ซึ่งให้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก และปริมาณไขมันพืชที่ร้อยละ 10.0 โดยน้ำหนักเป็นจุดกึ่งกลาง (center point) ในการทดสอบ

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณ โปรตีนและปริมาณ ไขมันที่ใช้ในแต่ละสูตรตามแผนการทดลองแบบ Central composite design (CCD) ขนาด 13 สิ่งทดลอง

Formulation Number	Experimental and code value			
	SPI (% w/w)	Code	Vegetable oils (%w/w)	Code
Tr1	5	-1	8	-1
Tr2	7	1	8	-1
Tr3	5	-1	12	1
Tr4	7	1	12	1
Tr5	4.586	-1.414	10	0
Tr6	7.414	1.414	10	0
Tr7	6	0	7.172	-1.414
Tr8	6	0	12.830	1.414
Tr9	6	0	10	0
Tr10	6	0	10	0
Tr11	6	0	10	0
Tr12	6	0	10	0
Tr13	6	0	10	0

หมายเหตุ: ในการทดสอบแปรชนิดไขมันพืช 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม (PO) และมาร์گارีน (HF)

สำหรับการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม จะใช้คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมนมสูตรทางการค้า (ตารางที่ 3.3) ที่ได้จากการทดสอบเป็นค่าดัชนีแบบหรือคุณลักษณะที่ต้องการในการเปรียบเทียบเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมของไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม (SPO ice cream) และ ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์گارีน (SHF ice cream)

ตารางที่ 3.3 คุณลักษณะทางกายภาพที่ดีของไอศกรีมนมสูตรทางการค้า

คุณลักษณะทางกายภาพ	
ค่าอัตราการขึ้น โฟม (%Overrun)	41.23 ± 3.04
ค่าอัตราการละลาย (Melting rate); g/min	0.43 ± 0.02
ค่าความหนืดของ mixes ก่อนปั๊ม (cp)	328.89 ± 58.58
ขนาดเม็ดไขมันของ mixes ก่อนปั๊ม: d _{3,2} (µm)	1.62 ± 0.14
ค่าสี (value)	
L	93.68 ± 0.22
a	-3.97 ± 0.38
b	16.66 ± 0.17

3.2.1 ผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มต่อคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SPO

ตารางที่ 3.4 แสดงถึงผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มต่อคุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม SPO ที่ได้ ซึ่งได้แก่ขนาดเม็ดไขมันและความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนปั๊ม และค่าอัตราการขึ้น โฟม อัตราการละลาย และค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม (L a b) จากนั้นนำค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์จำแนกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าการตอบสนองดังแสดงในตารางที่ 3.5 และทำการตัดบางปัจจัยที่ไม่มีความสำคัญต่อการทำนายค่าการตอบสนองออกทีละปัจจัย (stepwise deletion) เพื่อให้ได้สมการแบบจำลองที่เหมาะสมต่อไปใช้ทำนายผลลัพธ์ (อิสรพงษ์ พงษ์ศิริกุล, 2544) จากนั้นจึงสร้างสมการความสัมพันธ์ตามแบบจำลองแบบพหุนามอันดับสอง และประมาณค่าความแม่นยำของการนำสมการไปทำนายผลลัพธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R²) ซึ่งโดยทั่วไปสมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจอย่างน้อย 0.75 (อิสรพงษ์ พงษ์ศิริกุล, 2544) และพิจารณาระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการพหุนามอันดับสองของค่าการตอบสนองต่างๆ (ตารางที่ 3.6) หลังจากการวิเคราะห์

เมื่อนำผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มต่อค่าการตอบสนองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ทั้งในพจน์ของตัวแปรอันดับหนึ่ง (linear) ตัวแปรอันดับสอง (quadratic) และอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองตัวแปร (interaction) ดังแสดงในตารางที่ 3.5 พบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มมีอิทธิพลต่อขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนปั๊ม) ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนปั๊ม) และอัตราการละลาย

ของไอศกรีมมาก เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่ามากกว่า 0.75 ส่วนค่าการตอบสนองอื่นๆ อันได้แก่ อัตราการขึ้นโฟม และค่าสีของไอศกรีม มีอิทธิพลจากปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มน้อย ($R^2 < 0.75$) เมื่อพิจารณาจากค่า Sum of square จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนยังพบว่าทั้งสองค่าการตอบสนอง (อัตราการขึ้นโฟม และค่าสี) ของไอศกรีม ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นสมการความสัมพันธ์ที่ได้ของค่าการตอบสนองทั้งสามนี้ จึงไม่สามารถใช้เป็นสมการแบบจำลองในการทำนายค่าการตอบสนองที่ถูกต้องได้

แต่เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์รีเกรสชันตามสมการแบบจำลองพหุคูณ โนเมียลอันดับสอง (ตารางที่ 3.6) ของค่าการตอบสนองแต่ละคุณลักษณะ พบว่าสมการแบบจำลองความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) และอัตราการละลายของไอศกรีม ไม่มีพจน์ของปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อค่าการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ยกเว้นสมการแบบจำลองของขนาดเม็ดไขมัน อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของขนาดเม็ดไขมัน (ตารางที่ 3.6) ชัดแย้งกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 3.5) ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมพบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณน้ำมันปาล์ม ทั้งในพจน์ของตัวแปรอันดับหนึ่ง อันดับสอง และอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองตัวแปรมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ต่อขนาดเม็ดไขมัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของแบบจำลองนี้ แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.10$) ต่อค่าขนาดเม็ดไขมัน ได้แก่ ปริมาณน้ำมันปาล์มในพจน์ตัวแปรอันดับสอง และพจน์อิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองตัวแปรเท่านั้น จะเห็นว่าค่าที่ได้มีความขัดแย้งกัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์และคำนวณผลใหม่ด้วยเทคนิค Stepwise regression เพื่อให้ได้สมการแบบจำลองที่มีความแม่นยำในการทำนายค่าการตอบสนองมากขึ้น (ตารางที่ 3.7)

จากสมการแบบจำลอง Y_1 ในตารางที่ 3.7 จะเห็นว่าพจน์ตัวแปรอันดับสองของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (β^2_1) มีอิทธิพลเชิงบวก พจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งของปริมาณน้ำมันปาล์ม (β_2) มีอิทธิพลเชิงลบ ส่วนพจน์ตัวแปรอันดับสองของปริมาณน้ำมันปาล์ม (β^2_2) มีอิทธิพลเชิงบวก และพจน์อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม (β_{12}) มีอิทธิพลเชิงลบต่อขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำ (ก่อนบ่ม) และจากสมการแบบจำลองค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำ (Y_2) พบว่าพจน์ที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนืด ได้แก่ พจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งและสองของปริมาณน้ำมันปาล์ม (β_2 และ β^2_2) ซึ่งมีอิทธิพลในเชิงลบและบวกตามลำดับ ส่วนพจน์อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม (β_{12}) มีอิทธิพลในเชิงบวก

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม SPO

ตัวอย่าง	ตัวแปรอิสระ		ค่าการตอบสนอง				
	SPI (%w/w)	PO (%w/w)	ความหนืด (cp)	ขนาดเม็ดไขมัน d _{3,2} (µm)	Overrun (%)	อัตราการละลาย (g/min)	ค่าสีของไอศกรีม L a b
Tr1	5	8	177.22±0.96 ^h	1.59±0.02 ^{ef}	23.96±2.87 ^f	1.78±0.01 ^b	83.93±0.96 ⁱ -0.33±0.08 ^{fg} 10.78±0.68 ^{de}
Tr2	7	8	420.00±19.22 ^c	1.65±0.03 ^c	28.52±0.38 ^{cd}	1.99±0.01 ^a	86.55±0.73 ^{fg} -0.18±0.04 ^c 11.82±0.45 ^{ab}
Tr3	5	12	242.26±6.35 ^{fg}	1.83±0.01 ^b	25.42±2.73 ^{ef}	0.73±0.05 ^h	88.17±0.77 ^c -0.31±0.03 ^f 10.30±0.24 ^f
Tr4	7	12	808.33±54.82 ^b	1.64±0.01 ^{cd}	32.21±1.53 ^{ab}	1.13±0.10 ^g	87.10±0.97 ^{def} 0.09±0.08 ^a 11.83±0.68 ^{ab}
Tr5	4.586	10	145.55±3.85 ^h	1.65±0.02 ^c	29.62±0.56 ^{bcd}	0.80±0.02 ^h	86.96±0.43 ^{ef} -0.39±0.07 ^g 9.75±0.23 ^g
Tr6	7.414	10	746.11±18.36 ^b	1.66±0.01 ^c	33.83±0.95 ^a	1.59±0.01 ^{cd}	90.91±0.72 ^a -0.28±0.06 ^f 9.79±0.36 ^g
Tr7	6	7.172	316.67±24.55 ^f	1.63±0.03 ^{cde}	30.64±1.82 ^{bc}	1.62±0.02 ^c	87.34±0.51 ^{de} 0.06±0.10 ^b 10.75±0.21 ^{de}
Tr8	6	12.83	1282.78±9.76 ^a	1.94±0.07 ^a	27.13±0.42 ^{de}	0.81±0.17 ^h	84.89±0.59 ^h 0.07±0.03 ^b 12.16±0.37 ^a
Tr9	6	10	530.56±17.66 ^{cd}	1.66±0.01 ^c	29.43±1.10 ^{bcd}	1.34±0.04 ^{ef}	85.90±0.34 ^g 0.15±0.03 ^a 11.93±0.38 ^{ab}
Tr10	6	10	438.33±6.01 ^e	1.60±0.02 ^{def}	29.82±0.92 ^{bcd}	1.58±0.03 ^{cd}	87.10±1.10 ^{def} -0.11±0.07 ^{de} 11.11±0.53 ^{cd}
Tr11	6	10	544.44±20.02 ^c	1.58±0.00 ^f	28.66±1.11 ^{cd}	1.45±0.03 ^{de}	86.56±0.80 ^{fg} -0.18±0.19 ^c 11.89±0.50 ^{ab}
Tr12	6	10	436.11±34.00 ^e	1.54±0.00 ^g	30.25±1.84 ^{bc}	1.22±0.05 ^{fg}	87.80±0.72 ^{cd} -0.05±0.08 ^{cd} 11.53±0.38 ^{bc}
Tr13	6	10	462.22±15.48 ^{de}	1.60±0.01 ^{ef}	31.39±0.46 ^{abc}	1.42±0.19 ^c	89.98±0.76 ^b 0.01±0.06 ^{bc} 10.62±0.53 ^{ef}

หมายเหตุ: - a, b, c, d, e, f, g, h, i เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึง

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≤ 0.05)

- SPO คือ ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนตัวแปรอิสระในพจน์ของ linear quadratic และ interaction ต่อค่าการตอบสนองของไอศกรีม SPO

Source	Df	Fat droplet size	Mix viscosity	% Overrun	Sum of square			
					Melting rate	L	Color	
Regression	5	0.1225***	912690**	49.7847	1.5776***	18.6700	0.2703*	5.5660
Linear	2	0.0575***	757552***	37.4340	1.5400***	6.2610	0.0128	0.1503
Square	2	0.0494**	129009	11.1075	0.0286	9.0050	0.2519**	5.1452**
Interaction	1	0.0156**	26129	1.2432	0.0090	3.4040	0.0056	0.2704
Residual error	7	0.0192	203978	35.9570	0.2585	22.7201	0.1085	3.4239
Lack-of-fit	3	0.0117	64439***	31.8500**	0.1872	19.6215	0.0887	3.3183**
Pure error	4	0.0075	10660	4.1070	0.0713	3.0986	0.0199	0.1056
Total	12	0.1417	1116668	85.7418	1.8361	41.3902	0.3788	8.9899
R ²		0.8647	0.8173	0.5306	0.8592	0.4511	0.7135	0.6191

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$, 0.05 และ 0.10 ตามลำดับ

- SPO: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสัณฐานในสมการพหุนามเมื่อยล้นต้นตอของค่าการตอบสนองของไอศกรีม SPO

Independent variables	Regression coefficient (β)						
	Fat droplet size	Mix viscosity	% Overrun	Melting rate	L	a	b
Constant	2.167	619.886	11.021	0.467	47.327	-7.701**	-28.090
X ₁	0.072	655.198	-3.180	0.613	-0.351	2.463*	11.689**
X ₂	-0.190	-658.729	4.376	-0.119	7.635	0.038	0.837
X ₁ ²	0.019	-71.002	0.213	-0.053	0.486	-0.186***	-0.854**
X ₂ ²	0.021***	26.499	-0.302	-0.011	-0.239	0.003	-0.003
X ₁ X ₂	-0.031**	40.411	0.279	0.012	-0.461	-0.019	-0.130

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01, 0.05$ และ 0.10 ตามลำดับ

- SPO: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันในสมการพหุนามสี่ในเมื่อดำเนินขั้นตอนของการทดสอบของไอศกรีม SPO หลังผ่านการวิเคราะห์แบบ Stepwise regression

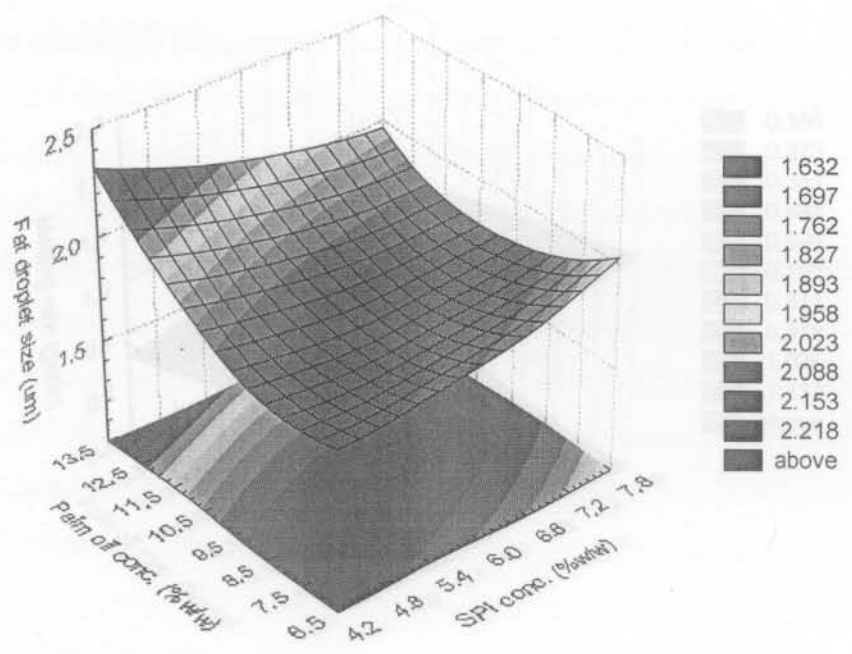
Independent variables	Regression coefficient (β)							
	Fat droplet size (Y ₁)	Mix viscosity (Y ₂)	% Overrun (Y ₃)	Melting rate (Y ₄)	L (Y ₆)	a (Y ₇)	b (Y ₈)	Color
Constant	2.444***	2381.306*	11.021	0.442**	47.327	-7.701**	-28.090	
X ₁	-	-	-3.180	0.130***	-0.351	2.463*	11.689**	
X ₂	-0.203*	-632.695**	4.376	-	7.635	0.038	0.837	
X ₁ ²	0.023**	-	0.213	-	0.486	-0.186***	-0.854**	
X ₂ ²	0.021***	30.87*	-0.302	-0.0051***	-0.239	0.003	-0.003	
X ₁ X ₂	-0.030**	21.115***	0.279	-	-0.461	-0.019	-0.130	
R ²	0.86	0.78	0.53	0.89	0.45	0.71	0.62	
Model significance	0.002	0.003	0.206	0.000	0.417	0.067	0.157	

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01, 0.05$ และ 0.10 ตามลำดับ

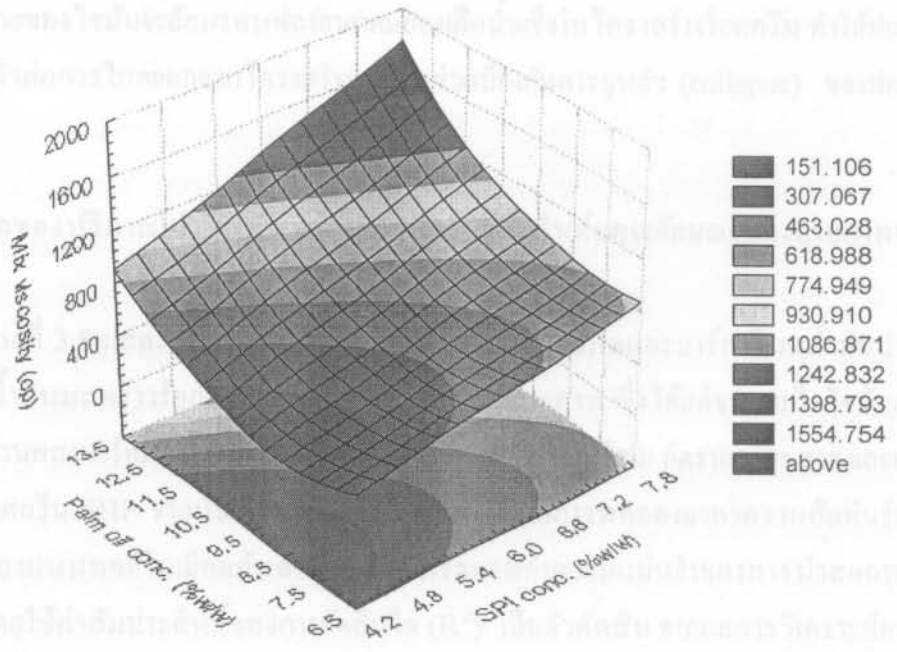
- SPO: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์ม

เมื่อนำสมการแบบจำลองของขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Y_1) และแบบจำลองค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Y_2) มาสร้างโครงร่างพื้นที่การตอบสนอง ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และภาพที่ 3.2 จะเห็นว่าทั้งขนาดเม็ดไขมันและค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าทั้งสองจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีผลต่อความสามารถในการลดขนาดเม็ดไขมันในระหว่างกระบวนการโฮโมจีไนซ์ นั่นคือ ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีความหนืดสูงทำให้ความสามารถในการลดขนาดเม็ดไขมันลดลง เม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมจึงมีโอกาสในการถูกลดขนาดน้อยลง นอกจากนี้ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มขึ้นด้วย (Renkenma and van Viet, 2004) ทำให้โครงร่างตาข่ายของเจลโปรตีนถั่วเหลืองในโครงสร้างไอศกรีมเพิ่มมากขึ้น (Renkenma and van Viet, 2004; Renkenma, 2001) เป็นผลให้แรงต้านการไหลเพิ่มขึ้น

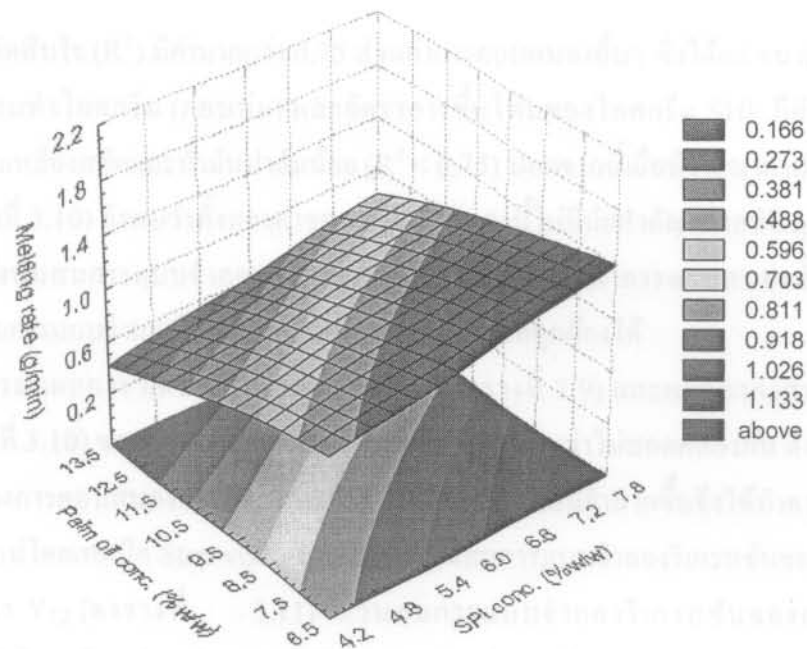
สำหรับอัตราการละลายของไอศกรีม SPO (สมการแบบจำลอง Y_4) พบว่าพจน์ตัวแปรที่มีอิทธิพลมีเพียงสองพจน์ คือ พจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (β_1) และ พจน์ตัวแปรอันดับสองของปริมาณน้ำมันปาล์ม (β_2^2) ซึ่งมีอิทธิพลเชิงบวกและลบตามลำดับ เมื่อพิจารณาโครงร่างพื้นที่การตอบสนองอัตราการละลายของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม (ภาพที่ 3.3) พบว่า อัตราการละลายของไอศกรีมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะ การละลายของไอศกรีม SPO นั้นไม่ได้ละลายในลักษณะของหยดเช่นเดียวกับไอศกรีมนม แต่การละลายเป็นลักษณะของก้อนเจลโปรตีนที่รวมตัวกันและไหลผ่านตะแกรงสแตนเลส จึงทำให้อัตราการละลายของไอศกรีมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันปาล์ม อัตราการละลายของไอศกรีมกลับลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณโครงร่างตาข่ายของน้ำมันปาล์ม (fat network) ที่เกิดจากระบวนการเสียความคงตัว (destabilized) ของเม็ดไขมันในโครงสร้างของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทำให้การจับกับเป็นกลุ่มก้อนบางส่วน (partially-coalesced) เกิดมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการคงรูปของโครงสร้างไอศกรีมยังคงอยู่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น (Marshall et al., 2003; Koxholt et al., 2001; Muse and Hartel, 2004) โดยโครงร่างตาข่ายของน้ำมันปาล์มนั้นจะช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในโครงสร้างทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำแข็งละลายได้ช้าลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Marshall และคณะ (2003) และการศึกษาของ Koxholt และคณะ (2001) ซึ่งพบว่า โครงสร้างไอศกรีมที่มีปริมาณโครงร่างตาข่ายของไขมันมาก ส่งผลให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายลดลง



ภาพที่ 3.1 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของขนาดเม็ดไขมัน (ก่อนบ่ม) สำหรับไอศกรีม SPO



ภาพที่ 3.2 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำ (ก่อนบ่ม) ไอศกรีม SPO



ภาพที่ 3.3 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของอัตราการละลาย สำหรับไอศกรีม SPO

โดยโครงร่างตาข่ายของไขมันจะล้อมรอบฟองอากาศและผลึกน้ำแข็งใน โครงสร้างไอศกรีม ทำให้ฟองอากาศมีความคงตัวต่อการไหลออกจาก โครงสร้างและยังช่วยป้องกันการยุบตัว (collapse) ของฟองอากาศด้วย

3.2.2 ผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนต่อคุณลักษณะทางกายภาพของ ไอศกรีม SHF

จากตารางที่ 3.8 แสดงถึงผลของปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีน (น้ำมันปาล์ม ร้อยละ 55 และน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 27) ต่อคุณลักษณะทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ขนาดเม็ดไขมันและความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม และค่าอัตรากรขึ้น โฟม อัตราการละลาย และค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SHF จากนั้นนำค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดลองมาหาความสัมพันธ์ตาม สมการแบบจำลองแบบพอลิโนเมียลอันดับสอง และประมาณค่าความแม่นยำของการนำเสนอการไป ทำนายผลลัพธ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) เป็นตัวตัดสิน จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 3.9) พบว่าปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนมีอิทธิพลต่อความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) อัตราการละลาย และค่าสี (L a b) ของไอศกรีม เนื่องจากค่า

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่ามากกว่า 0.75 ส่วนค่าการตอบสนองอื่นๆ ซึ่งได้แก่ ขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) และอัตราการขึ้นโฟมของไอศกรีม SHF มีอิทธิพลจากปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มน้อย ($R^2 < 0.75$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (ตารางที่ 3.10) ยังพบว่าทั้งสองค่าของการตอบสนองนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ในทุกๆ พจน์ ดังนั้นสมการแบบจำลองความความสัมพันธ์ที่ได้ของค่าการตอบสนองทั้งสองนี้ไม่สามารถใช้เป็นสมการแบบจำลองในการทำนายค่าการตอบสนองที่ถูกต้องได้

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 3.9) และผลของค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (ตารางที่ 3.10) ของอัตราการละลายของไอศกรีม SHF พบว่าไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นเพื่อให้สมการแบบจำลองการตอบสนองของอัตราการละลายที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ผลและคำนวณใหม่โดยเทคนิค Stepwise regression ได้สมการแบบจำลองรีเกรสชันของอัตราการละลายดังสมการ Y_{12} (ตารางที่ 3.11) ส่วนสมการแบบจำลองรีเกรสชันของความหนืดส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) และค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SHF (สมการ Y_{10} Y_{14} Y_{15} และ Y_{16} ตามลำดับ) ได้มาจากการแทนค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (ตารางที่ 3.10) ลงในแบบจำลองแบบพอลิโนเมียลอันดับสอง เพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการทำนายผลลัพธ์ของค่าการตอบสนอง และหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การ์รินที่เหมาะสมต่อการผลิตไอศกรีม SHF ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้า (สูตรควบคุม)

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การ์รินต่อความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่ม (สมการ Y_{10}) พบว่าพจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งของทั้งสองตัวแปร (ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณมาร์การ์ริน: β_1 และ β_2) มีอิทธิพลเชิงลบ ส่วนพจน์ตัวแปรอันดับสองของทั้งสองตัวแปร (β_1^2 และ β_2^2) และพจน์อิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองตัวแปร (β_{12}) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อค่าความหนืด ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนจากโครงร่างพื้นที่การตอบสนองของความหนืดดังภาพที่ 3.4 โดยค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก่อนบ่มเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การ์รินที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับแนวโน้มค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่มของไอศกรีม SPO (ภาพที่ 3.2) แต่เมื่อพิจารณาอัตราการละลาย (สมการ Y_{12}) พบว่าพจน์ที่มีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีม SHF คือ พจน์ตัวแปรอันดับสองและอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรของทั้งปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การ์ริน (β_1^2 β_2^2 และ β_{12}) และจากโครงร่างพื้นที่การตอบสนองของอัตราการละลาย (ภาพที่ 3.5) จะเห็นว่าเมื่อระดับปริมาณมาร์การ์รินสูงกว่าร้อยละ 10.5 โดยน้ำหนักค่าอัตราการละลายของไอศกรีมมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยและคงที่ที่ 0.261 กรัมต่อนาที เมื่อปริมาณ

โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ระดับปริมาณมาร์การีนสูงๆ โอกาสของการเกิด โครงร่างตาข่ายของไขมันในโครงสร้างไอศกรีมมีมากขึ้น จึงส่งผลให้โครงสร้างของไอศกรีมมีความคงตัวมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามที่ระดับปริมาณมาร์การีนน้อยกว่า ร้อยละ 8.5 โดยน้ำหนัก ค่าอัตราการละลายของไอศกรีม SHF จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก โครงร่างตาข่ายของเม็ดไขมันในโครงสร้างไอศกรีมน้อยลงในขณะที่โครงสร้างตาข่ายของโปรตีนถั่วเหลืองมีมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนจนกันความร้อนที่เกิดจาก โครงร่างตาข่ายของไขมันไม่สามารถต้านละลายของผลึกน้ำแข็งในโครงสร้างไอศกรีมได้ จึงเกิดการยุบตัวของไอศกรีมส่งผลให้อัตราการละลายของไอศกรีมเพิ่มขึ้น

สำหรับสมการแบบจำลองค่าสีของไอศกรีม SHF ทั้งค่า L , a และ b จะเห็นว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่สูงมากคือ 0.89 0.98 และ 0.94 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสมการแบบจำลองของค่า L (สมการ Y_{14}) พบว่าพจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งของทั้งปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณมาร์การีน (β_1 และ β_2) มีอิทธิพลเชิงบวก ส่วนพจน์ตัวแปรอันดับสอง และพจน์อิทธิพลร่วมของทั้งปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณมาร์การีน (β^2_1 , β^2_2 และ β_{12}) มีอิทธิพลเชิงลบ แต่สำหรับค่า b (สมการ Y_{15}) จะเห็นว่าพจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีน (β_1 และ β_2) มีอิทธิพลเชิงบวก และพจน์ตัวแปรอันดับสองของปริมาณโปรตีนและมาร์การีน (β^2_1 และ β^2_2) มีอิทธิพลเชิงลบ ส่วนค่า a (สมการ Y_{16}) พจน์ตัวแปรอันดับหนึ่งและพจน์อิทธิพลร่วมของทั้งปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณมาร์การีน (β_1 , β_2 และ β_{12}) มีอิทธิพลเชิงลบ ส่วนพจน์ตัวแปรอันดับสองของทั้งปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและปริมาณมาร์การีน (β^2_1 , β^2_2) มีอิทธิพลเชิงบวก เมื่อพิจารณาโครงร่างพื้นที่การตอบสนองของค่า L , a , b ดังแสดงในภาพที่ 3.6 ก ข และ ค จะเห็นว่าที่ระดับร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และที่ระดับร้อยละ 10.0 โดยน้ำหนักของมาร์การีน เป็นจุดที่ทำให้ค่า L และ a สูงสุด และทำให้ค่า b ต่ำสุด นั่นหมายความว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและเนยเทียมมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SHF มาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของสีจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีน

ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม SHF

ตัวอย่าง	ตัวแปรอิสระ	ค่าการทดสอบของ							
		SPI (%w/w)	PO (%w/w)	ความหนืด (cp)	ขนาดเม็ดไขมัน d_{32} (μm)	Overrun (%)	อัตราการละลาย (g/min)	ค่าดีของไอศกรีม	
							L	a	b
MTr1	5	8	339.45±7.52 ^g	1.48±0.00 ^h	40.31±0.85 ^{cd}	0.45±0.04 ^c	89.48±0.77 ^{cd}	-5.74±0.05 ^d	18.97±0.51 ^e
MTr2	7	8	1200.44±20.55 ^d	1.56±0.01 ^g	40.00±0.49 ^d	1.48±0.12 ^b	88.30±0.80 ^e	-5.39±0.08 ^e	20.15±0.91 ^d
MTr3	5	12	1115.56±179.62 ^d	2.57±0.02 ^e	42.45±0.68 ^{ab}	0.15±0.01 ^{ef}	90.52±0.79 ^{ab}	-6.40±0.11 ^f	24.68±0.24 ^c
MTr4	7	12	2997.78±247.14 ^a	5.06±0.00 ^b	34.75±0.58 ^f	0.00±0.00 ^g	87.37±1.11 ^f	-6.00±0.24 ^e	23.14±0.40 ^a
MTr5	4.586	10	669.44±26.48 ^{ef}	1.65±0.02 ^g	32.71±0.44 ^g	0.29±0.00 ^{de}	90.69±1.10 ^{ab}	-6.98±0.09 ^h	19.48±1.19 ^d
MTr6	7.414	10	2722.22±73.13 ^b	3.41±0.01 ^d	33.28±0.53 ^{fg}	1.64±0.28 ^a	87.95±1.52 ^{ef}	-6.35±0.07 ^f	21.93±0.49 ^b
MTr7	6	7.172	500.56±9.18 ^g	1.64±0.02 ^g	41.60±0.27 ^{bc}	1.78±0.03 ^a	89.60±0.66 ^{cd}	-6.47±0.11 ^f	20.06±0.01 ^d
MTr8	6	12.83	2128.89±100.30 ^f	4.88±0.03 ^b	40.53±0.46 ^{cd}	0.08±0.01 ^{fg}	89.24±0.58 ^d	-6.85±0.13 ^g	22.68±0.25 ^a
MTr9	6	10	1120.00±30.87 ^d	5.60±0.51 ^a	34.55±1.31 ^f	0.22±0.04 ^{def}	90.16±0.88 ^{bc}	-1.90±0.08 ^{ab}	16.34±0.31 ^f
MTr10	6	10	1007.78±21.69 ^d	3.50±0.02 ^d	34.48±0.42 ^f	0.23±0.04 ^{def}	90.17±0.42 ^{bc}	-1.81±0.06 ^a	16.07±0.43 ^{fg}
MTr11	6	10	1121.11±179.89 ^d	3.89±0.02 ^c	41.18±1.34 ^{bcd}	0.22±0.01 ^{def}	91.19±0.48 ^a	-1.85±0.06 ^{ab}	15.65±0.40 ^{gh}
MTr12	6	10	1079.44±204.11 ^d	1.74±0.03 ^g	38.18±0.34 ^c	0.35±0.00 ^{cd}	90.13±0.47 ^{bc}	-1.90±0.06 ^{ab}	16.50±0.53 ^f
MTr13	6	10	795.56±25.07 ^e	2.32±0.02 ^f	43.78±1.50 ^a	0.25±0.04 ^{de}	91.29±0.35 ^a	-1.99±0.32 ^b	15.33±0.31 ^h

หมายเหตุ: - a, b, c, d, e, f, g, h เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงความแตกต่างค่าเฉลี่ยตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- SHF: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์جرينจาก 55% น้ำมันปาล์มและ 27% น้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ (ANOVA) ของตัวแปรอิสระในพจน์ของ linear quadratic และ interaction ต่อค่าการตอบสนองของ ไอศกรีม SHF

Source	Df	Fat droplet size	Mix viscosity	Overrun %	Melting rate	Color	Sum of square	
							L	b
Regression	5	16.9165	6957301***	88.1005	4.2180***	15.8342***	59.8378***	112.7360***
Linear	2	13.7150**	726125***	9.1601	3.1607***	8.4351***	0.7450	20.4422***
Square	2	1.7495	260728***	65.2873	0.7092*	6.4288***	59.0922***	90.4442***
Interaction	1	1.4520	7944153***	13.6530	.3481*	0.9702*	0.0006	1.8496
Residual error	7	9.1158	103473	87.9593	0.5591	1.9053	1.3087	6.8541
Lack-of-fit	3	0.1042	29308	21.0550	0.5470*	0.4825	1.2905***	5.9146**
Pure error	4	9.0116	74165	66.9043	0.0121	1.4229	0.0182	0.9395
Total	12	9.1158	8047326	176.0598	4.7771	17.7395	61.1465	119.5901
R ²		0.6498	0.9871	0.5004	0.8830	0.8926	0.9786	0.9427

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$, 0.05 และ 0.10 ตามลำดับ

- SHF: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและเนยเทียมจาก 55% น้ำมันปาล์ม และ 27% น้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 3.10 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการพหุนามขั้นสองของการตอบสนองของไอศกรีม SHF

Independent variables	Regression coefficient (β)							
	Fat droplet size (Y_1)	Mix viscosity (Y_2)	Overrun % (Y_3)	Melting rate (Y_4)	Color			b (Y_8)
					L (Y_6)	a (Y_7)	b	
Constant	-9.232	15704.000**	-37.907	6.656	37.883**	-135.312***	148.647***	
X_1	3.584	-4321.734***	33.933	-1.160	10.404***	26.456***	-26.672***	
X_2	-0.575	-1071.012***	-4.263	-0.532	4.939***	10.801***	-11.539***	
X_1^2	-0.497	312.586***	-2.133	0.247*	-0.747***	-2.193***	2.538***	
X_2^2	-0.033	30.494**	0.476	0.058*	-0.174***	-0.548***	0.718***	
$X_1 X_2$	-0.301	127.654***	-0.924	-0.148*	-0.246*	-2.193	-0.340	

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01, 0.05$ และ 0.10 ตามลำดับ

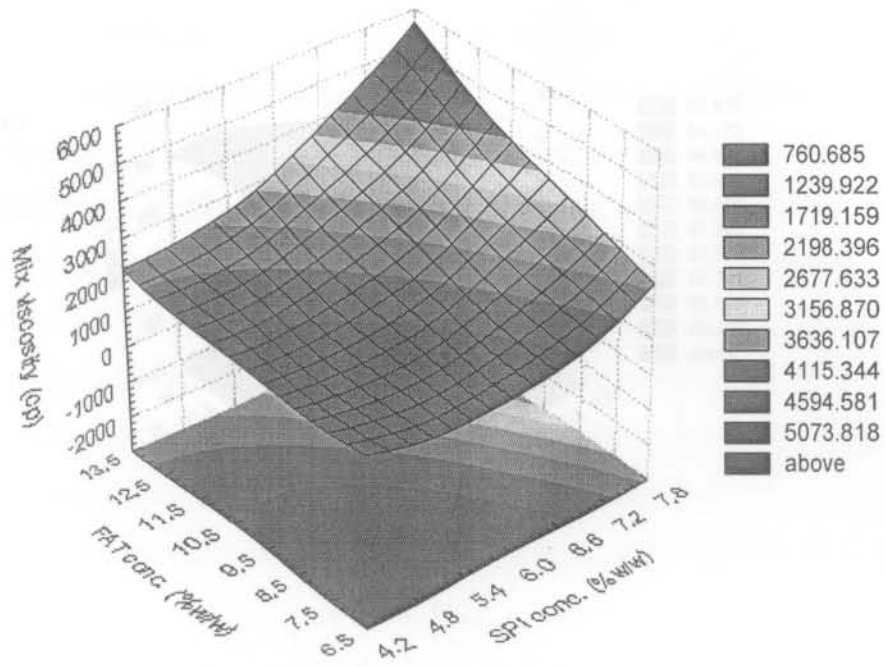
- SHF: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและเนยเทียมจาก 55% น้ำมันปาล์ม และ 27% น้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 3.11 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการพหุคูณแบบขั้นตอนที่สองของค่าการตอบสนองของไอศกรีม SHF หลังผ่านการวิเคราะห์แบบ Stepwise regression

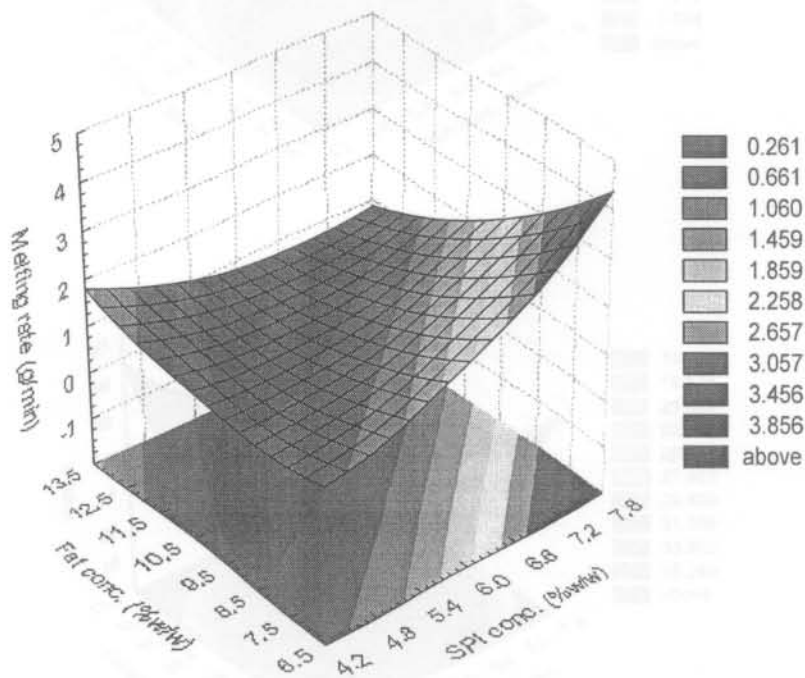
Independent variables	Regression coefficient (β)					
	Fat droplet size (Y ₉)	Mix viscosity (Y ₁₀)	Overrun % (Y ₁₁)	Melting rate (Y ₁₂)	L (Y ₁₄)	Color a (Y ₁₅) b (Y ₁₆)
Constant	-9.232	15704.00**	-37.907	0.564*	-135.31***	148.647*** 37.833**
X ₁	3.584	-4321.73***	33.933	-	26.456***	-26.672*** 10.404***
X ₂	-0.575	-1071.01***	-4.263	-	10.80***	-11.539*** 4.939***
X ₁ ²	-0.497	312.59***	-2.133	0.189***	-2.193***	2.538*** -0.747***
X ₂ ²	-0.033	30.49**	0.476	0.044**	-0.548***	0.718*** -0.174***
X ₁ X ₂	-0.301	127.65***	-0.924	0.191***	-2.193	-0.340 -0.266*
R ²	0.65	0.99	0.50	0.87	0.98	0.94 0.89
Model significance	0.123	0.000	0.330	0.000	0.000	0.000 0.003

หมายเหตุ: - ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01, 0.05$ และ 0.10 ตามลำดับ

- SHF: ไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและเนยเทียมจาก 55% น้ำมันปาล์ม และ 27% น้ำมันมะพร้าว

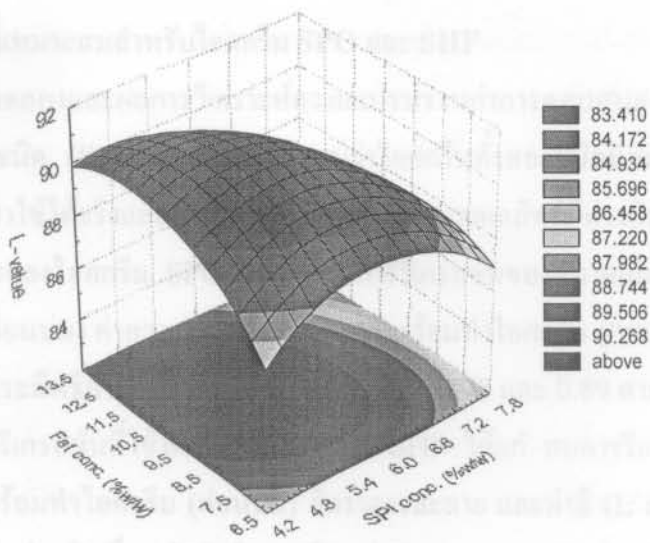


ภาพที่ 3.4 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของค่าความหนืดในส่วนผสมพร้อมทำก้อนบ่ม สำหรับไอศกรีม SHF

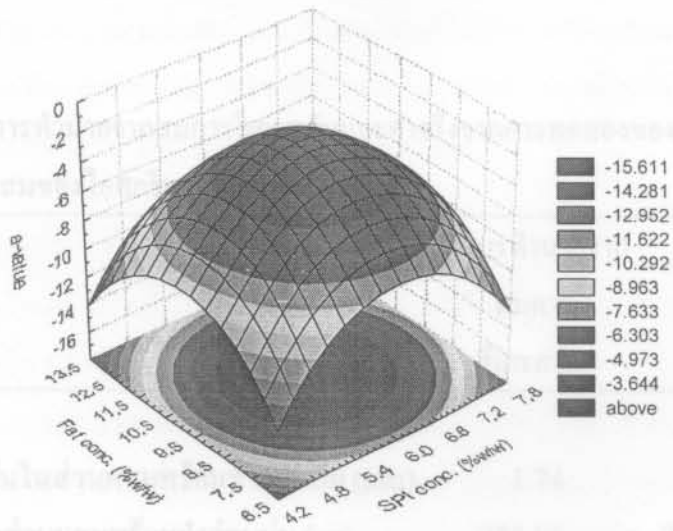


ภาพที่ 3.5 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของอัตราการละลาย สำหรับไอศกรีม SHF

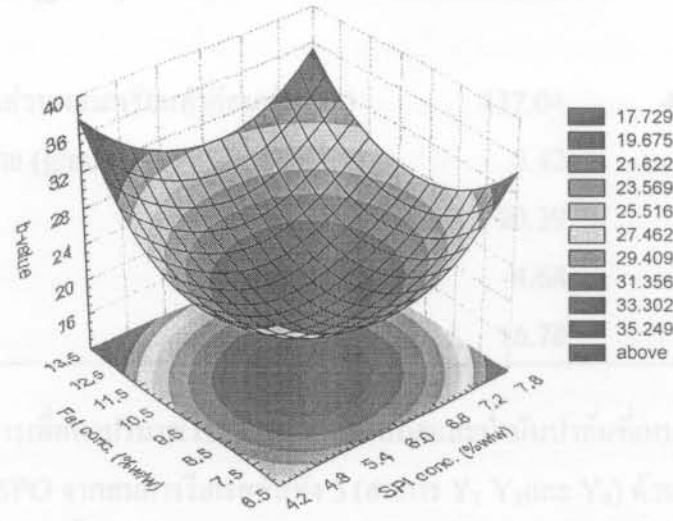
ก.)



ข.)



ค.)



ภาพที่ 3.6 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของค่า L (ก) a (ข) และ b (ค) สำหรับไอศกรีม SHF

3.2.3 สูตรที่เหมาะสมสำหรับไอศกรีม SPO และ SHF

จากผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการตอบสนองคุณลักษณะต่างๆ ของไอศกรีมทั้งสองชนิด (SPO และ SHF) พบว่าไอศกรีมทั้งสองชนิดมีสมการรีเกรสชันแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้ได้จริงและมีความแม่นยำต่อการทำนายผลลัพธ์ที่ต่างกัน คือ สมการรีเกรสชันที่เหมาะสมของไอศกรีม SPO ได้แก่ สมการรีเกรสชันของขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) ค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) และอัตราการละลาย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.86 0.78 และ 0.89 ตามลำดับ

ส่วนสมการรีเกรสชันที่ใช้ได้จริงของไอศกรีม SHF ได้แก่ สมการรีเกรสชันของค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ก่อนบ่ม) อัตราการละลาย และค่าสี (L a b) ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.99 0.87 0.89 0.98 และ 0.94 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.12 ค่าการทำนายจากสมการรีเกรสชันและค่าจริงจากการทดลองของค่าการตอบสนองต่างๆ ที่สูตรที่เหมาะสมของไอศกรีม SPO และ SHF

ค่าการตอบสนอง	ค่าการทำนายจาก สมการ รีเกรสชัน	ค่าจริงจาก การทดลอง ค่าเฉลี่ย \pm SD
ไอศกรีม SPO		
ขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม (μm)	1.74	1.54 \pm 0.02
ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม (cp)	285.96	270.00 \pm 9.28
อัตราการละลาย (g/min)	0.48	0.59 \pm 0.01
ไอศกรีม SHF		
ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม (cp)	437.04	460.56 \pm 7.58
อัตราการละลาย (g/min).	0.42	0.40 \pm 0.01
ค่าสี L	90.39	91.00 \pm 0.44
a	-4.68	-3.73 \pm 0.14
b	16.78	13.35 \pm 0.65

เมื่อแก้สมการเพื่อหาปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SPO จากสมการรีเกรสชันทั้ง 3 (สมการ Y_1 Y_2 และ Y_4) ด้วยการซ้อนภาพของ contour plots ที่ได้จากทั้ง 3 สมการ (contour plot overlapping) ซึ่งพบว่าปริมาณโปรตีนถั่ว

เหลืองสกัดที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 4.8 โดยน้ำหนัก และปริมาณน้ำมันปาล์มที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 11.0 โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การ์ลินที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SHF ซึ่งได้จากการแก้สมการรีเกรสชันทั้ง 5 (สมการ Y_{10} Y_{12} Y_{14} Y_{15} และ Y_{16}) พบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก และปริมาณมาร์การ์ลิน ที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 8.6 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสูตรที่เหมาะสมที่ทำให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทั้งสองชนิดมีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับ ไอศกรีมนมสูตรทางการค้ามากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากการทำนายจากสมการรีเกรสชันและค่าจริงจากการทดลอง (ตารางที่ 3.12) จะเห็นว่าค่าทั้งสองนี้ของคุณลักษณะทางกายภาพต่างๆของ ไอศกรีม SPO และ SHF ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ค่าคุณลักษณะที่ได้ทั้งสองค่า (ค่าจริงจากการทดลองและค่าจากการทำนายของสมการรีเกรสชัน) ยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าคุณลักษณะทางกายภาพของ ไอศกรีมนมสูตรควบคุม (ตารางที่ 3.3) นั้นหมายความว่าสมการแบบจำลองพอลิโนเมียลอันดับสองของแต่ละค่าการตอบสนองที่ใช้ในการทำนายค่าการตอบสนองต่างๆของ ไอศกรีมทั้งสองชนิดนั้นใช้งาน ได้จริงและมีความเหมาะสมต่อการนำมาทำนายเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมจริง

3.3 ผลการศึกษาโครงสร้างไอศกรีมในระดับจุลภาค

3.3.1 การศึกษาปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่มด้วยเทคนิค SDS-PAGE

จากการศึกษาผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (SPI) และปริมาณไขมัน (fat) ต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวเม็ดไขมันในโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้เทคนิคการหาพื้นที่การตอบสนอง (Response Surface Methodology) และแผนการทดลองแบบ CCD (Central Composite Design) จำนวน 13 สิ่งการทดลอง เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรที่ศึกษาตามแบบจำลองแบบโพลิโนเมียลอันดับสอง (สมการที่ 1 ในบทที่ 3) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรดังแสดงใน ตารางที่ 3.13 เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ มีค่าสูงเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ และค่า Lack of fit ของสมการทั้งสอง (SPO และ SHF) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั้นหมายความว่าแผนการทดลองที่ใช้ในการทดสอบมีความเหมาะสมหรือสามารถนำสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรได้ (Ünal, Metin and İşikli, 2003; Bourtoom, Chinan, Jantawat and Sanguandeeikul, 2006)

ตารางที่ 3.13 ค่าสัมประสิทธิ์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนทั้งหมดที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน (mg.m^{-2}) กับปริมาณ SPI (X_1) และปริมาณไขมัน (X_2) สำหรับส่วนผสมทำไอศกรีม SPO และ SHF

Independent variables	Regression coefficient (β)	
	SPO (Y_{17})	SHF (Y_{18})
Constant	11.989	21.337
X_1	-0.836	2.218
X_2	-1.853*	-6.233**
X_1^2	0.174	-0.376
X_2^2	0.129***	0.277
$X_1 X_2$	-0.095	0.282
R^2	0.813	0.887
Lack of fit (P-value)	0.497	0.117
Model significance (P-value)	0.017	0.003

หมายเหตุ: ***, **, * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01, 0.05$ และ 0.10 ตามลำดับ

จากข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 3.13) สามารถนำมาเขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

SPO ice cream mix:

$$\text{Protein surface coverage (mg.m}^{-2}\text{)} = 11.989 - 0.836(\text{SPI}) - 1.853(\text{PO}) + 0.174(\text{SPI})^2 + 0.129(\text{PO})^2 - 0.095(\text{SPI} \cdot \text{PO}); R^2 = 0.813 \quad (Y_{17})$$

SHF ice cream mix:

$$\text{Protein surface coverage (mg.m}^{-2}\text{)} = 21.337 + 2.218(\text{SPI}) - 6.233(\text{HF}) - 0.376(\text{SPI})^2 + 0.277(\text{HF})^2 + 0.282(\text{SPI} \cdot \text{PO}); R^2 = 0.887 \quad (Y_{18})$$

และเมื่อนำสมการแบบจำลองทั้งสองสมการ (Y_{17} และ Y_{18}) มาสร้างโครงร่างพื้นที่การตอบสนอง ดังแสดงในภาพที่ 3.7 และ 3.8 สำหรับส่วนผสมทำไอศกรีมถั่วเหลืองที่ได้จากน้ำมันปาล์ม (SPO) และมาร์การีน (SHF) ตามลำดับ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าพฤติกรรมของโปรตีนถั่วเหลือง สกัดที่ถูกดูดซับและล้อมรอบบริเวณผิวเม็ดไขมันทั้งสองชนิดนั้นมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันคือ ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวเม็ดไขมันจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและ

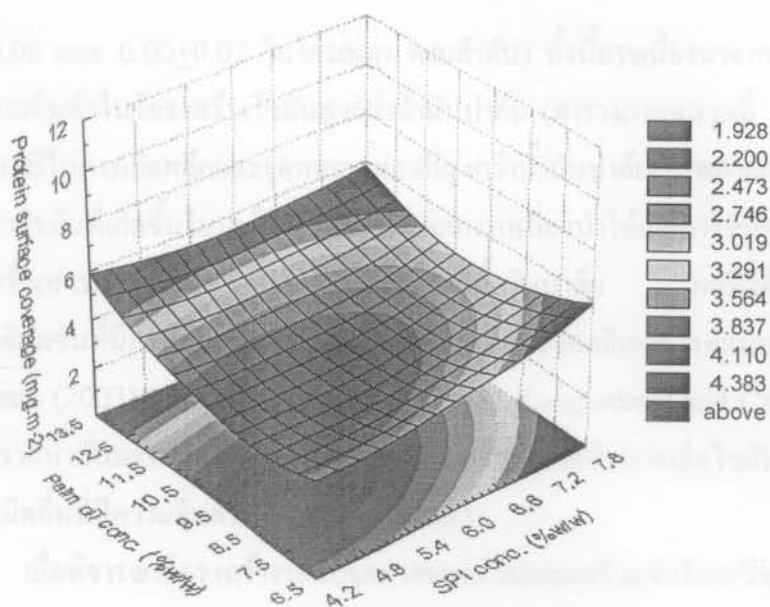
ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น แต่มาร์การีน (HF) จะมีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวเม็ดไขมันมากกว่าน้ำมันปาล์มอย่างมาก

อย่างไรก็ตามพฤติกรรมการดูดซับโปรตีนบนผิวเม็ดไขมันทั้งสองชนิดยังมีข้อแตกต่าง คือ ที่ระดับความเข้มข้นของไขมันสูงกว่าร้อยละ 10.5 โดยน้ำหนัก ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มขึ้นแทบจะไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันของน้ำมันปาล์มสำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO แต่ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF นั้นปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดกลับมีผลมากต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันของมาร์การีน โดยปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันของมาร์การีนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของมาร์การีนในช่วงร้อยละ 6.5-10.5 โดยน้ำหนัก ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดแทบไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน (รูปที่ 3.8) แต่กลับมีผลเล็กน้อยในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO นั้นหมายความว่าชนิดของไขมันมีผลต่อความสามารถในการดูดซับโปรตีนถั่วเหลืองบนผิวเม็ดไขมัน ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Granger, Barley, Combe, Veschambre and Cansell (2003) ซึ่งศึกษาผลของความอึดตัวและธรรมชาติของไขมันและอิมัลซิไฟเออร์ต่อพฤติกรรมทางเคมีกายภาพ (physicochemical behavior) ของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำที่มีโปรตีนนมเป็นส่วนประกอบ พบว่าในระบบอิมัลชันที่มีอิมัลซิไฟเออร์ผสมชนิดโมโน-/ได-กลีเซอไรด์แบบอึดตัว (saturated mono-/di-glycerides) เป็นส่วนประกอบ ส่งผลให้ระบบอิมัลชันที่มีไขมันที่มีความอึดตัวสูงมีปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันมากกว่าระบบอิมัลชันที่มีไขมันที่มีความอึดตัวต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากไขมันที่มีความอึดตัวในโครงสร้างสูงจะมีความเป็นไฮโดรโฟบิกสูง และในโครงสร้างของโปรตีนนมมีส่วนของไฮโดรโฟบิก จึงเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) ระหว่างโปรตีนนมและสายไฮโดรคาร์บอนของไขมันขึ้น (McClements, 2005) แต่สำหรับระบบอิมัลชันที่มีอิมัลซิไฟเออร์ผสมชนิดโมโน-/ได-กลีเซอไรด์แบบกึ่งอึดตัว (partially unsaturated mono-/di-glycerides) เป็นส่วนประกอบนั้น ชนิดหรือธรรมชาติของไขมันไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่เกาะบนผิวเม็ดไขมัน (Granger et al., 2003) แต่หลังการบ่มอิมัลชันไว้ที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันในระบบอิมัลชันที่มีอิมัลซิไฟเออร์ทั้งแบบอึดตัวและกึ่งอึดตัวลดลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและโปรตีน (protein-protein interaction) ทำให้เกิดการรวมตัวกันเองของโปรตีนนม (aggregation) ส่งผลให้เกิดการแทนที่ของโปรตีนนมด้วยอิมัลซิไฟเออร์ที่บริเวณผิวเม็ดไขมัน ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างเม็ดไขมันกับส่วนที่เป็นไขมันของอิมัลซิไฟเออร์ ที่มีความแรงของอันตรกิริยามากกว่าอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและไขมัน (Dagleish, 2004) แต่จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันของมาร์

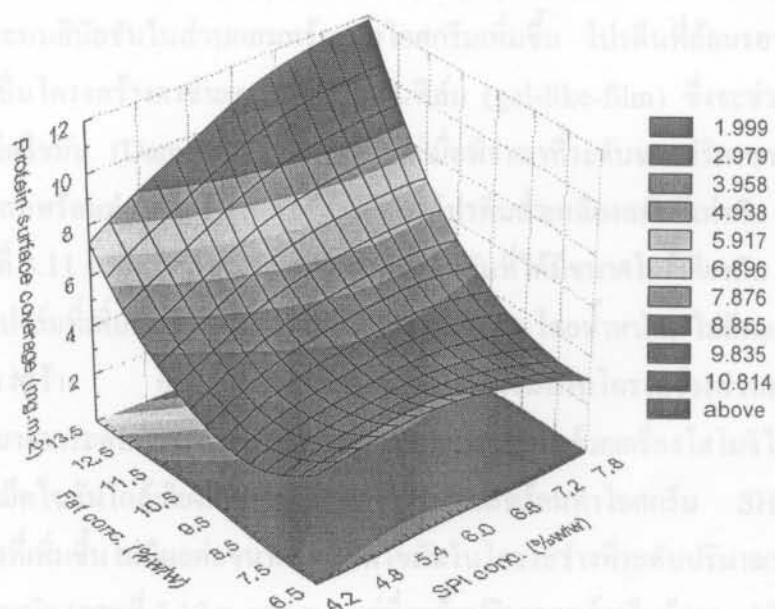
การีนมีมากกว่าปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดน้ำมันปาล์มที่ระดับความเข้มข้นของไขมันเท่ากันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ตารางภาคผนวกที่ 2 ในภาคผนวก ข) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความอึดตัวของมาร์การีนมีมากกว่าน้ำมันปาล์ม (พิจารณาชนิดกรดไขมันในมาร์การีนและน้ำมัน ในตารางภาคผนวกที่ 1) ส่งผลให้อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองกับมาร์การีนมีมากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองกับน้ำมันปาล์ม หรืออาจเป็นผลมาจากอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ Tween 80 หรือ polyoxyethylene (20 EO) sorbitan monooleate ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์แบบไฮโดรฟิลิก (HLB ประมาณ 11.5) ส่งผลให้มีความสามารถในการเข้าแทนที่โปรตีนถั่วเหลืองบนผิวเม็ดไขมันของน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าที่ผิวเม็ดไขมันของมาร์การีน อาจเนื่องมาจากความอึดตัวในโครงสร้างของน้ำมันปาล์มมีปริมาณน้อยกว่ามาร์การีน และอุณหภูมิในการเกิดผลึกไขมันต่ำกว่าอุณหภูมิในการบ่ม (ภาพภาคผนวกที่ 1) ดังนั้นในระหว่างกระบวนการบ่มส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ 4 องศาเซลเซียส จะทำให้เม็ดไขมันของน้ำมันปาล์มมีความเป็นผลึกน้อยกว่ามาร์การีน ทำให้ Tween 80 สามารถเข้าแทนที่บนพื้นผิวเม็ดน้ำมันปาล์มได้ดี เนื่องจากความเข้ากันได้ดีของส่วนไฮโดรโฟบิกของน้ำมันปาล์มและ Tween 80 ที่ยังไม่เกิดผลึก ก่อให้เกิดอิสระในการเคลื่อนที่เข้าเกาะที่ผิวเม็ดน้ำมันปาล์มได้ดี แต่สำหรับในกรณีของมาร์การีนนั้น ที่อุณหภูมิของการบ่มเม็ดไขมันจะเกิดผลึก ดังนั้น Tween 80 จึงเข้าไปแทนที่โปรตีนถั่วเหลืองสกัดไม่ได้

3.3.2 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

จากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด โดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (transmission electron microscopy: TEM) สำหรับไอศกรีม SPO และ SHF ตามลำดับได้ผลการศึกษาดังภาพที่ 3.9 และ 3.10 จะเห็นว่าโครงสร้างของส่วนผสมพร้อม ไอศกรีมประกอบด้วยเม็ดไขมัน กลุ่มก้อนของเม็ดไขมันที่เสียดชิดตัวบางส่วน (partially coalescence) และโปรตีนถั่วเหลืองที่กระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของซีรัม และที่ล้อมรอบเม็ดไขมันจากน้ำมันปาล์มหรือมาร์การีน ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้างไอศกรีมมีความคงตัว แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมถั่วเหลืองจากน้ำมันปาล์มและมาร์การีนที่ระดับปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันเท่ากัน (ภาพที่ 3.9 จ และ 3.10 จ.) จะเห็นว่าลักษณะเม็ดไขมันมีโครงสร้างแตกต่างกัน คือ เม็ดไขมันของน้ำมันปาล์มจะมีลักษณะกลมและคงรูปอยู่แต่มีขนาดโดยรวมเล็กกว่าเม็ดไขมันจากมาร์การีนซึ่งรูปร่างทรงกลมเปลี่ยนไป (ซึ่งผลที่สอดคล้องกับการหาขนาดเม็ดไขมันด้วยวิธีการตรวจด้วย Laser light scattering ($d_{3,2}$) คือขนาดเม็ดไขมันเฉลี่ยในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF มีค่า



ภาพที่ 3.7 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของปริมาณโปรตีนที่เกาะบนพื้นผิวเม็ดไขมันสำหรับ ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO

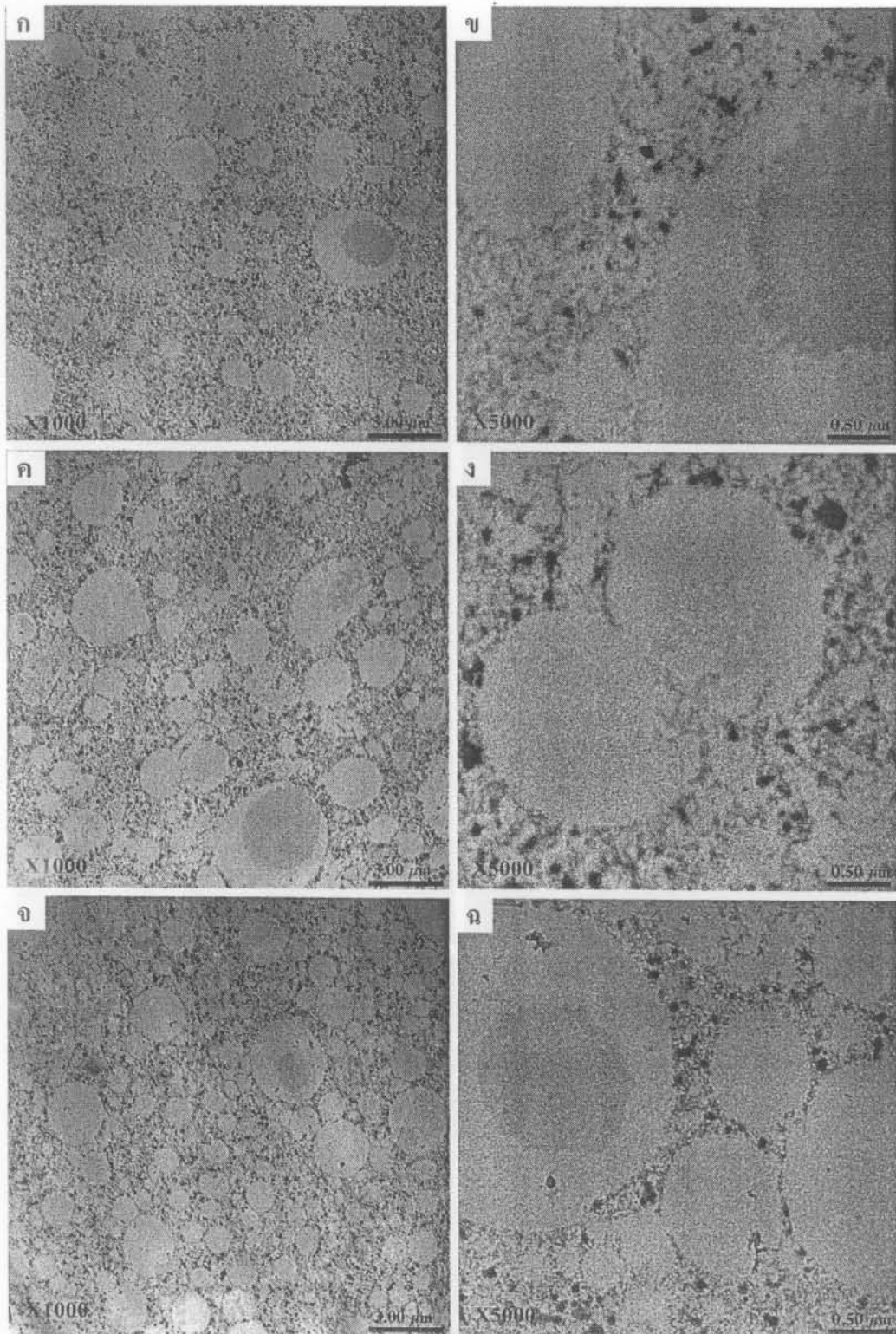


ภาพที่ 3.8 โครงร่างพื้นที่การตอบสนองของปริมาณโปรตีนที่เกาะบนพื้นผิวเม็ดไขมันสำหรับ ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF

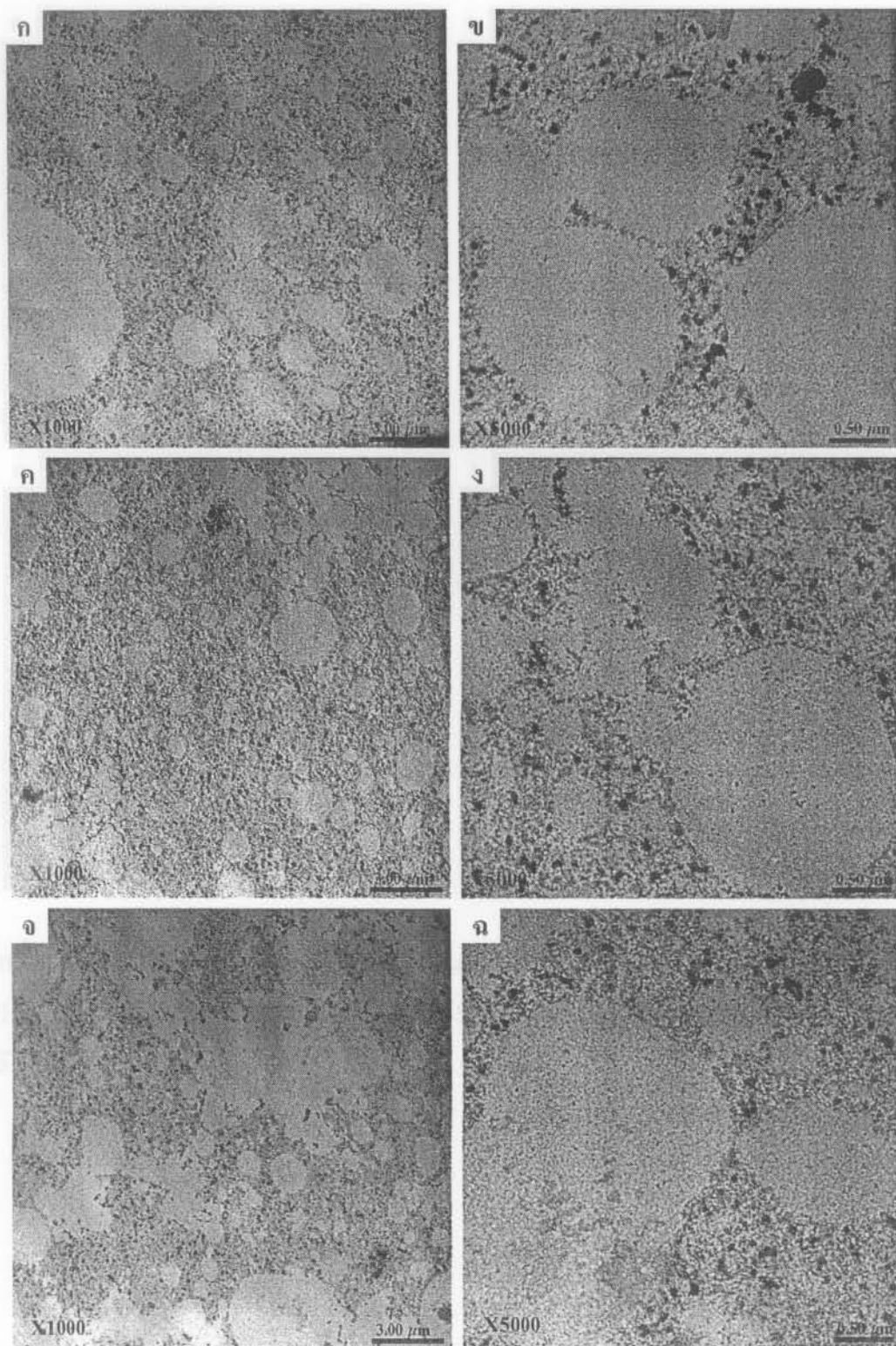
เท่ากับ 3.07 ± 0.06 และ 6.00 ± 0.02 ไมโครเมตร ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากธรรมชาติของ มาร์กาเรีนที่มีความอึดตัวในโครงสร้างไขมันสูงกว่าน้ำมันปาล์ม (ตารางภาคผนวกที่ 1.1) ส่งผลให้ มาร์กาเรีนมีอุณหภูมิในการเกิดผลึกและจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าน้ำมันปาล์ม (ภาพภาคผนวกที่ 1 และ 2) ทำให้ผลึกไขมันที่เกิดขึ้นในมาร์กาเรีนสามารถเกิดการเหนียวนำไปเกิดการรวมตัวกันของเม็ด ไขมันในโครงสร้างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ได้มากกว่าน้ำมันปาล์ม ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาระบบอิมัลชันที่มีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ผสมชนิดโมโน/ไดกลีเซอไรด์แบบกึ่งอึดตัวของ Granger และคณะ (2003) และ Granger, Leger, Barey, Langerdroff and Cansell (2005) ที่พบว่าอิมัลชันจากน้ำมันมะพร้าวไอโดโรเจเนตที่มีความอึดตัวมากจะมีขนาดเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่า อิมัลชันน้ำมันชนิดอื่นที่มีความอึดตัวในโครงสร้างน้อยกว่า

เมื่อพิจารณาโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO (หลัง การบ่ม) ที่ประกอบด้วยปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและไขมันที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3.11) จะ เห็นว่าปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีผลต่อขนาดเม็ดไขมันอย่างเห็นได้ชัด โดยในส่วนผสมที่มี ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองมากจะมีขนาดของเม็ดไขมันในโครงสร้างเล็กกว่า (ภาพที่ 3.11 ก. และ ข.; ภาพที่ 3.11 ค. และ ง.) ทั้งนี้เนื่องจากถ้าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ล้อมรอบเม็ดไขมันมีปริมาณ มากขึ้น (พิจารณาจากค่าปริมาณโปรตีนที่เกาะบนผิวเม็ดไขมันในตารางภาคผนวกที่ 2) จะส่งผลให้ ความคงตัวของระบบอิมัลชันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเพิ่มขึ้น โปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันนี้ จะฟอร์มตัวเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายเจลคล้ายกับแผ่นฟิล์ม (gel-like-film) ซึ่งจะช่วยป้องกันการ รวมตัวกันของเม็ดไขมัน (Damodaran, 2005) แต่เมื่อพิจารณาที่ระดับของปริมาณน้ำมันปาล์มที่ ต่างกันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO ที่มีปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เท่ากัน (ภาพที่ 3.11 ก. และ ค.; ภาพที่ 3.11 ข. และ ง.) พบว่าขนาดของเม็ดไขมันที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็น ว่าปริมาณน้ำมันปาล์มที่เพิ่มขึ้นในช่วงการศึกษา (ร้อยละ 8-12 โดยน้ำหนัก) ไม่มีผลต่อขนาดของ เม็ดไขมันในโครงสร้าง อาจเป็นเพราะว่าขนาดของเม็ดไขมันในโครงสร้างส่วนผสมพร้อมทำ ไอศกรีมเป็นผลมาจากระดับความดันที่ใช้ในการลดขนาดเม็ดไขมันด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์เซอร์ซึ่ง ทำให้ขนาดของเม็ดไขมันใกล้เคียงกัน แต่สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF ปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อขนาดของเม็ดไขมันในโครงสร้างที่ระดับปริมาณมาร์กาเรีน ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 3.12 ก. และ ข.) แต่ที่ระดับปริมาณมาร์กาเรีนร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มขึ้นกลับมีผลทำให้เม็ดไขมันในโครงสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น (ภาพ ที่ 3.12 ค. และ ง.) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลของขนาดเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ก่อนบ่ม (ตารางที่ 3.8) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่ว เหลืองสกัดทำให้การลดขนาดเม็ดไขมันในกระบวนการโฮโมจีไนซ์เป็นไปได้ยากขึ้น เมื่อพิจารณา ที่ระดับปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่คงที่ (ภาพที่ 3.12 ก. และ ค., ภาพที่ 3.12 ข. และ ง.) จะเห็น

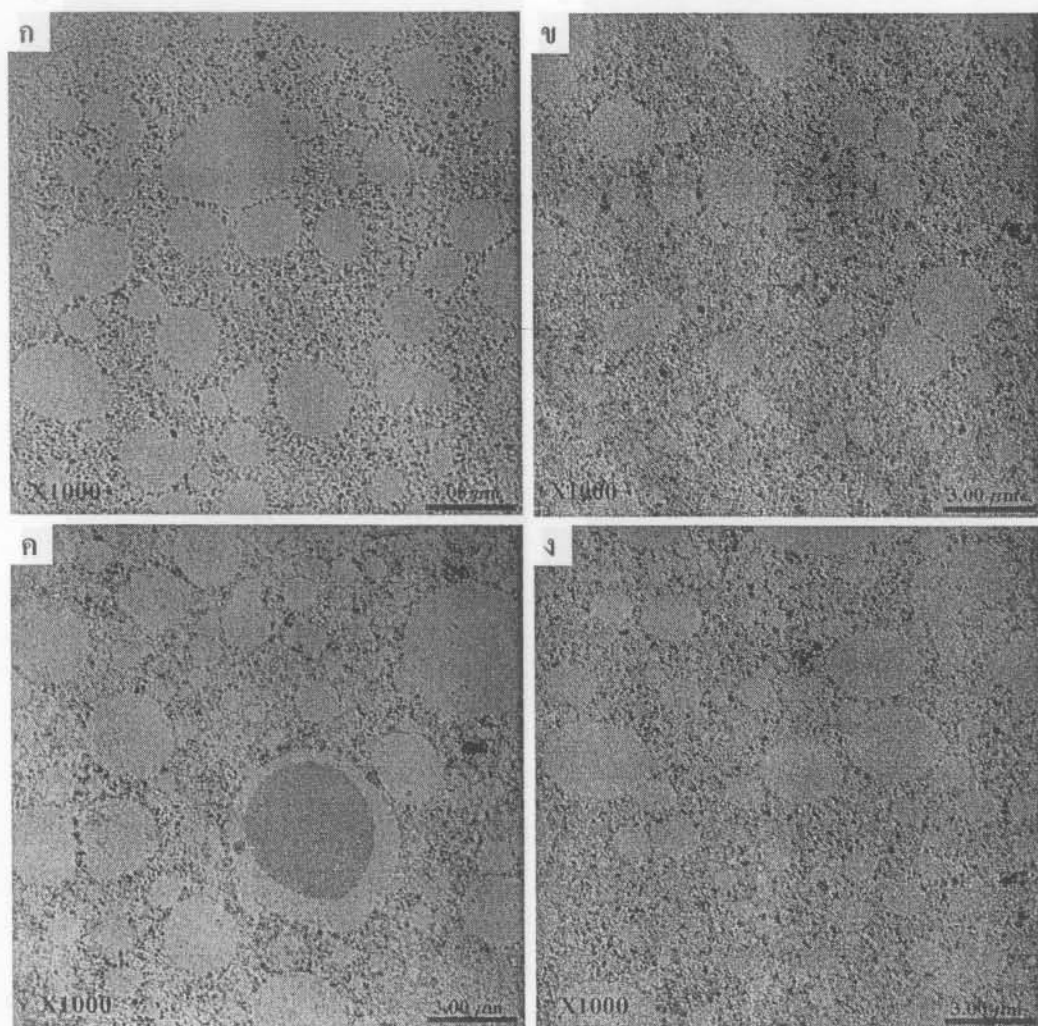
ว่าการเพิ่มปริมาณมาร์กาซีนจะทำให้เม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมาร์กาซีน (ตารางภาคผนวกที่ 1) ที่มีความอึดตัวในโครงสร้างสูง มีอุณหภูมิการเกิดผลึก (ภาพภาคผนวกที่ 1) และจุดหลอมเหลว (ภาพภาคผนวกที่ 2) สูงกว่าน้ำมันปาล์ม ดังนั้นในระหว่างการบ่มที่ 4 องศาเซลเซียส เม็ดไขมันของมาร์กาซีนในโครงสร้างจะเกิดการตกผลึก และผลึกที่เกิดขึ้นในเม็ดไขมันจะเหนียวนำไปเกิดการเสถียร ความคงตัว (destabilized) และเหนียวนำไปเกิดการรวมตัวกันบางส่วนของเม็ดไขมันขึ้น (Marshall et al., 2003) ดังนั้นถ้ามีปริมาณของมาร์กาซีนในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมาก ปริมาณของเม็ดไขมันที่รวมตัวกันบางส่วนก็มากขึ้นด้วย ส่งผลให้ปริมาณเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น



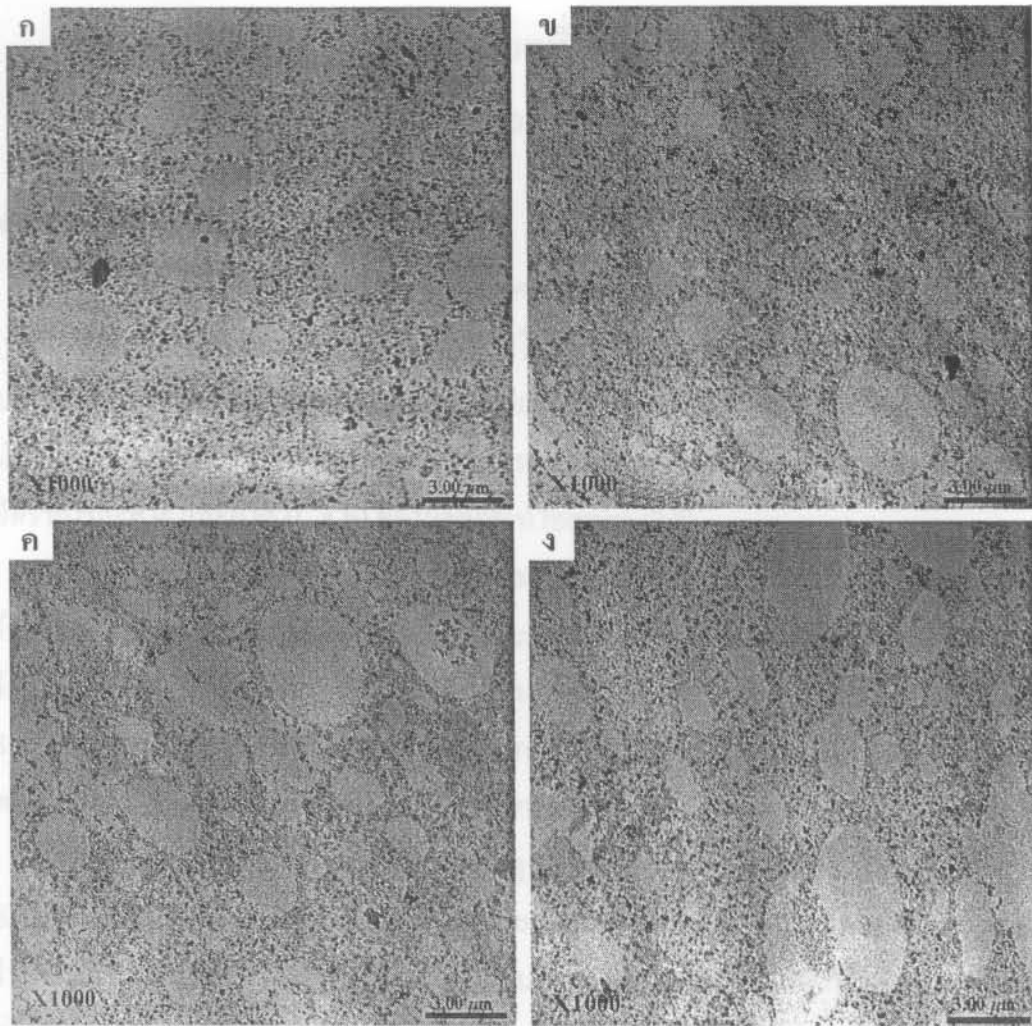
ภาพที่ 3.9 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO (หลังการบ่ม) จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด 6% และน้ำมันปาล์ม 7.17% (ก, ข) 10% (ค, ง) และ 12.83% (ฉ, ฉ) ที่กำลังขยาย 2 ระดับ คือ 1,000 เท่า (ซ้าย) และ 5,000 เท่า (ขวา)



ภาพที่ 3.10 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด 6% และมาร์กาเรีน 7.17% (ก, ข) 10% (ค, ง) และ 12.83% (จ, ฉ) ที่กำลังขยาย 2 ระดับ คือ 1,000 เท่า (ซ้าย) และ 5,000 เท่า (ขวา)



ภาพที่ 3.11 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO ที่ประกอบด้วย (ก) 5% SPI+ 8% PO (ข) 7% SPI+ 8% PO (ค) 5% SPI+ 12% PO และ (ง) 7% SPI+ 12% PO ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



ภาพที่ 3.12 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SHF ที่ประกอบด้วย (ก) 5%SPI + 8%HF (ข) 7%SPI + 8%HF (ค) 5%SPI + 12%HF และ (ง) 7%SPI + 12 %HF ที่กำลัง ขยาย 1,000 เท่า

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

4.1.1 ปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและน้ำมันปาล์มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่าการตอบสนองของขนาดเม็ดไขมัน ส่วนค่าความหนืดในส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม อัตราการละลายของไอศกรีม SPO และปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและมาร์การีนมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่าการตอบสนองของค่าความหนืดในส่วนผสมพร้อมทำก่อนบ่ม อัตราการละลาย และค่าสี (L a b) ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม SHF

4.1.2 สูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีม SPO ประกอบด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 4.8 โดยน้ำหนัก และน้ำมันปาล์มร้อยละ 11.0 โดยน้ำหนัก และสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีม SHF ประกอบด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก และมาร์การีนร้อยละ 8.6 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะทำได้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมถั่วเหลืองจากไขมันทั้งสองชนิดที่มีคุณลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมนมสูตรทางการค้า

4.1.3 จากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF พบว่าชนิดและคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันที่ใช้ในส่วนผสมจะมีผลต่อปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้มาร์การีนเป็นส่วนประกอบจะมีปริมาณ โปรตีนถั่วเหลืองที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันมากกว่าน้ำมันปาล์ม และจากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ทำให้ทราบว่าโครงสร้างของส่วนผสมพร้อม ไอศกรีมประกอบด้วยเม็ดไขมัน กลุ่มก้อนของเม็ดไขมันที่เสถียรบางส่วน และ โปรตีนถั่วเหลืองที่กระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของซีรัมและล้อมรอบเม็ดไขมันจากน้ำมันปาล์มหรือมาร์การีน ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้าง ไอศกรีมมีความคงตัว

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ไอศกรีมที่ได้นี้ควรมีการศึกษาเรื่องการยอมรับทางประสาทสัมผัส เนื่องจากกลิ่นรสของถั่วเหลืองที่ใช้ นั้นอาจมีผลโดยตรงต่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

4.2.2 ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืชที่ได้ยังคงมีกลิ่นรสของถั่วเหลืองอยู่ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม โดยเฉพาะกลิ่นถั่ว (beany) กลิ่นเหม็นเขียว (greeny) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการลดกลิ่นของถั่วเหลืองให้มีปริมาณน้อยลง ซึ่งอาจจะทำได้โดยการเติมกลิ่นรสอื่นๆ เช่น กลิ่นวนิลา กลิ่นช็อคโกแลต กลิ่นรสสมุนไพร หรืออาจใช้เอนไซม์

ที่สามารถไฮโดรไลซ์โปรตีนหรือส่วนที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ฉ่ำหรือเหนียวก่อนนำผลิตภัณฑ์จากถั่วมาผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

4.2.3 ในการศึกษาเพื่อหาข้อมูลทางการตลาดนั้นควรมีการวิจัยการวางตำแหน่งทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดัดแปลงจากโปรตีนถั่วเหลืองและไขมันพืชที่ได้ โดยควรจะจัดวางผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไว้ในส่วนของกลุ่มอาหารเพื่อสุขภาพ หรือผลิตภัณฑ์อาหารจากถั่วเหลือง

บรรณานุกรม

- มลศิริ วิโรทัย. (2545). เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ. กรุงเทพฯ: พัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.).
- สำนักงานวิจัยธุรกิจ ธนาคารกรุงไทย จำกัด(มหาชน). 2548. ไอศกรีม [ออนไลน์]. ได้จาก <http://www.cb.ktb.co.th>
- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. (2547). ไอศกรีมปี'47: สีนกัายอดฮิตช่วงหน้าร้อน [ออนไลน์]. ได้จาก <http://www.krc.co.th>
- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. (2549). ไอศกรีมปี'49: สมรภูมิเดือดช่วงชิงส่วนแบ่งการตลาดรวม 10,000 ล้านบาท [ออนไลน์]. ได้จาก <http://www.kasikomresearch.com>
- อิสรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. (2544). การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Adapa, S., Dingeldein, H., and Schmidt, K.A. (2000). Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams. **Journal of Dairy Science**. 83: 2224-2229.
- AFIC (Asian Food Information Centre). (2004). **Soy: A traditional food of asia with an important role in future health** [On-line]. Available: <http://www.afic.org>
- Alonso, L., Cuesta, E.P., and Gilliland, S.E. (2003). Production of free conjugatedlinoleic acid by *Lactobacillus acidphillus* and *Lactobacillus casei* of human intestinal origin. **Journal of Dairy Science**. 86: 1941-1946.
- Bourtoom, T., Chinnan, M.S., Jantawat, P., and Sanguandeeikul, R. (2006). Effect of select paprameters on the properties of edible film from water-soluble fish proteins in surimi wash-water. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologies**. 39: 405-418.
- Dalgleish, D, G. (2004). Food emulsions: their structures and properties. In S. E.Friberg, K. Larsson, and J. Sjöblom (eds.) **Food emulsions** (4th ed., pp. 1-44). New York: Marcel Dekker.
- Damodaran, S. (2005). Protein stabilization of emulsions and foams. **Journal of Food Science**. 70: R54-R66.

- Drake, M.A., and Gerard, P.D. (2002). Consumer attitudes and acceptability of soy-fortified yogurts. **Journal of Food Science**. 68: 1118-1122.
- Granger, C., Barey, P., Combe, N., Veschambre, P., and Cansell, M. (2003). Influence of the fat characteristics on the physicochemical behavior of oil-in-water emulsions based on milk protein-glycerol esters mixtures. **Colloids and Surface B: Biointerfaces**. 32: 353-363.
- Granger, C., Leger, A., Barey, P., Langerdroff, V., and Cansell, M. (2005). Influence of formulation on the structural networks in ice cream. **International Dairy Journal**. 15: 255-262.
- Goff, H.D. (1997). Colloidal aspects of ice cream – a review. **International Dairy Journal**. 7: 363-373.
- Goff, H.D., McCurdy, R.D., and Fulford, G.N. (1990). Advances in corn sweeteners for ice cream. **Modern Dairy**. June: 17-18.
- Goff, H.D., Verespej, E., and Smith, A.K. (1999). A study of fat and air structures in ice cream. **International Dairy Journal**. 9: 817-829.
- Joseph, G.E. (2001). Soy Protein Products: **Characteristics, nutritional aspects, and utilization**. USA: AOCS PRESS.
- Kim, K.H., Renkema, J. M. S., and van Vliet, T. (2001). Rheological properties of soybean protein isolate gels containing emulsion droplets. **Food Hydrocolloids**. 15: 295–302.
- Koxholt, M.M.R., Eisenmann, B., and Hinrichst, J. (2001). Effect of the fat globule size on the meltdown of ice cream. **Journal of Dairy Science**. 84: 31-37.
- McClements, D., J. (2005). **Food emulsions: principles, practices, and techniques**. (2nd ed). New York: CRC PRESS.
- Marshall, R.T., and Arbuckle, W.S. (1996). **Ice cream**. (5th ed). New York: Chapman Hall.
- Marshall, R.T., Goff, H.D., and Hartel, R.W. (2003). **Ice cream**. (6th ed), New York: Chapman & Hall.
- Miller-Livney, T. and Hartel, R.W. (1997). Ice recrystallization in ice cream: interaction between sweeteners and stabilizers. **Journal of Dairy Science**. 80: 447-456.

- Mitidieri, F. E., and Wagner, J. R. (2002). Coalescence of o/w emulsions stabilized by whey and isolate soybean proteins. Influence of thermal denaturation, salt addition and competitive interfacial adsorption. **Food Research International**. 35: 547–557.
- Muse, M.R., and Hartel, R.W. (2004). Ice cream structural element that affect melting rate and hardness. **Journal of Dairy Science**. 87: 1-10.
- NIDDK (National Institute of Diabetes & Digestive & Kidney Disease). (2002). **Lactose intolerance** [On-line]. Available: <http://www.niddk.nih.gov/health/digest/pubs/lactose.html>
- Puppo, M. C., and Añón, M. C. (1999). Soybean protein dispersions at acidic pH thermal and rheological behavior. **Journal of Food Science**. 64: 50–56.
- Renkema, J.M.S. (2001). Formation, structure and rheological properties of soy protein gels. Ponsen & Looyen BV, Wageningen University.
- Renkenma, J.M.S., and van Vliet, T. (2004). Concentration dependence of dynamic moduli of heat-induce soy protein gel. **Food hydrocolloids**. 18: 483-487.
- Rodríguez Niño, M.R., Carrera Sánchez, C., Ruiz-Henestrosa, V.P., and Rodríguez Patino, J.M. (2005). Milk and soy protein film at the air-water interface. **Food Hydrocolloids**. 19: 417-428.
- Roesch, R. R., and Corredig, M. (2002) Characterization of oil-in-water emulsions prepared with commercial soy protein concentrate. **Journal of Food Science**. 67: 2837-2842.
- Roesch, R. R., and Corredig, M. (2003). Texture and microstructure of emulsions prepared with soy protein concentrate by high pressure homogenization. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologies**. 36: 113–124.
- Segall, K.I., & Goff, H.D. (1999). Influence of adsorbed milk protein type and surface concentration on the quiescent and shear stability of butter oil emulsions. **International Dairy Journal**. 9: 683-69.
- Segall, K.I., and Goff, H.D. (2002). Secondary adsorption of milk proteins from the continuous phase to the oil-water interface in dairy emulsions. **International Dairy Journal**. 12: 889-897.

- Thaiudom, S., and Goff, H.D. (2003). Effect of κ -carrageenan on milk protein polysaccharide mixtures. **International Dairy Journal**. 13: 763-771.
- Ünal, B., Metin, S., and Işikli, N.D. (2003). Use of response surface methodology to describe the combined effect of storage time, locust bean gum and dry matter of milk on the physical properties of low fat set yoghurt. **International Dairy Journal**. 13: 909-916.
- Zhang, Z., and Goff, H.D. (2004). Protein distribution at air interfaces in dairy foams and ice cream as affected by casein dissociation and emulsifiers. **International Dairy Journal**. 14: 647-657.

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไขมัน

1. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันในตัวอย่างไขมัน ดัดแปลงจากวิธีของ Alonso, Cuesta, and Gilliland (2003)

ชั่งไขมันที่ต้องการวิเคราะห์ ประมาณ 30 มิลลิกรัมลงในหลอดทดลองฝาเกลียว จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอล เข้มข้น 0.5 N กำจัดความชื้นด้วยไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำตัวอย่างไขมันมาให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง เติม heptadecanoic acid (C17:0) เข้มข้น 2 mg/ml ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นสารมาตรฐานภายใน ลงในหลอดทดลอง และเติม BF₃ เข้มข้นร้อยละ 14 โดยปริมาตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเพื่อเปลี่ยน fatty acid ไปเป็น free fatty acid methyl esters จากนั้นกำจัดความชื้นด้วยไนโตรเจนเหลวและให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ในอ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ hexane 5 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 4,000x g ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แยกสารละลายส่วนบนมากำจัดความชื้นที่เหลือด้วย anhydrous sodium sulfate นำ fatty acid methyl esters ที่เตรียมได้มาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas chromatography – FID detector (HP6890 gas chromatograph; Hewlett-Packard Co, Rolling Avondale, USA) โดยใช้คอลัมน์ SP2560 ตามสภาวะดังนี้

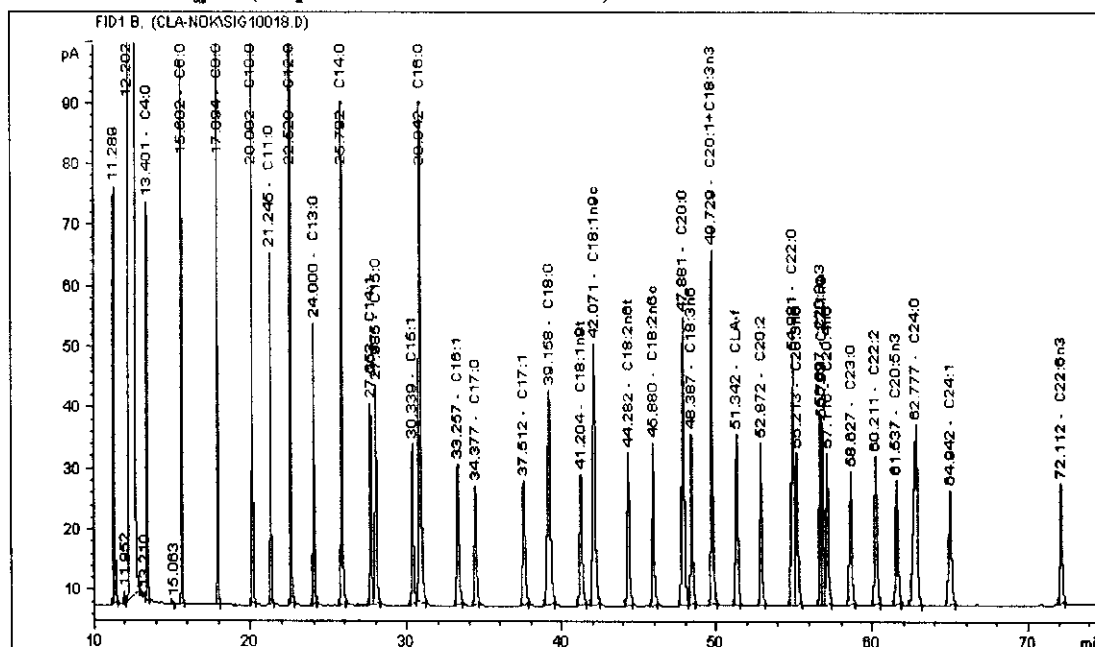
Carrier: Helium, 18 cm/sec, 1.0 ml/min constant flow
 Injection: Split (10:1), 1µl liquid injection, inlet 240 °C
 Oven: 70 °C (4.00 min), to 175 °C (27 min) at 13.0 °C/min,
 to 215 °C (31 min) at 4.0°C/min
 Detector: FID 260 °C

สำหรับปริมาณและชนิดกรดไขมันที่มีอยู่ในตัวอย่างไขมันคำนวณเทียบกับกรดไขมันมาตรฐานภายนอก (Supolco™ 37 FAME Mix, Sigma-Aldric Co., Bellefonte, USA)

2. วิธีการวิเคราะห์รูปแบบการเกิดผลึกและการหลอมเหลวของไขมัน

ชั่งตัวอย่างไขมันที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 20-25 มิลลิกรัม ใส่ลงใน Aluminum DSC pan ที่มีปริมาตรขนาด 50 ไมโครลิตรและทำการปิดผนึก จากนั้นนำตัวอย่างไขมันวิเคราะห์รูปแบบการหลอมเหลวและการเกิดผลึกด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (Pyris Diamond DSC, Perkin Elmer, Connecticut, USA) โดยตั้งค่าโปรแกรมในการวิเคราะห์ ดังนี้ ลดอุณหภูมิจาก 50 องศาเซลเซียส ถึง -10 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยใช้ระบบ Intracooler ในการให้ความเย็น จากนั้นจึงทำการให้ความร้อนจาก -10 องศาเซลเซียส จนถึง 50 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ในการวิเคราะห์จะใช้ aluminum pan เป็นตัวอ้างอิง (reference) และ Indium เป็นตัวมาตรฐาน (standard)

กรดไขมันมาตรฐาน (Supolco™ 37 FAME Mix)



FAME reference standard mix in methylene chloride:

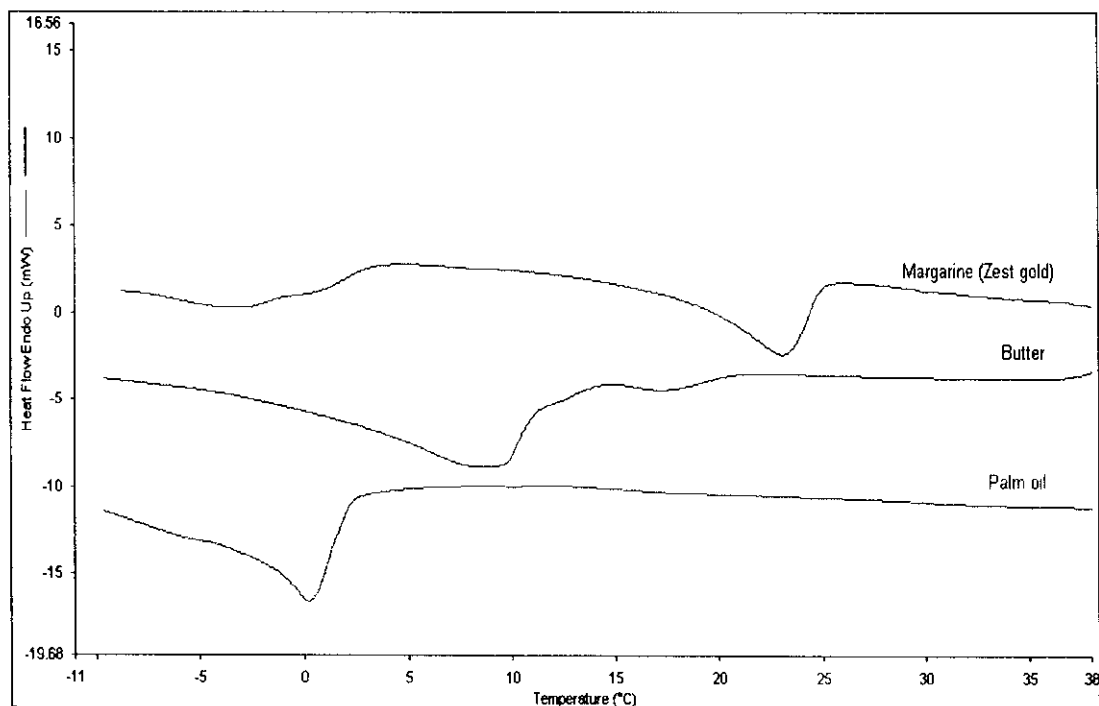
1. Butyric Acid Methyl Ester (C4:0)
2. Caproic Acid Methyl Ester (C6:0)
3. Caprylic Acid Methyl Ester (C8:0)
4. Capric Acid Methyl Ester (C10:0)
5. Undecanoic Acid Methyl Ester (C11:0)
6. Lauric Acid Methyl Ester (C12:0)
7. Tridecanoic Acid Methyl Ester (C13:0)
8. Myristic Acid Methyl Ester (C14:0)
9. Myristoleic Acid Methyl Ester (C14:1)
10. Pentadecanoic Acid Methyl Ester (C15:0)
11. Cis 10-Pentadecenoic Acid Ester (C15:1)
12. Palmitic Acid Methyl Ester (C16:0)
13. Palmitoleic Acid Methyl Ester (C16:1)
14. Heptadecanoic Acid Methyl Ester (C17:0)
15. cis-10-Heptadecanoic Acid Methyl Ester (C17:1)
16. Stearic Acid Methyl Ester (C18:0)
17. Elaidic Acid Methyl Ester (C18:1n9t)

18. Oleic Acid Methyl Ester (C18:1n9c)
19. Linolelaidic Acid Methyl Ester (C18:2n6t)
20. Linoleic Acid Methyl Ester (C18:2n6c)
21. Arachidic Acid Methyl Ester (C20:0)
22. γ - Linolenic Acid Methyl Ester (C18:3n6)
23. cis-11-Eicosatrienoic Acid Methyl Ester (C20:2)
24. Linolenic Acid Methyl Ester (C18:3n3)
25. Heneicosanoic Acid Methyl Ester (C21:0)
26. cis-11,14-Eicosadienoic Acid Methyl Ester (C20:2)
27. Behenic Acid Methyl Ester (C22:0)
28. cis-8, 11, 14-Eicosatrienoic Acid Methyl Ester (C20:3n6)
29. Erucic Acid Methyl Ester (C22:1n9)
30. cis-11, 14, 17-Eicosatrienoic Acid Methyl Ester (C20:3n3)
31. Arachidonic Acid Methyl Ester (C20:4n6)
32. Tricosanoic Acid Methyl Ester (C23:0)
33. cis-13, 16-Docosadienoic Acid Methyl Ester (C22:2)
34. Lignoceric Acid Methyl Ester (C24:0)
35. cis-5, 8, 11, 14, 17-Eicosapentaenoic Acid Methyl Ester(C20:5n3)
36. Nervonic Acid Methyl Ester (C24:1)
37. cis-4, 7, 10, 13, 16, 19-Docosahexaenoic Acid Methyl Ester (C22:6n3)

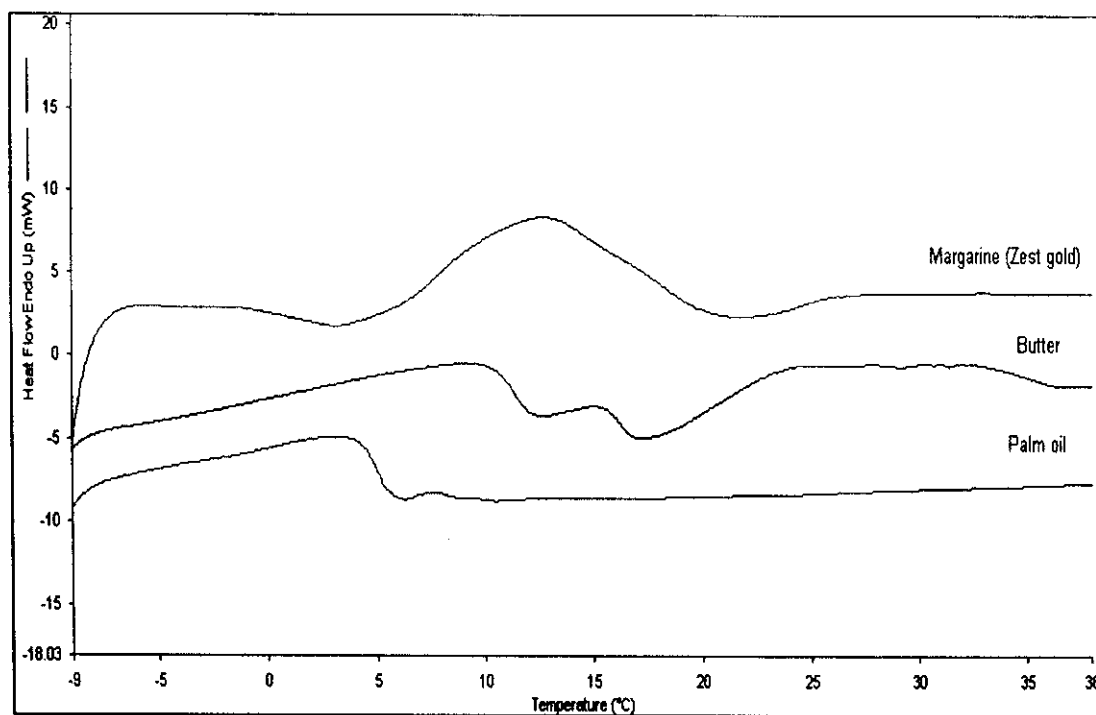
Condition Column: SPTM-2560, 100m x 0.25mm ID, 0.20 μ m film
Oven:140 °C (5min) to 240 °C at 4 °C/min
Carrier: helium, 18 cm/sec
Det.: FID 260°C
Inj.; 1 μ l, 240°C, Split 10:1

ตารางภาคผนวกที่ 1 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่พบในตัวอย่างไขมัน

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัม/กรัม ตัวอย่าง)		
		น้ำมันปาล์ม (PO)	มาร์การีน (HF)	เนย (ไขมันนม)
Butyric	C4:0	-	1.44±0.05	30.18±0.99
Caproic	C6:0	0.46±0.21	21.83±1.80	21.71±0.58
Caprylic	C8:0	0.59±0.11	23.00±1.11	13.11±0.75
Capric	C10:0	1.17±0.27	18.27±0.14	31.99±1.23
Undecanoic	C11:0	0.13±0.03	0.19±0.04	3.74±0.11
Lauric	C12:0	4.80±0.33	149.16±1.87	39.57±1.55
Tridecanoic	C13:0	-	-	2.81±0.74
Myristic	C14:0	13.54±0.76	69.16±0.43	111.51±4.47
Myristoleic	C14:1	0.51±0.08	0.63±0.02	9.12±0.32
Pentadecanoic	C15:0	0.79±0.05	0.80±0.16	13.32±0.50
Palmitic	C16:0	361.45±5.27	330.53±2.24	259.3±10.24
Palmitoleic	C16:1	2.58±0.11	1.54±0.28	19.40±0.78
Margaric	C17:0	79.10±8.58	79.68±1.23	49.25±36.69
Margaroleic	C17:1	-	-	2.11±0.13
Steric	C18:0	42.49±0.80	73.32±0.30	93.85±3.82
Elaidic	C18:1n9t	-	21.97±0.16	37.15±1.42
Oleic	C18:1n9c	421.23±5.95	261.56±1.78	169.06±6.86
Linolelaidic	C18:2n6t	-	-	2.11±0.56
Linoleic	C18:2n6c	120.31±1.62	63.55±1.08	11.62±0.46
	C18:2c9,t11	0.33±0.06	-	12.67±0.37
	C18:2c9,c11	-	-	0.39±0.16
	C18:2t9,c11	-	-	1.24±0.32
Linolenic	C18:3	1.70 ± 0.01	-	0.93±0.35
Arachidic	C20:0	3.33 ± 0.04	2.78±0.07	1.07±0.04
Gadoleic	C20:1	2.27 ± 0.04	1.04±0.03	6.72±0.32
Arachidonic	C20:4n6	-	-	0.94±0.05
Behenic	C22:0	0.58 ± 0.01	0.48±0.01	0.53±0.02
Total unsaturated fatty acid		549.68	351.72	275.82
Total saturated fatty acid		508.44	770.65	672.66
Total trans-fatty acid		0.33	21.97	53.16
Total medium-chain fatty acid		2.22	63.10	66.82



ภาพภาคผนวกที่ 1 รูปแบบการเกิดผลึกของไขมัน ด้วยเครื่อง DSC ที่อัตราการลดอุณหภูมิ $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$



ภาพภาคผนวกที่ 2 รูปแบบการหลอมเหลวของไขมัน ด้วยเครื่อง DSC ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมัน
ด้วยเทคนิค SDS-PAGE

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณโปรตีนที่เกาะบนผิวเมล็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม SPO และ SHF

%SPI	%Fat	Protein surface coverage (mg.m ⁻²)														
		SPO Ice cream mix							SHF ice cream mix							
		α	α'	β	A ₃	As	Bs	total	α	α'	β	A ₃	As	Bs	total	
Tr1	5	8	0.12	0.40	0.08	0.07	0.57	0.38	1.90	0.14	0.58	0.25	0.06	0.52	0.44	2.71
Tr2	7	8	0.32	0.58	0.33	0.16	0.99	0.53	3.02	0.28	0.45	0.24	0.17	0.83	0.54	3.16
Tr3	5	12	0.24	0.64	0.16	0.16	0.89	0.55	2.56	0.86	1.00	0.38	0.24	1.66	0.72	5.38
Tr4	7	12	0.31	0.66	0.17	0.20	0.87	0.52	2.92	1.29	1.53	0.55	0.53	3.31	1.53	8.09
Tr5	4.586	10	0.24	0.31	0.09	0.11	0.53	0.37	1.96	0.19	0.15	0.09	0.08	0.49	0.23	1.59
Tr6	7.414	10	0.38	0.48	0.19	0.14	0.71	0.44	2.63	0.23	0.23	0.10	0.11	0.71	0.29	2.38
Tr7	6	7.172	0.28	0.29	0.09	0.09	0.60	0.39	2.27	0.25	0.27	0.08	0.08	0.50	0.31	1.99
Tr8	6	12.828	0.42	0.51	0.13	0.13	0.97	0.49	3.69	0.88	1.07	0.31	0.39	2.29	1.12	7.91
Tr9	6	10	0.27	0.31	0.13	0.11	0.54	0.43	2.32	0.93	1.39	0.50	0.51	3.05	2.17	3.06
Tr10	6	10	0.23	0.27	0.11	0.11	0.54	0.42	2.06	1.28	1.45	0.65	0.57	2.83	1.97	3.72
Tr11	6	10	0.13	0.31	0.10	0.06	0.55	0.23	1.74	0.25	0.79	0.21	0.18	1.28	0.61	4.01
Tr12	6	10	0.13	0.25	0.09	0.05	0.41	0.21	1.39	0.13	0.62	0.17	0.12	0.74	0.46	2.51
Tr13	6	10	0.15	0.46	0.15	0.08	0.68	0.36	2.13	0.32	0.77	0.20	0.24	1.66	0.58	3.80

หมายเหตุ: ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับและล้อมรอบเมล็ดไขมันเป็นเพียงค่าประมาณการ ไม่ใช่ค่าที่แท้จริง

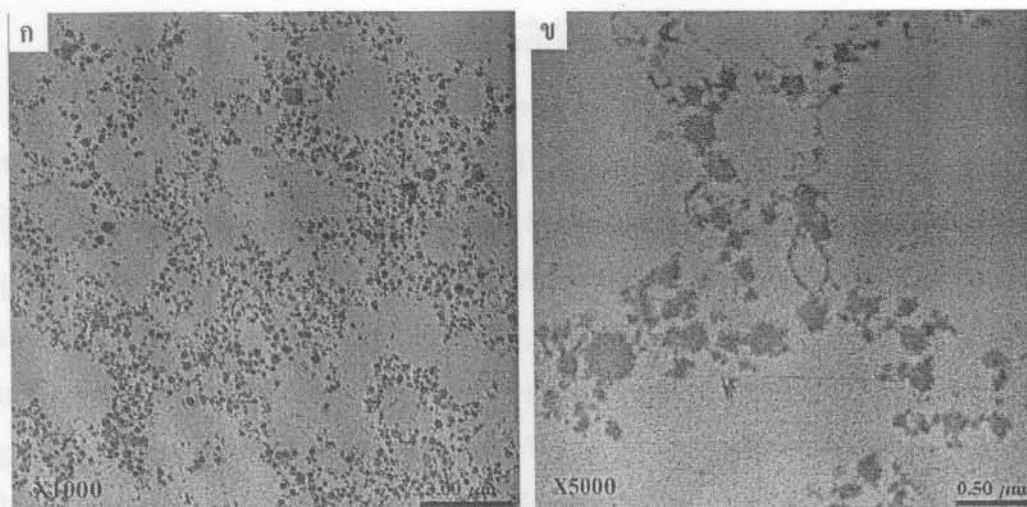
ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับบนผิวเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนม
สูตรควบคุม

	Protein surface coverage (mg.m ⁻²)
33 kDa	1.38 ± 0.27
31 kDa	1.45 ± 0.31
29 kDa	0.15 ± 0.03
18 kDa	0.23 ± 0.03
14 kDa	0.16 ± 0.05
Total	3.20 ± 0.21

หมายเหตุ: - ไอศกรีมนมสูตรควบคุมประกอบด้วย นมผงพร้อมมันเนย ร้อยละ 10.5 โดยน้ำหนัก
และไขมันเนย ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
- ปริมาณโปรตีนที่ถูกดูดซับและล้อมรอบเม็ดไขมันเป็นเพียงค่าประมาณการไม่ใช่ค่าที่
แท้จริง

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ โครงสร้างระดับคุณภาพของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม
ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



ภาพภาคผนวกที่ 3 โครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนมสูตรควบคุม (สูตรทางการค้า) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ก) และ 5,000 เท่า (ข)

ประวัติผู้เขียน

นายศุภฤกษ์ ไทยอุดม อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จบการศึกษาระดับระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกียรตินิยม อันดับ 2) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2535 จากนั้นเข้าศึกษาระดับปริญญาโทด้วยทุนพัฒนาอาจารย์ของทบวงมหาวิทยาลัย จนจบการศึกษาระดับมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร จากภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2538 ด้วยวิทยานิพนธ์ยอดเยี่ยมพร้อมทั้งได้รับรางวัลการนำเสนองานวิจัยภาคโปสเตอร์ดีเด่นจากงาน ProPak Thailand' 95 จากนั้นได้เข้าทำงานในตำแหน่งพนักงานสายวิชาการที่สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ก่อนไปศึกษาต่อในระดับปริญญาเอกด้วยทุนรัฐบาลแคนาดาและทุนพัฒนาศักยภาพอาจารย์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปลายปี พ.ศ. 2540 ณ University of Guelph, Ontario, Canada และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร (Food Science) ในปลายปี พ.ศ. 2544 ก่อนเข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2545

ปัจจุบันนายศุภฤกษ์ ไทยอุดมมีผลงานทางวิชาการ ได้แก่ เอกสารการสอน 3 รายวิชา คือ เอกสารการสอนในรายวิชา 305321 (อาหารและโภชนาการ) 305451 (พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและการตลาด) และ 305454 (การควบคุมคุณภาพอาหาร) ผลงานรายงานผลการวิจัยในฐานะหัวหน้าโครงการที่แล้วเสร็จจำนวน 2 ฉบับ ผลงานตีพิมพ์วารสาร 1 ฉบับ ผลงานตีพิมพ์ประเภท proceeding ในการประชุมวิชาการต่างประเทศ 8 ฉบับ และกำลังดำเนินการวิจัยในฐานะหัวหน้าโครงการอีก 4 โครงการ และเป็นผู้ร่วมวิจัยอีก 1 โครงการ นอกจากนี้นายศุภฤกษ์ ไทยอุดมยังได้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปัจจุบัน