รหัสโครงการ SUT3-305-59-24-05

รายงานการวิจัย

ผลของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในการใช้เป็นสารทดแทนมันเนยต่อคุณภาพของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

(Effect of virgin coconut oil as butter fat replacer on qualities of low lactose ice cream)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT3-305-59-24-05

รายงานการวิจัย

ผลของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในการใช้เป็นสารทดแทนมันเนยต่อคุณภาพของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

(Effect of virgin coconut oil as butter fat replacer on qualities of low lactose ice cream)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวัฒ ไทยอุดม

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558-2559

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2563

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เพื่อใช้ทดแทนมันเนยต่อคุณภาพของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ โดยแปรอัตราส่วนร้อยละของน้ำมันมะพร้าวต่อมันเนย (8.72:0, 7.63:1.09, 5.45:3.27, 1.09:7.63 และ 0:8.72 ตามลำดับ) เพื่อประเมินคุณลักษณะของไอศกรีมทางด้านวิทยกระแส ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม สี ค่าการขึ้นฟู การละลาย เนื้อสัมผัส โครงสร้างระดับจุลภาค และผลทางประสาทสัมผัส พบว่า การใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทำให้มีค่าความหนืดที่อัตราเฉือน 20 วินาที$^{-1}$ มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีมันเนยเป็นส่วนผสม (ตัวอย่างควบคุม) ส่วนลักษณะของการเป็นของแข็งและของเหลว พบว่า ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนผสมจำนวนมากมีลักษณะคล้ายของแข็งและลักษณะคล้ายของเหลวลดลงหลังการบ่ม ในขณะที่ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมในสูตรควบคุมกลับให้ผลตรงกันข้าม อย่างไรก็ตาม ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อย่างเดียวให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันขนาดใหญ่กว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีมันเนยเป็นส่วนผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนค่าสีของไอศกรีม พบว่า ไอศกรีมที่มีส่วนผสมของมันเนยจะให้สีโทนเหลืองมากกว่าไอศกรีมที่มีน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมเพียงอย่างเดียว แต่ผลของการทดแทนมันเนยด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในไอศกรีมเหล่านั้นไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของค่าการขึ้นฟูและอัตราการละลายแต่มีผลต่อความแข็งของไอศกรีม โดยไอศกรีมที่มีน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมจำนวนมากมีค่าความแข็งลดลงตามสัดส่วนของปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ทดแทนโดยยืนยันได้จากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค ส่วนการประเมินผลทางประสาทสัมผัส พบว่า สี กลิ่น รสชาติ การละลาย ความสากลิ้น และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ของไอศกรีมทุกตัวอย่าง โดยคะแนนของลักษณะที่ทดสอบส่วนใหญ่อยู่ในระดับชอบปานกลาง ดังนั้นการนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตไอศกรีมที่มีน้ำตาลแล็กโทสต่ำจึงมีศักยภาพเพียงพอต่อการนำไปผลิตไอศกรีมที่มีคุณลักษณะต่าง ๆ ไม่แตกต่างไปจากไอศกรีมที่มีการใช้มันเนยซึ่งมีราคาแพงกว่า ทำให้ลดต้นทุนการผลิตไอศกรีมได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

A study of using virgin coconut oil (VCO) as butter fat (BF) replacer in low lactose ice cream on its characteristics: rheological properties and fat particle size of ice cream mix, color, overrun, melting rate, texture as the hardness, microstructure, and sensorial acceptance of ice cream, was carried out. The amounts of BF and VCO were varied at 8.72:0, 7.63:1.09, 5.45:3.27, 1.09:7.63, and 0:8.72, respectively. The results showed that the viscosity at 20 s^{-1} of ice cream mix (ICM) containing VCO was higher than that of ICM containing only BF (control sample). The solid-like and liquid-like characteristics of ICM with VCO decreased after a process of mix aging, while the control ICM exhibited the contrast. However, ICM with only VCO gave the biggest particle size of fat compared with ICM containing BF significantly ($p<0.05$). Ice cream with BF seemed to possess the yellow color tone more than that of ice cream containing only VCO. However, the overrun and melting rate among such ice cream were not significantly different ($p>0.05$), while the hardness of ice cream with VCO seemed to decrease as a function of increasing amount of VCO. This result was confirmed via cryo-SEM microstructures. The acceptance for sensorial evaluation on color, odor, taste, melting, sandiness, and overall acceptance were also determined. The acceptance of color, odor, taste, melting, sandiness, and overall acceptance of all studied ice cream were not significantly different ($p<0.05$) with the acceptance level score at slightly like. Thus, there is a potential for using VCO as the BF replacer for low lactose ice cream with a little change of ice cream characteristic but with a probable acceptance from panels. Also, using VCO provides the lower cost of ice cream production than using BF.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่อง ผลของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในการใช้เป็นสารทดแทนมันเนยต่อคุณภาพของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำงานวิจัยและรายงานฉบับสมบูรณ์นี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณหน่วยงานที่สนับสนุนงานวิจัย เพื่อให้เกิดงานวิจัยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้จริง ได้แก่ สำนักคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผ่านสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำการวิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครูบาอาจารย์ที่ได้ปลูกฝังและสั่งสอนให้ผู้วิจัยมีทักษะทางงานวิชาการและการวิจัยเพื่อประโยชน์ที่แท้จริงแก่สังคม และขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาตรวจความเรียบร้อยและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการเขียนรายงานการวิจัย มา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวัฒ ไทยอุดม

15 พฤษภาคม 2563

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2

2.2 ไอศกรีม 5

2.3 ขั้นตอนการผลิตไอศกรีมในระดับอุตสาหกรรม 8

2.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Factor affecting ice crystallization) 9

2.5 วิทยากระแสของไหล (Rheology) 12

2.6 รูปแบบพฤติกรรมการไหล 13

2.7 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ 21

2.8 ไขมันเนย 22

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ 20

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 20

3.3 การเตรียมไอศกรีม 21

3.4 การศึกษาและการทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมต้นแบบที่มีการทดแทนมันเนยด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และนมแล็กโทสต่ำ 22

3.4.1 การศึกษาสมบัติทางวิทยากระแส (Rheometer) 22

3.4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ 23

1) ขนาดอนุภาคของไขมัน 23

2) ค่าสี 23

3) การขึ้นฟู (% Overrun) 23

4) สมบัติการละลาย 23

5) ลักษณะเนื้อสัมผัส 24

6) โครงสร้างระดับจุลภาค 24

3.5 การประเมินผลทางประสาทสัมผัส 24

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ 25

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย	
4.1 คุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมต้นแบบที่ปราศจากหรือมีนมน้ำตาลแล็กโทสต่ำและทดแทนมันเนยด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์	26
4.1.1 สมบัติทางวิทยากระแส	26
4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	30
4.2.1 ขนาดอนุภาคไขมัน	30
4.2.2 ค่าสี	31
4.2.3 การขึ้นฟู	31
4.2.4 สมบัติการละลาย	32
4.2.5 เนื้อสัมผัสของไอศกรีม (ค่าความแข็ง)	35
4.2.6 โครงสร้างระดับจุลภาค	36
4.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส	38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	53
ภาคผนวก ข	54
ภาคผนวก ค	57
ประวัติผู้วิจัย	59

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เวลาและอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ใช้ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม	9
3.1	สูตรการผลิตไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำที่ใช้น้ำมันมะพร้าวและไขมันเนยในปริมาณที่แตกต่าง	22
4.1	ขนาดอนุภาคไขมัน (D_{32}) ของส่วนผสมไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ	30
4.2	ค่าสีของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ	33
4.3	การขึ้นฟูของไอศกรีมที่มีปริมาณแล็กโทสต่ำ	33
4.4	อัตราการละลายของไอศกรีมที่มีปริมาณแล็กโทสต่ำ	34
4.5	ความแข็งของไอศกรีมที่มีปริมาณแล็กโทสต่ำ	36
4.6	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ	40
1ข	อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรควบคุม	53
2ข	อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรที่ 1	53
3ข	อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรที่ 2	54
4ข	อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรที่ 3	54
5ข	อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรที่ 4	55
1ค	ค่า Storage modulus G′ ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ	56
2ค	ค่า Loss modulus G′′ ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ	56

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การตอบสนองต่อการให้แรงกระทำต่อวัสดุ	14
2.2	รูปแบบพฤติกรรมการไหลของพวกที่ไม่ขึ้นกับเวลา	16
4.1	ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ	28
4.2	ค่า Storage modulus G′ ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลน้ำตาลแล็กโทสต่ำ	29
4.3	ค่า Loss modulus G′′ ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลน้ำตาลแล็กโทสต่ำ	29
4.4	ร้อยละการละลายของตัวอย่างไอศกรีมที่มีปริมาณแล็กโทสต่ำ	34
4.5	โครงสร้างระดับจุลภาคของตัวอย่างไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลน้ำตาลแล็กโทสต่ำ	39
1ก	แบบทดสอบการการยอมรับแบบ hedonic scale	52

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สัญลักษณ์และคำย่อ

a^*	=	ค่าที่บอกความเป็นสีเขียวหรือสีแดง
a_w	=	ค่าความชื้นที่มีผลต่ออัตราการเจริญของจุลินทรีย์ (water activity)
b^*	=	ค่าที่บอกความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน
°C	=	องศาเซลเซียส
D	=	สัดส่วนขนาดอนุภาคไขมัน
DE	=	Dextrose equivalent
G′	=	ค่า Storage modulus
G′′	=	ค่า Loss modulus
g	=	กรัม
g-force	=	แรงที่ใช้กดในหน่วยกรัม
Hz	=	เฮิร์ต
kDa	=	กิโลดาลตัน
L^*	=	ค่าที่บอกความเข้มและจางของสี หรือค่าที่บอกว่าเป็นสีขาวกับสีดำ
mg	=	มิลลิกรัม
min	=	นาที
ml	=	มิลลิลิตร
ns	=	ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
p	=	ระดับความเชื่อมั่น
Pa	=	ปาสคาล
PaS	=	ปาสคาลวินาที
SD	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
w	=	น้ำหนัก
X	=	กำลังขยาย
α	=	สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient)
$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ย
µg	=	ไมโครกรัม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคกันทั่วโลก เนื่องจากรสชาติที่หอมหวานและให้ความเย็นสดชื่นเวลารับประทาน ส่วนประกอบหลักของไอศกรีม ได้แก่ น้ำนม มันเนย และน้ำตาล ซึ่งส่วนประกอบหลักเหล่านี้อาจมีการยอมรับน้อยลง หรือไม่ยอมรับเลย ในกรณีที่ผู้บริโภคเป็นผู้ที่ใส่ใจในสุขภาพตนเอง เนื่องด้วยในปัจจุบัน พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาให้ความสนใจในสุขภาพตนเอง และพิถีพิถันในการเลือกผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับบริโภคมากขึ้น ไอศกรีมที่มีส่วนประกอบของน้ำนม มันเนย และน้ำตาลดังกล่าวจึงน่าจะเป็นผลิตภัณฑ์อันดับต้น ๆ ที่กลุ่มผู้บริโภคดังกล่าวจะปฏิเสธ ในขณะเดียวกันผู้บริโภคส่วนใหญ่ในประเทศไทยที่มีอายุเกิน 25 ปี ยังคงมีปัญหาในเรื่องของการแพ้น้ำตาลน้ำตาลแล็กโทสในน้ำนมด้วย ทำให้กลุ่มผู้บริโภคดังกล่าวอาจเกิดอาการแพ้น้ำตาลแล็กโทส ที่เรียกว่า lactose intolerance ซึ่งมีอาการท้องเดินและมีแก๊สเกิดขึ้น ส่งผลให้มีอาการปวดท้อง เสียดท้อง แน่นท้อง ผายลมบ่อย หรือมีลมเกิดขึ้นภายในช่องท้องที่ก่อให้เกิดความรำคาญและเป็นอุปสรรคในการดำเนินชีวิตประจำวันได้ การคิดค้นน้ำนมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสน้อยหรือปราศจากน้ำตาลแล็กโทสในปัจจุบันโดยผู้ผลิตทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคดังกล่าว ผลิตภัณฑ์น้ำนมที่กล่าวถึงนี้มีจำหน่ายทั้งในรูปน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ น้ำนมสเตอริไลส์ ผลิตภัณฑ์น้ำนมผง และผลิตภัณฑ์ไอศกรีม อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์น้ำนมดังกล่าวโดยเฉพาะไอศกรีมยังคงมีปริมาณมันเนยและน้ำตาลเป็นส่วนประกอบค่อนข้างสูง ทำให้ผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพหรือมีปัญหาเรื่องโรคอ้วน โรคไขมันในเลือดสูง อาจปฏิเสธผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดังกล่าวได้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ใช้น้ำตาลแล็กโทสต่ำ หรือปราศจากน้ำตาลแล็กโทสร่วมกับการใช้สารทดแทนมันเนย เช่น น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ซึ่งมีงานวิจัยและเป็นที่เชื่อว่ามีประโยชน์ต่อสุขภาพจึงน่าจะเป็นทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคในกลุ่มนี้ที่นับวันจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องมาจากการประชาสัมพันธ์เรื่องสุขภาพที่ดีของรัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และน้ำนมน้ำตาลแล็กโทสต่ำในการผลิตไอศกรีม อาจทำให้สมบัติที่สำคัญ เช่น จุดเยือกแข็ง การขึ้นฟู ความคงตัว และการละลายที่เหมาะสมของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป การวิจัยนี้จึงเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโดยอาศัยหลักการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เน้นการศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดังกล่าวเพื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมปกติที่ไม่มีการใช้สารทดแทนมันเนยและใช้น้ำนมปกติ และศึกษาถึงการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคในกลุ่มที่ตระหนักในเรื่องสุขภาพหรือกลุ่มที่มีปัญหาด้านการแพ้น้ำตาลน้ำตาลแล็กโทสในน้ำนม

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไอศกรีมถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของมันเนยเป็นจำนวนมาก อย่างน้อยในส่วนประกอบของไอศกรีมสูตรทางการค้าทั่วไปพบว่ามีมันเนยถึงร้อยละ 10 ซึ่งจะให้พลังงานต่อการบริโภคสูงถึง 135-200 กิโลแคลอรี่ต่อ 100-125 กรัม (Marshall & Arbuckle, 1996) และอาจมีมันเนยสูงถึงร้อยละ 16-20 ในสูตร พรีเมียมซึ่งให้พลังงานสูงกว่า 200-300 กิโลแคลอรี่ นอกจากนั้นมันเนยถือว่าเป็นไขมันตามธรรมชาติที่เชื่อว่าอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มปริมาณคอเลสเตอรอล การทำให้เกิดความเสี่ยงต่อโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคอ้วน และโรคหัวใจขาดเลือดได้ (ดาลัด ศิริวัน, 2555) ดังนั้นการแทนที่มันเนยด้วยสารทดแทนไขมันจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตไอศกรีม ในช่วง 10 ถึง 20 ปีที่ผ่านมานี้มีการนำสารทดแทนไขมันจากโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตมาใช้ในการผลิตไอศกรีม (LaBarge, 1988; Giese, 1996; Adapa, Dingeldein, & Schmidt, 2000) แต่ส่วนใหญ่พบว่าสมบัติทางกายภาพและทางวิทยากระแสของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป Specter และ Setser (1994) ทดลองใช้แป้งมันสำปะหลังหรือ potato dextrin แทนมันเนยในไอศกรีม พบว่า ลักษณะความเนียนนุ่ม (smoothness) และลักษณะเป็นครีมข้น (creaminess) ของไอศกรีมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ Schmidt, Lundy, Reynolds และ Yee (1993) ใช้สารทดแทนมันเนยที่ทำจากคาร์โบไฮเดรตในการผลิตไอศกรีมไขมันต่ำ พบว่า ค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ice cream mix) มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจก่อให้เกิดผลโดยตรงต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสแน่นกว่าการใช้สารทดแทนไขมันจากโปรตีน Aykan, Sezgin และ Guzel-Seydim (2008) ได้ทดลองใช้อินูลินรวมกับ simplesse® ซึ่งเป็นสารเพิ่มความคงตัวในการผลิตไอศกรีมที่มีไขมันต่ำ พบว่า ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีการใช้สารทั้งสองชนิดนี้มีค่าความหนืดมากกว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ไม่ได้ใช้สารทั้งสอง อันส่งผลให้ไอศกรีมที่ใช้สารทั้งสองมีลักษณะเนื้อสัมผัสจากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสดีกว่าแต่ให้พลังงานน้อยกว่าไอศกรีมที่ไม่มีสารทั้งสอง Mahdian และ Karazhian (2013) ทดลองใช้สารทดแทนไขมันจำพวกโปรตีนน้ำนมเข้มข้นกับอินูลิน ผลที่ได้พบว่า การใช้สารทดแทนจำพวกนี้ทำให้สมบัติวิทยากระแสของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป ทุกตัวอย่างที่มีการใช้สารทดแทนไขมันนี้จะมีลักษณะการไหลเป็นแบบ pseudoplastic แต่ค่าความแข็งของไอศกรีมที่ผลิตได้นี้ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารทดแทนไขมันแต่อย่างใด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้สารทดแทนไขมันจำพวกคาร์โบไฮเดรตหรือโปรตีนส่งผลโดยตรงต่อสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมไม่มากก็น้อย

ดังนั้นการใช้ไขมันดี เช่น น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เพื่อทดแทนมันเนยจึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตไอศกรีมเพื่อสุขภาพได้

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (purified or virgin coconut oil) คือ น้ำมันมะพร้าวที่ได้จากการสกัดแยกน้ำมันจากเนื้อผลของต้นมะพร้าว (*Cocos nucifera L.*) ซึ่งเป็นพืชในตระกูลปาล์ม (Arecaceae หรือ Palmae) ด้วยวิธีการสกัดแยกจากเนื้อมะพร้าวโดยไม่ผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปทางเคมี เช่น วิธีการบีบสกัดแบบเย็น (cooling press extraction) องค์ประกอบหลักของน้ำมันมะพร้าวเป็นกรดไขมันอิ่มตัว (มากกว่าร้อยละ 90 จากปริมาณกรดไขมันทั้งหมด) แต่กรดไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่ที่พบในน้ำมันมะพร้าวนั้นเป็นกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลปานกลาง (medium chain fatty acid) เช่น กรดลอริก (lauric acid) ซึ่งเมื่อรับประทานและถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วจะถูกเผาผลาญได้ดี จึงถูกสะสมในเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) น้อยกว่ากรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลยาว (long chain fatty acid) เช่น กรดไลโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2548; Marten, Pfeuffer, & Schrezenmeir, 2006; Marina, Che Man, & Amin, 2009) จากสมบัติดังกล่าวของน้ำมันมะพร้าว ส่งผลให้น้ำมันมะพร้าวได้รับความสนใจจากผู้บริโภคในการรับประทานเพื่อช่วยลดความอ้วน จากรายงานการศึกษาทางคลินิก (randomised, double-blind, clinical trial) ในประเทศบราซิล ทำการเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มที่รับประทานน้ำมันมะพร้าวและกลุ่มที่รับประทานน้ำมันถั่วเหลืองในผู้หญิงที่มีภาวะอ้วนลงพุง (abdominal obesity) อายุระหว่าง 20-40 ปี (กลุ่มละ 20 คน) โดยให้รับประทาน 30 มิลลิลิตรต่อวันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ระหว่างการทดลองผู้ทดสอบทุกคนได้รับอาหารพลังงานต่ำ (hypocaloric diet) และออกกำลังกาย 4 วัน/สัปดาห์ หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า น้ำมันมะพร้าวไม่ทำให้น้ำหนักตัวและดัชนีมวลกาย (body mass index, BMI) เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับก่อนเริ่มการทดลอง เมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงของระดับไขมันในเลือด พบว่า กลุ่มที่ได้รับน้ำมันมะพร้าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับคอเลสเตอรอลรวมและลิโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) แต่มีระดับลิโพโปรตีนความหนาแน่นสูง (HDL) เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.03 ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับน้ำมันถั่วเหลือง มีระดับคอเลสเตอรอลรวมและลิโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.45 และ 23.48 ตามลำดับ และมีระดับลิโพโปรตีนความหนาแน่นสูง (HDL) ลดลงร้อยละ 12.62 เมื่อเทียบกับก่อนเริ่มการทดลอง อย่างไรก็ตาม ระดับไตรกลีเซอไรด์ของทั้งสองกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Assuncao, Ferreira, Santos, Cabral, & Florencio, 2009) ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำน้ำมันมะพร้าวมาใช้ในการเป็นสารทดแทนมันเนยในไอศกรีม Granger, Barey, Combe, Veschambre และ Cansell (2003) และ Granger, Leger, Barey, Langendorff และ Cansell (2005) ได้ทดลองใช้น้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการรีไฟน์ (refined coconut oil) มาใช้ในการผลิตไอศกรีม พบว่า ระยะเวลาในการละลายของไอศกรีม

ดังกล่าวมีค่ามากกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชัน (hydrogenated oil) ซึ่งอาจเกิดปฏิสัมพันธ์ (interaction) ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ดังกล่าวกับอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการทดลองและอาจเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโครงสร้างไขมันที่เป็นร่างแหสามมิติ (3 dimension networks) อย่างช้า ๆ จนเป็นโครงสร้างที่ช่วยพยุงผลึกน้ำแข็งและฟองอากาศ ส่งผลให้ชะลอการละลายของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมได้ นอกจากนี้ค่าความแข็งตึง (stiffness) ในไอศกรีมดังกล่าวมีค่ามากกว่าในตัวอย่างไอศกรีมที่ใช้ไขมันที่ผ่านการไฮโดรจิเนตซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่า tan δ ของสมบัติวิทยากระแสที่มีค่าเพียงเล็กน้อย ส่วน Pelan, Watts, Campbell และ Lips (1997) ได้ทดลองผลิตไอศกรีมที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวกับไขมันปาล์มเพื่อศึกษาผลของชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ ในขณะที่ Choo, Leong และ Lu (2010) ศึกษาถึงผลของอัตราส่วนของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่แทนที่มันเนยต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม พบว่า ไอศกรีมที่แทนที่มันเนยด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในสัดส่วนร้อยละ 4, 8 และ 12 จากปริมาณมันเนยที่ใช้ในสูตรการผลิตร้อยละ 12 มีค่าการต้านทานการละลายลดลง และค่าสี ความแน่นเนื้อ ความเนียนของไอศกรีมที่ประเมินทางประสาทสัมผัสแตกต่างจากไอศกรีมที่ไม่มีการทดแทนมันเนยอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม การผลิตไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันเหล่านี้ยังคงมีการใช้น้ำนมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสสูงซึ่งอาจทำให้ผู้บริโภคที่มีความไวและแพ้ต่อน้ำตาลแล็กโทสอาจปฏิเสธการบริโภคไอศกรีมเหล่านี้ได้ ดังนั้นการใช้น้ำนมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำจึงน่าจะเป็นทางออกในการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้

น้ำนมน้ำตาลแล็กโทสต่ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ปริมาณน้ำตาลแล็กโทสในน้ำนมลดลงโดยอาศัยเอนไซม์แลคเตสหรือกาแลคโตซิเดสย่อยโมเลกุลของน้ำตาลแล็กโทสให้เป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลกาแล็กโทส ทำให้ผู้ที่แพ้น้ำตาลแล็กโทสสามารถบริโภคได้โดยไม่ปรากฏอาการ lactose intolerance (Vesa, Marteau & Korpela, 2000) ผู้ที่มีภาวะพร่องเอนไซม์แลคเตสมีจำนวนมากถึงร้อยละ 90 ในประชากรเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Curry, 2013) ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุเนื่องมาจากกรรมพันธุ์ของประชากรในภูมิภาคเอเชียเอง (Jost, Vilotte, Duluc, Rodeau, & Freund, 1999; Pribila, Hertzler, Martin, Weaver, & Savaiano, 2000; Bulhões et al., 2007) ทั้งนี้พบว่ากลุ่มประชากรวัยผู้ใหญ่ในประเทศไทยสามารถดื่มน้ำนมได้เพียงร้อยละ 10 เท่านั้น (Curry, 2013) แนวทางการรักษาภาวะขาดหรือพร่องเอนไซม์แล็คเทส ทำได้โดยให้ผู้ที่มีภาวะขาดหรือพร่องเอนไซม์แล็คเทสดื่มน้ำน้ำนมอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าร่างกายจะเกิดอาการแพ้อยู่ แต่ความรุนแรงของอาการแพ้จะลงได้ การแก้ปัญหาวิธีนี้อาจต้องใช้เวลานานเพื่อให้ร่างกายเกิดการเหนี่ยวนำการสร้างเอนไซม์แล็คเทสขึ้นมาใหม่ การงดหรือลดน้ำนมที่มีน้ำตาลแล็กโทสเป็นอีกทางออกหนึ่ง แต่น้ำนมถือเป็นอาหารที่อุดมด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ราคาค่อนข้างถูกและมีจำหน่ายทั่วไป การงดหรือลดการบริโภคน้ำนมจึงไม่ถือเป็นทางเลือกที่ดีของผู้บริโภค การแก้ปัญหาในต่างประเทศคือการรณรงค์ให้ผู้บริโภคหันมาบริโภคน้ำนมและ

ผลิตภัณฑ์น้ำนมที่มีการเพิ่มเอนไซม์แล็คเทสเข้าไป (Lentze & Branski, 2011) ทั้งนี้พบว่าในต่างประเทศมีการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมที่ลดปริมาณน้ำตาลแล็กโทสอย่างแพร่หลายเพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภคที่มีภาวะขาดหรือพร่องเอนไซม์แล็คเทส ขณะที่ประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์เหล่านี้เพียงเล็กน้อยในท้องตลาดและส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์นำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำนมเหล่านี้มีราคาสูงกว่าปกติ (กลุ่มวิจัยและพัฒนาโคน้ำนม สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์, 2011) การนำน้ำนมเหล่านี้ไปผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมอื่นๆ เช่น ไอศกรีมจึงอาจทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น กลุ่มวิจัยผลิตภัณฑ์น้ำนม สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (2557) ได้ทดลองผลิตเอนไซม์เบต้ากาแลคโตซิเดสเพื่อลดปริมาณน้ำตาลแล็กโทสในน้ำนม พบว่า เอนไซม์เบต้ากาแลคโตซิเดส (Thaiwong, Thaiudom, Haltrich, & Yamabhai, 2014) สามารถย่อยน้ำตาลแล็กโทสให้เป็นน้ำตาลกลูโคสและกาน้ำตาลแล็กโทสได้ถึงร้อยละ 70-80 (น้ำฝน ไทยวงษ์, 2559) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะมีการผลิตน้ำนมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดอาการแพ้น้ำตาลแล็กโทสได้ อย่างไรก็ตาม การนำน้ำนมดังกล่าวมาใช้ในการผลิตเป็นไอศกรีมยังค่อนข้างจำกัดในประเทศไทย และยังไม่มีรายงานการวิจัยใด ๆ ที่ศึกษาการใช้น้ำนมน้ำตาลแล็กโทสต่ำร่วมกับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มาผลิตเป็นไอศกรีม อันอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพ ทางกระแสวิทยา ทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาถึงผลของส่วนประกอบของน้ำนมน้ำตาลแล็กโทสต่ำร่วมกับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทั้งสองต่อสมบัติดังกล่าวของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและไอศกรีมเพื่อได้มาซึ่งองค์ความรู้ในเชิงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารอันจะเป็นประโยชน์ในแวดวงของอุตสาหกรรมอาหารที่เกี่ยวข้องต่อไป

2.2 ไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นคอลลอยด์ประเภทอิมัลชันของน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water) ประกอบด้วยฟองอากาศ (Air bubble) ผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) เม็ดไขมันที่เกิดจากการรวมตัวกันบางส่วน (Partially coalesced fat globule) เป็นโครงสร้างตาข่ายของไขมัน (Fat network) โดยที่ส่วนประกอบเหล่านี้กระจายตัวอยู่ในส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัว (Unfrozen mix serum) ที่มีน้ำตาล โปรตีน พอลีแซ็กคาไรด์ และน้ำละลายอยู่ (Marshall, Goff, & Hartel, 2003) เนื่องจากไอศกรีมมีส่วนประกอบหลายชนิด ได้แก่ น้ำนมผง (Milk powder) มันเนย (Butterfat or milkfat) สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizers) สารให้ความหวาน (Sweetener) ซึ่งส่วนประกอบแต่ละชนิดล้วนมีความสำคัญต่อคุณภาพของไอศกรีมต่างกัน เช่น ไขมันช่วยเพิ่มความมันและทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสนุ่ม สารให้ความหวานช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของไอศกรีมและช่วยเพิ่มรสชาติ เป็นต้น (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531) การใส่ส่วนผสมที่สมดุลจะทำให้ได้ไอศกรีมที่มีลักษณะดี เนื้อสัมผัสเนียน เมื่อผ่านการเกิดผลึกน้ำแข็งในขณะปั่น

(Whipping and freezing) จะทำให้ไอศกรีมมีค่าการขึ้นฟู (Overrun) สูง มีอัตราการหลอมละลาย (Melting rate) ต่ำ โดยส่วนผสมแต่ละชนิดที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมเหล่านี้มีบทบาทและหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

2.2.1 ไขมัน

ไขมันเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญในไอศกรีม ทำหน้าที่ให้กลิ่นรส ความรู้สึกในปาก(Mouth-feel) ช่วยให้ไอศกรีมมีลักษณะเป็นเนื้ออาหาร (Body) นอกจากนี้ยังช่วยให้ไอศกรีมมีรสมันอร่อย เนื้อสัมผัสเรียบเนียน เนื่องจากไขมันช่วยกักเก็บฟองอากาศในโครงสร้างของไอศกรีมให้มีขนาดเล็กสม่ำเสมอตลอดการผลิตและการเก็บรักษา (Varnam & Sutherland, 1994; Marshall et al., 2003) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ปี พ.ศ. 2556 กำหนดให้ไอศกรีมดัดแปลงต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ5 ของน้ำหนัก โดยมันเนยจัดเป็นแหล่งไขมันหลักที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม

2.2.2 ของแข็งในน้ำนมที่ไม่รวมมันเนย (Milk solid not fat, MSNF)

ของแข็งในน้ำนมที่ไม่รวมมันเนยมีหน้าที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของไอศกรีม เนื่องจากโปรตีนช่วยเพิ่มเนื้อและต้านแรงบดเคี้ยวให้กับไอศกรีมซึ่งถือเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการ และของแข็งในน้ำน้ำนมที่ไม่รวมมันเนยนี้ยังทำให้ค่าการขึ้นฟูสูงขึ้นโดยไม่ทำให้เนื้อไอศกรีมแยกตัวหรือแตกง่าย แหล่งของ ของแข็งในน้ำน้ำนมที่ไม่รวมมันเนยที่ดีที่สุด คือ น้ำนมสด แต่เนื่องจากน้ำนมสดในประเทศไทยมีราคาผันผวนประกอบกับการขนส่งและเก็บรักษาให้มีความสดเสมอนั้นทำได้ยาก ดังนั้นจึงมีการใช้น้ำนมผงขาดมันเนย น้ำนมข้นจืด น้ำนมข้นหวาน น้ำนมผง เวย์โปรตีน และเคซีเนท เป็นแหล่งของของแข็งในน้ำน้ำนมที่ไม่รวมมันเนยในการผลิตไอศกรีมแทนน้ำนมสด (ทศพร นามโฮง, 2552)

2.2.3 สารให้ความหวาน

สารให้ความหวานที่นำมาใช้ในไอศกรีมมีหลายชนิดได้แก่ ซูโครส (Sucrose) กลูโคส (Glucose) ฟรุกโตส (Fructose) น้ำผึ้ง (Honey) และคอร์นไซรัป (Corn syrup) เป็นต้น สารให้ความหวาน นอกจากจะให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์แล้วยังช่วยเพิ่มความหนืด (Viscosity) เพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมให้ดีขึ้น และลดจุดเยือกแข็งของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของสารให้ความหวานมีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีม โดยสารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะทำให้จุดเยือกแข็งของไอศกรีมลดลงได้มากกว่าสารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำที่แข็งตัวในไอศกรีมหลังการปั่นไอศกรีม (Hartel, 2001)

2.2.4 สารที่ทำให้เกิดการคงตัว

สารที่ทำให้เกิดการคงตัวเป็นสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ที่ช่วยให้ความคงตัวต่อผลิตภัณฑ์ โดยเพิ่มความหนืดให้กับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและไอศกรีมส่วนที่ไม่เป็นน้ำแข็ง สารที่มักนำมาใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดการคงตัวได้แก่ โลคัสบีนกัม (Locust bean gum) กัวร์กัม (Guar gum) แซนแทนกัม (Xantham gum) โซเดียมแอลจิเนต (Sodium alginate) คาราจีแนน (Carrageenan) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส(Carboxymethylcellulose) เป็นต้น สารที่ทำให้เกิดการคงตัวสามารถช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในไอศกรีมโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิไม่คงที่ สารที่ทำให้เกิดการคงตัวทุกชนิดมีสมบัติในการอุ้มน้ำสูง ซึ่งมีผลทำให้เนื้อสัมผัสเรียบเนียนและช่วยให้ไอศกรีมละลายช้าลง แต่ไม่มีผลต่อจุดเยือกแข็ง (Marshall et al., 2003) ในอุตสาหกรรมไอศกรีมมักใช้สารที่ทำให้เกิดการคงตัวหลายชนิดร่วมกันหรือใช้สารที่ทำให้เกิดการคงตัวร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งให้ได้ผลดีกว่าการใช้สารที่ทำให้เกิดการคงตัวหรืออิมัลซิไฟเออร์เพียงชนิดเดียว อย่างไรก็ตาม การใช้สารที่ทำให้เกิดการคงตัวในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมมีเนื้อหยาบและมีลักษณะเนื้อแน่นเกินไป (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531) นอกจากนี้ปริมาณและชนิดของสารที่ทำให้เกิดการคงตัวที่ใช้ควรคำนึงถึงองค์ประกอบหรือชนิดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม เวลาในการแปรรูป ความดัน อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาด้วย (Hagiwara & Hartel, 1996)

2.2.5 อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เป็นสารที่มีทั้งส่วนที่สามารถสร้างพันธะกับน้ำ (Hydrophilic) และส่วนที่สามารถสร้างพันธะกับไขมัน (Lypophilic) จึงแทรกอยู่ที่ผิวระหว่างเม็ดไขมันและน้ำในเนื้อไอศกรีมได้ อิมัลซิไฟเออร์มีหน้าที่ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำและไขมัน ทำให้ไอศกรีมคงลักษณะอิมัลชันไว้ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดการแยกชั้นของวัฏภาคน้ำมันกับวัฏภาคน้ำ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บอากาศในขณะตีปั่นและการขึ้นฟูของไอศกรีมและความนุ่มเนียนของเนื้อไอศกรีม นอกจากนี้ยังช่วยให้ไอศกรีมมีร้อยละของการขึ้นฟูสม่ำเสมอ ฟองอากาศในไอศกรีมมีขนาดเล็กลง และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในโครงสร้างของไอศกรีม อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ส่วนน้ำนมากเป็นสารพวกโมโนกลีเซอไรด์หรือไดกลีเซอไรด์ เช่น Polyethylene glycol sorbitan monostearate (Tween 60) , Polyoxy- ethylene (80) sorbitan monooleate (Tween 80) และ กลีเซอรอล เป็นต้น (Goff, Liboff, Jordan, & Kinsella, 1987; Goff & Jordan, 1989; Goff & Hartel, 2013)

2.2.6 สารปรุงแต่งกลิ่นรสและสี

สารปรุงแต่งกลิ่นรสมีหน้าที่สร้างความนิยมในกลุ่มผู้บริโภค ส่วนสีผสมอาหารมีหน้าที่ช่วยดึงดูดความสนใจจากผู้บริโภคในตัวผลิตภัณฑ์ (วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ, 2531) โดยสารปรุงแต่งกลิ่นรสมี 2 ชนิด ได้แก่ สารปรุงแต่งกลิ่นรสที่ละลายได้ในน้ำและที่

ละลายได้ในน้ำมัน ซึ่งสารปรุงแต่งกลิ่นรสและสีอาจได้มาจากธรรมชาติ (Natural flavor and colors) หรือจากการสังเคราะห์ (Synthetic flavor and colors) โดยสารปรุงแต่งกลิ่นรสและสีที่ได้จากธรรมชาติมีความสามารถในการละลายดี แต่ราคาค่อนข้างแพงและอาจต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่าสารปรุงแต่กลิ่นรสและสีที่ได้จากการสังเคราะห์ (Russell, 2008)

2.3 ขั้นตอนการผลิตไอศกรีมในระดับอุตสาหกรรม

2.3.1 การคำนวณส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

การคำนวณส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมจะเริ่มจากการกำหนดสูตรไอศกรีมที่ต้องการขึ้นมา จากนั้นจึงกำหนดส่วนประกอบไอศกรีม ปริมาณที่ต้องการผลิต วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต องค์ประกอบของสารอาหารในวัตถุดิบ แล้วจึงคำนวณหาน้ำหนักของส่วนผสมต่าง ๆ ในไอศกรีม (Goff & Hartel, 2013)

2.3.2 การเตรียมส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

ในการเตรียมส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทำได้โดยการชั่งน้ำหนักของส่วนผสมต่าง ๆ ตามการผลิตไอศกรีมในสูตรที่คำนวนได้จาก 2.3.1 แล้วจึงทำการผสมส่วนผสมแห้ง ได้แก่ ธาตุน้ำน้ำนมไม่รวมมันเนย น้ำตาล และสารที่ทำให้เกิดการคงตัวผงเข้าด้วยกัน แล้วนำไปผสมลงในส่วนผสมที่เป็นของเหลว (เช่น ครีม น้ำนมสด นมข้น น้ำเชื่อม มันเนยบริสุทธิ์ และส่วนผสมอื่น ๆ ที่เป็นของเหลว เป็นต้น) ที่กวนผสมและให้ความร้อนประมาณ 50 องศาเซลเซียสก่อนหน้านี้ การผสมต้องทำให้ส่วนผสมแข็งดังกล่าวละลายจนหมดในส่วนของของเหลวด้วยการคนอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา (Goff & Hartel, 2013)

2.3.3 กระบวนการพาสเจอไรเซชัน (Pasteurization)

หลังจากที่คนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันและส่วนผสมที่เป็นวัตถุดิบแห้งละลายดีแล้วจึงเริ่มทำการพาสเจอไรซ์ (Pasteurize) ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม โดยกระบวนการพาสเจอไรซ์นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค การพาสเจอไรซ์ที่เหมาะสมควรให้ความร้อนถึงระดับอุณหภูมิที่กำหนดอย่างรวดเร็วและคงไว้ ณ อุณหภูมินั้นตามเวลาที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 2.1 แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.1 เวลาและอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ใช้ในกระบวนการพาสเจอไรเซชันส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

วิธีการ	ระยะเวลา	อุณหภูมิ (°C/°F)
Batch	15 , 30 นาที	70/158 , 69/155
High-Temperature Short time (HTST)	25 วินาที	80/175
High-Heat Short time (HHST)	1-3 วินาที	90/194
Ultra High Temperature	> 2 วินาที	132/280

ที่มา: Marshall et al. (2003)

2.3.4 ฮอโมจีไนเซชัน (Homogenization)

ฮอโมจีไนเซชันเป็นการลดขนาดของอนุภาควัฏภาคกระจาย (dispersed phase) ให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้อนุภาคดังกล่าวสามารถกระจายตัวหรือแขวนลอยอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่องได้ วัฏภาคกระจายในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ได้แก่ อนุภาคเม็ดไขมันที่ได้จากมันเนยเมื่อผ่านกระบวนการฮอโมจีไนเซชันจะมีขนาดลดลงและมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-3 ไมครอน ทำให้พื้นที่ผิวของอนุภาคเม็ดไขมันเพิ่มมากขึ้น กระบวนการฮอโมจีไนเซชันในการผลิตไอศกรีมนิยมใช้การลดขนาดด้วยการปรับความดันของเครื่องฮอโมจีไนเซอร์เป็นสองขั้นตอน โดยความดันในขั้นตอนแรกมีค่าประมาณ 2,500-3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อให้มันเนยแตกตัวออกเป็นอนุภาคขนาดเล็ก และค่าความดันในขั้นที่สองประมาณ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะป้องกันอนุภาคขนาดเล็กของมันเนยเกาะตัวกันเป็นกลุ่ม (clustering) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการฮอโมจีไนเซชันจะทำให้ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเป็นเนื้อเดียวกันและมีความคงตัวต่อการแยกชั้น (phase separation) เพิ่มขึ้น ทำให้การปั่นส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเป็นไปได้โดยง่าย รวดเร็ว ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสนุ่ม นอกจากนี้กระบวนการฮอโมจีไนเซชันยังช่วยลดปริมาณการใช้สารที่ทำให้เกิดการคงตัวลงด้วย (Goff & Hartel, 2013)

2.3.5 การบ่ม (Aging)

การบ่มเป็นกรรมวิธีการเก็บรักษาส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่อุณหภูมิประมาณ 2-4 องศา-เซลเซียส โดยระยะเวลาในการบ่มจะนานเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารที่ทำให้เกิดการคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ การบ่มต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อทำส่วนผสมต่าง ๆ ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีการละลายอย่างสมบูรณ์และเพื่อให้อนุภาคเม็ดไขมันบางส่วนเกิดการจับเรียงตัว (partial coalescence) เป็นโครงสร้างสามมิติ ซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนตัวดูดซับของโปรตีนและอิมัลซิไฟเออร์ที่ล้อมรอบพื้นผิวอนุภาคเม็ดไขมันในขณะบ่มนั่นเอง (Goff & Hartel, 2013)

2.3.6 การปั่นไอศกรีม (Whipping and freezing)

หลังจากบ่มส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมแล้ว นำส่วนผสมดังกล่าวไปเติมอากาศลงในโครงสร้างของไอศกรีมด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม ซึ่งเครื่องปั่นจะมีสารฟรีออนหรือแอมโนเนียเป็นสารทำให้เย็น (Coolant) และมีใบมีดขูดผิวผนังภายในเครื่องปั่น เพื่อให้น้ำในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเปลี่ยนสถานะ น้ำเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งอย่างสม่ำเสมอภายในเครื่อง ในขณะที่ปั่นนี้อากาศจะถูกเติมเข้าไปในเนื้อของไอศกรีมที่เริ่มแข็งตัวทำให้ปริมาตรของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมนั่นเอง (Goff & Hartel, 2013)

2.3.7 การทำให้ไอศกรีมแข็งตัว (Hardening)

การแช่แข็งเป็นขั้นตอนในการรักษาลักษณะเนื้อสัมผัส และค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมให้คงอยู่ เนื่องจากไอศกรีมที่ออกจากเครื่องปั่นจะมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว ไม่สามารถคงรูปร่างได้ การแช่แข็งในภาชนะบรรจุให้มีอุณหภูมิลดลงเหลือ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าเป็นขั้นตอนที่ทำให้น้ำในส่วนที่ยังไม่เปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งในขณะปั่นเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะไปเป็นผลึกน้ำแข็งอย่างสมบูรณ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำส่วนที่ยังไม่เป็นผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมเพิ่มขึ้น และทำให้จุดเยือกแข็งของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมลดลงจนถึงจุดหนึ่งที่ไม่มีผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นอีก โดยทั่วไปน้ำในส่วนที่ไม่แข็งตัวในไอศกรีมหลังผ่านกระบวนการแช่แข็งแล้วจะมีปริมาณคงเหลือไม่เกินร้อยละ 2 ของปริมาณน้ำเริ่มต้นในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Goff & Hartel, 2013)

2.3.8 การเก็บรักษา

หลังจากไอศกรีมผ่านการแช่แข็งอาจจำหน่ายทันที หรือเก็บรักษาไว้ไม่เกิน 1-2 สัปดาห์ อาจใช้ห้องแช่แข็งเป็นห้องเก็บรักษาหรือแยกไอศกรีมเก็บไว้ในห้องเก็บรักษาต่างหาก โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง -18 องศาเซลเซียส ถึง -23 องศาเซลเซียส

2.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Factor affecting ice crystallization)

การเกิดผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมมีผลจากหลายปัจจัย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

2.4.1 ผลที่มาจากส่วนผสมของไอศกรีม (Formulation effects)

ไอศกรีมประกอบด้วยส่วนผสมหลายชนิดดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 2.2 ซึ่งส่วนประกอบ แต่ละชนิดล้วนมีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม (Julien, 1985; Flack; 1989) Arbuckle (1986) อธิบายว่าส่วนผสมแต่ละชนิดและปฏิสัมพันธ์ที่เกิดระหว่างส่วนผสมที่ใช้ มีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม ได้แก่

1) ปริมาณน้ำในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม เนื่องจากน้ำมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็งตามการเปลี่ยนแปลงแบบ Glass transition ปริมาณ

น้ำยังบ่งบอกถึงปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) ที่มีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งได้ด้วย Donhowe, Hartel และ Bradley (1991) พบว่าผลึกน้ำแข็งของไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำจะมีขนาดใหญ่กว่าผลึกน้ำแข็งของไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง เนื่องจากส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งต่ำจะมีปริมาณน้ำในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูง ทำให้ไอศกรีมหลังผ่านการปั่นมีปริมาณของผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นน้านมากกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง

2) ชนิดและระดับความเข้มข้นของสารให้ความหวาน เนื่องจากสารให้ความหวานมีผลต่อจุดเยือกแข็งและการเปลี่ยนสถานะของน้ำในการเกิด Glass transition โดยพบว่าจุดเยือกแข็งจะแปรตามขนาดและจำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลาย Hartel (2001) ทำการเปรียบเทียบผลของสารให้ความหวาน 4 ชนิดต่ออุณหภูมิจุดเยือกแข็ง พบว่า ฟรุกโตสสามารถลดจุดเยือกแข็งของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมได้มากกว่าซูโครสที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน เนื่องจากฟรุกโตสมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าจึงสามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลของน้ำได้มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบผลของคอร์นไซรัป 42DE กับซูโครส พบว่าคอร์นไซรัป 42DE มีจุดเยือกแข็งสูงกว่าซูโครส เนื่องจากคอร์นไซรัปเป็นสารพวกแซคคาไรด์สายยาว (Long chain saccharides) สามารถขัดขวางและยับยั้งการเคลื่อนที่เข้าหากันของโมเลกุลน้ำ ส่งผลให้การเกิดนิวเคลียสของน้ำแข็งเกิดขึ้นได้ยากและต้องอาศัยระยะเวลานาน เนื่องจากมีพอลิแซ็กคาไรด์สายยาวขัดขวางอยู่ ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดใหญ่กว่าผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างที่ใช้ซูโครส ดังนั้นส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีสารให้ความหวานในปริมาณสูงหรือสารให้ความหวานที่มีมวลโมเลกุลต่ำในปริมาณสูงจะมีค่าจุดเยือกแข็งต่ำ (Goff & Hartel, 2013)

3) การเพิ่มปริมาณไขมัน (Fat content) เมื่อปริมาณไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในสูตรส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมก็จะลดลง ส่งผลให้น้ำในสถานะที่เป็นผลึกน้ำแข็ง (Ice-phase volume) ลดลง ส่งผลให้ขนาดผลึกน้ำแข็งเฉลี่ยเล็กลง (Arbuckle, 1986; Keeney & Kroger, 1974)

4) ของแข็งในน้ำนมที่ไม่รวมมันเนยในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมบ่งบอกถึงระดับความเข้มข้นของน้ำตาลแล็กโทส (Lactose) ปริมาณโปรตีน(Proteins) และเกลือ (Salts) โดยปริมาณของแข็งในน้ำน้ำนมที่ไม่รวมมันเนยในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมจะส่งผลต่อการลดจุดเยือกแข็งของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม และการเปลี่ยนสถานะของน้ำไปเป็นน้ำแข็งในการเกิด glass transition ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณของ MSNF สูงจะมีจุดเยือกแข็งต่ำ (Hartel, 2001) เมื่อปริมาณของแข็งในน้ำน้ำนมที่ไม่รวมมันเนยในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูงส่งผลให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งเฉลี่ยมีค่าลดลง (Arbuckle, 1986)

5) อิมัลซิไฟเออร์เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีผลโดยตรงต่อการดูดซับของโปรตีนบริเวณพื้นผิวของอนุภาคเม็ดไขมัน (Fat globules) โดยอิมัลซิไฟเออร์ในระบบของไอศกรีมจะมี

ผลต่อการเกิดความไม่เสถียรของอนุภาคเม็ดไขมัน (Fat destabilization) ด้วยการเข้าแทนที่โปรตีนที่ดูดซับบริเวณพื้นผิวของอนุภาคเม็ดไขมัน ในขณะที่เกิดการแทนที่นี้ทำให้บางส่วนของอนุภาคเม็ดไขมันไม่มีโปรตีนหรืออิมัลซีไฟเออร์ห่อหุ้มพื้นผิวจึงทำให้พื้นผิวของอนุภาคเม็ดไขมันสามารถเข้าใกล้ชิดและเกาะกันเป็นกลุ่มได้ อิมัลซีไฟเออร์มีผลต่อความไม่เสถียรของอนุภาคเม็ดไขมันในไอศกรีมแต่กลับมีผลต่อขนาดของผลึกน้ำแข็ง (Marshall et al., 2003; Barfod & Sparso, 2007) แต่กลับมีผลต่อขนาดของผลึกน้ำแข็งเพียงเล็กน้อย (Marshall et al., 2003)

6) สารที่ทำให้เกิดการคงตัว เป็นสารที่เติมลงในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเพื่อควบคุม ขนาดของผลึกน้ำแข็งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่เกิดการตกผลึกของผลึกน้ำแข็ง (Ice recrystallization) โดยสารที่ทำให้เกิดการคงตัวที่ระดับความเข้มข้นประมาณร้อยละ 0.3 ของเจลาติน กัวกัม โลคัสบีนกัม คาราจีแนน และ แซนแทน จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสถานะของน้ำในการเกิด glass transition (Goff, Caldwell & Stanley, 1993) การใส่สารที่ทำให้เกิดการคงตัวส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และช่วยลดอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งในระบบส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมต้นแบบ (Cottrell, Pass & Phillips, 1980) Caldwell, Goff และ Stanley (1992) พบว่าขนาดของผลึกน้ำแข็งในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใส่สารที่ทำให้เกิดการคงตัวจะมีขนาดเล็กกว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ไม่ใส่สารที่ทำให้เกิดการคงตัว

2.4.2 ผลที่มาจากกระบวนการผลิต (Processing effects)

Hartel (1996) ได้รายงานว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อขนาด รูปร่าง และจำนวนของผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม คือ เครื่องปั่นไอศกรีมและสภาวะของกระบวนการผลิตไอศกรีม เครื่องปั่นที่ได้รับความนิยมในการปั่นไอศกรีม ได้แก่ เครื่องปั่นแบบมีใบมีดขูดผิว ทั้งในกระบวนการผลิตไอศกรีมแบบกะ (Batch process) และแบบต่อเนื่อง (Continuous process) ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปั่นไอศกรีมคือความสามารถของเครื่องในการลดอุณหภูมิส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Draw temperature) หรืออัตราการนำความร้อนออกจากส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Rate of heat removal) ถ้าเครื่องปั่นสามารถนำความร้อนออกจากส่วนผสมได้เร็วจะทำให้เกิดนิวเคลียสผลึกของน้ำแข็งขนาดเป็นจำนวนมาก (Goff, 1997)

2.5 วิทยากระแสของไหล (Rheology)

วิทยากระแสเป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหล (Flow) และการเสียรูป (Deformation) ของวัสดุภายใต้การกระทำของแรง (Steffe, 1996) โดยวัสดุดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ของแข็ง (Solid) ของเหลว (Liquid) และวัสดุที่มีสมบัติวิสโคอิลาสติก (Viscoelastic) โดยของแข็งเป็นวัสดุที่มีการเสียรูปร่างแปรผันตามแรงกระทำ (Force) วัสดุประเภทนี้จะมีค่าความเค้น (Stress) แปรผันตรงกับความเครียด (Strain) เมื่อไม่มีแรงกระทำต่อวัสดุหรือเมื่อเอาแรงกระทำนั้นออกไป วัสดุจะสามารถคืนรูปกลับมาสู่ร่างเดิมได้ สปริง ถือเป็นตัวอย่างของวัสดุ

ประเภทนี้ ส่วนวัสดุประเภทของเหลวนั้น เมื่อให้แรงกระทำต่อวัสดุ ๆ จะเกิดการไหลและเมื่อหยุดให้แรงกระทำต่อวัสดุ ๆ ไม่สามารถคืนกลับสู่รูปเดิมได้ เช่น การให้แรงกระทำกับน้ำเพื่อให้เกิดการไหล เมื่อหยุดให้แรงแก่น้ำ ๆ จะไม่สามารถไหลย้อนกลับได้ สำหรับวัสดุที่มีสมบัติวิสโคอิลาสติกนั้นเป็นวัสดุที่มีสมบัติก้ำกึ่งระหว่างของแข็งและของเหลวข้างต้น เมื่อให้แรงกระทำแก่วัสดุประเภทนี้วัสดุจะเสียรูป เช่นเดียวกับของเหลวแต่เมื่อเอาแรงกระทำต่อวัสดุนั้นออกไป วัสดุประเภทนี้จะเกิดการคืนรูปเช่นเดียวกับของแข็ง อย่างไรก็ตาม การคืนรูปของวัสดุวิสโคอิลาสติกนี้จะไม่สามารถกลับคืนได้เหมือนในกรณีของของแข็ง ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเสียรูปของวัสดุทั้ง 3 ประเภทแสดงดังรูปที่ 2.1

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมบัติทางวิทยากระแส เรียกว่า rheometer มีทั้งแบบที่ควบคุมความเค้น (Stress controlled) และควบคุมความเครียด (Strain controlled) โดยมีหัววัด (Probe) ที่ทำหน้าที่ถ่ายเทแรงกระทำต่อตัวอย่าง โดยหัววัดแต่ละชนิดเหมาะกับตัวอย่างในแต่ละประเภท เช่น Concentric cylinder เหมาะกับวัสดุที่มีลักษระเป็นของเหลว Cone and Plate และ Parallel Plate เหมาะกับวัสดุกึ่งแข็งกึ่งเหลว และ Rectangular Torsion เหมาะสำหรับวัสดุที่ต้องการทดสอบการยืดหด เป็นต้น (TA Instruments – Waters LLC, 2019)

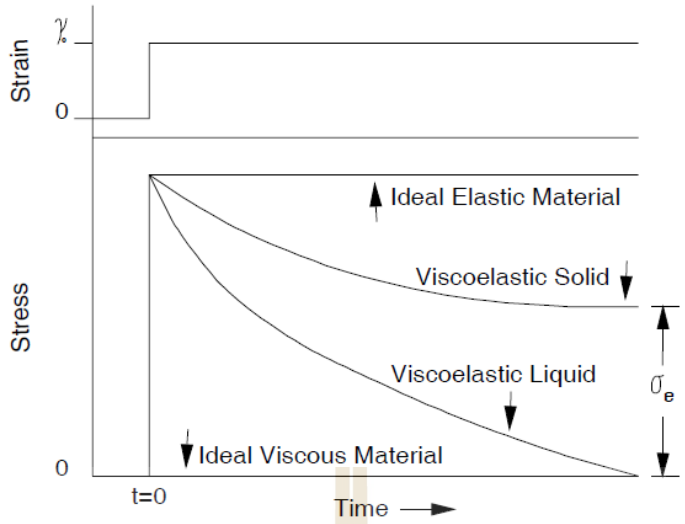
การทดสอบสมบัติทางวิทยากระแสสามารถแบ่งได้ตามลักษณะข้อมูลที่ต้องการ ได้แก่ การทดสอบหาพฤติกรรมการไหล (Flow behavior) และแบบ Dynamic test ที่เป็นการทดสอบเพื่อหาโครงสร้างของวัสดุโดยพยายามทำให้เกิดการสูญเสียโครงสร้างของวัสดุน้อยที่สุด

2.6 รูปแบบพฤติกรรมการไหลของของไหล

ลักษณะการไหลของของไหลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.6.1 การไหลแบบนิวโทเนียน (Newtonian fluids)

ของไหลชนิดนี้จะมีลักษณะการไหลที่เป็นไปตามกฎของนิวตัน โดยมีความสัมพันธ์ของแรงเค้นเฉือน(shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) เป็นเส้นตรงที่ตัดผ่านจุดกำเนิดของกราฟ (origin point) ดังรูป 2.2 โดยค่าความชันของกราฟ (slop) บ่งบอกถึงค่าความหนืด (viscosity) ที่มีหน่วยเป็นปาสคัลวินาที (Pa.s) ความหนืดของของไหลแบบนิวโทเนียนนี้แสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดของของไหลมีค่าคงที่ตลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงเค้นเฉือนหรืออัตราเฉือน ตัวอย่างของไหลชนิดนี้ ได้แก่ น้ำ น้ำมัน น้ำเชื่อม น้ำผลไม้ น้ำผึ้ง น้ำนม กาแฟ กลีเซอรีน แอลกอฮอล์ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 การตอบสนองต่อการให้แรงกระทำต่อวัสดุ

ที่มา: Steffe (1996)

2.6.2 ของไหลแบบนอน-นิวโทเนียน (Non-Newtonian fluids)

เป็นของไหลที่มีลักษณะการไหลไม่เป็นไปตามการไหลแบบนิวโทเนียน โดยของไหลมีค่าความหนืดไม่คงที่ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ การเปลี่ยนแปลงความหนืดของของไหลประเภทนี้ขึ้นอยู่กับอัตราเฉือน ดังรูปที่ 2.2 โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) ของไหลแบบนอน-นิวโทเนียนที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent non-newtonian fluids)

ค่าความหนืดของของไหลจำพวกนี้ขึ้นอยู่กับอัตราความเค้นเฉือนกับความเครียดเฉือนที่ได้รับ แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ของไหลได้รับความเค้นเฉือนแต่อย่างใด นั่นคือความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนไม่เป็นเส้นตรงหรือเป็นเส้นตรงแต่มีค่าความเค้นคราก (yield stress) ปรากฏในกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว ตัวอย่างของไหลประเภทนี้ ได้แก่

1.1) Pseudoplastic type เป็นของไหลที่มีค่าความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนหรือเพิ่มแรงเค้น ทำให้ของไหลประเภทนี้มีพฤติกรรมการไหลที่เรียกว่า Shear thinning ตัวอย่างเช่น น้ำผลไม้เข้มข้น กาวใส สารช่วยแขวนตะกอน สารละลายพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ สารละลายพอลิเมอร์สังเคราะห์ เป็นต้น

1.2) Bingham type ของไหลประเภทนี้จะไม่มีการไหลเมื่อมีแรงกระทำภายนอกมากระทำจนถึงระดับของแรงค่าหนึ่งของไหลจึงแสดงพฤติกรรมการไหลคล้ายของไหลนิวโทเนียน จุดที่แรงเค้นมีผลทำให้ของไหลประเภทนี้เกิดการไหลได้เรียกว่า ค่าแรงเค้นคราก ซึ่งหมายถึงค่าแรงเค้นที่น้อยที่สุดที่ของไหลประเภทนี้สามารถต้านทานได้ก่อนที่จะไหล ตัวอย่างของของไหลที่มีพฤติกรรมแบบนี้ได้แก่ ซอสมะเขือเทศ เป็นต้น

1.3) Herschel-Bulkley เป็นของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลคล้าย Pseudoplastic แต่จะมีค่าแรงเค้นครากเกิดขึ้นก่อนที่ของไหลประเภทนี้จะไหลได้

1.4) Dilatant type ลักษณะของการไหลของของไหลประเภทนี้ พบว่า ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการให้แรงเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น ของไหลประเภทนี้พบเห็นได้ในของไหลหรืออาหารลักษณะมีตะกอนของแข็งนอนก้น เช่น น้ำแป้งข้าวโพด น้ำนมชอคโกแลต เป็นต้น ลักษณะของการไหลประเภทนี้เรียกอีกอย่างได้ว่าเป็นลักษณะการไหลแบบ Shear-thickening

2) ของไหลนอน-นิวโทเนียนที่ขึ้นกับเวลา (Time dependent non-newtonian fluids)

ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับค่าความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนแล้วยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ของไหลได้รับความเค้นเฉือนอีกด้วย ตัวอย่างของไหลประเภทนี้ได้แก่

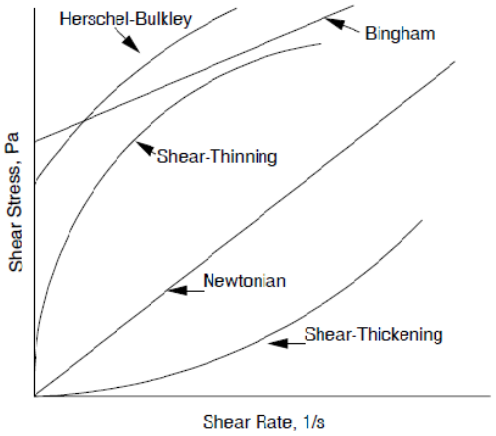
2.1) ของไหลแบบทิกโซโทรปิก (Thixotropic fluids) ของไหลประเภทนี้ค่าความหนืดลดลงตามระยะเวลาเมื่อของไหลได้รับความเค้นเฉือนในอัตราคงที่ ของไหลที่มีลักษณะการไหลประเภทนี้ได้แก่ วัสดุประเภท grease สีทำบ้าน และน้ำหมึกสำหรับเครื่องพิมพ์ขนาดใหญ่ เป็นต้น

2.2) ของไหลแบบรีโอเพคทิค (Rheopectic fluids) ของไหลประเภทนี้ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเมื่อของไหลได้รับแรงเค้นเฉือนในอัตราคงที่

ทั้งนี้การไหลของของไหลนอน-นิวโทเนียนที่ขึ้นกับเวลานี้สามารถตรวจสอบได้โดยการให้อัตราเฉือนเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันของเวลาและหลังจากนั้นลดอัตราเฉือนที่ให้แก่ของไหลลงเป็นฟังก์ชันของเวลาเช่นกัน ถ้ากราฟที่ได้ระหว่างแรงเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนของการเพิ่มและลดอัตราเฉือนไม่ทับกันสนิทแต่เกิดเป็นช่องว่าง (Loop) ระหว่างเส้นกราฟขึ้น-ลงนั้น ของไหลชนิดนั้นถือว่าเป็นของไหลนอน-นิวโทเนียนที่ขึ้นกับเวลา

การหาข้อมูลพื้นฐานในเรื่องของสมบัติวิทยากระแสของไหล (Rheological properties) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม เพื่อใช้ในการกำหนดอัตราการไหลของส่วนผสมดังกล่าวในท่อส่งส่วนผสมลงในเครื่องผลิตไอศกรีมในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous process) หรือเพื่อใช้กำหนดค่าแรงเฉือน (Shear force) ของใบมีดในเครื่องผลิตไอศกรีมแบบต่อเนื่องหรือแบบกะ (Batch process) ถือว่าเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตไอศกรีม

ข้อมูลที่เกี่ยวกับสมบัติทางวิทยากระแสของไหลของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและไอศกรีม นั้นพบในงานวิจัยต่าง ๆ โดย Flores และ Goff (1999) และ Bolliger, Wildmoser, Goff และ Tharp (2000b) ศึกษาผลของสารที่ทำให้เกิดการคงตัวต่อสมบัติทางวิทยากระแสของไหลในระบบต้นแบบและส่วนพร้อมทำไอศกรีม พบว่าสารที่ทำให้เกิดการคงตัวทุกชนิดล้วนมีผลต่อพฤติกรรมการไหลของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม โดยส่งผลให้มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียน



รูปที่ 2.2 รูปแบบพฤติกรรมการไหลของพวกที่ไม่ขึ้นกับเวลา
ที่มา: Steffe (1996)

2.7 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Purified or virgin coconut oil) คือ น้ำมันที่ได้จากการสกัดแยกน้ำมันจากเนื้อผลของมะพร้าว (*Cocos nucifera L.*) โดยกรรมวิธีทางธรรมชาติ ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี และไม่ใช้ความร้อน หรือไม่ผ่านกระบวนการใช้ความร้อนสูง น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีตะกอน และสามารถรับประทานได้ โดยองค์ประกอบหลักของน้ำมันมะพร้าว ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว (เกินร้อยละ 90 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด) ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จะมีขนาดโมเลกุลปานกลาง (Medium chain fatty acid) เช่น กรดลอริก (Lauric acid) เมื่อรับประทานเข้าไปแล้วร่างกายสามารถเผาผลาญได้ดี จึงถูกสะสมในเนื้อเยื่อไขมันได้น้อยกว่ากรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลยาว (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2548)

ปัจจุบันน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้รับความนิยม และความสนใจจากผู้บริโภคเป็นจำนวนมาก เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ มีวิตามิน และมีคุณสมบัติในการเป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระ (Antioxidant) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นยาและสมุนไพรในการรักษาการเจ็บป่วย รักษาแผลเรื้อรัง และใช้สมานแผล อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสบู่ได้อีกด้วย (ปุญญิศา โยนกรอง, 2557)

2.7.1 องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

2.7.1.1 กรดไขมัน องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัวถึงกว่าร้อยละ 90 ของกรดไขมันทั้งหมด และเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน 8-12 อะตอม จัดเป็นกรดไขมันที่มีความยาวโมเลกุลปานกลางทำให้ร่างกายย่อยและดูดซึมไปใช้ได้รวดเร็ว ส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมไปเผาผลาญเป็นพลังงานที่ตับ ส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดจึงมีไม่มากพอที่จะสะสมเป็นไขมันในร่างกาย หรือเกาะติดบนผนังเส้นเลือด ซึ่งเป็นสาเหตุของการ

แข็งตัวของเส้นเลือด ช่วยกระตุ้นให้ต่อมไทรอยด์ทำงานดีขึ้น จึงช่วยเผาผลาญอาหารที่รับประทานเข้าไปให้เป็นพลังงานอีกทั้งยังเกิดความร้อน ไปช่วยเผาผลาญไขมันที่ร่างกายสะสมไว้จึงช่วยลดความอ้วนได้ (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2552) กรดไขมันที่สำคัญ ได้แก่ กรดคาปริก (Capric acid, C10) กรดลอริก (Lauric acid, C12) และกรดไมริสติก (Myristic acid, C14) ในสัดส่วนร้อยละ 4-8, 43-53 และ 16-21 ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ (Asian and Pacific Coconut Community, 2003) นอกจากนี้น้ำมันมะพร้าวยังประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) เพียงร้อยละ 9 ซึ่งเป็นส่วนของกรดโอลิอิก (Oleic acid, C18:1) และกรดไลโนลิอิก (Linoleic acid, C18:2)

2.7.1.2 กรดลอริก มีฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ Enig (1999) รายงานว่า กรดลอริกในน้ำมันมะพร้าวสามารถสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย เมื่อบริโภคน้ำมันมะพร้าวเข้าไปแล้วกรดลอริกจะเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ที่มีชื่อว่า โมโนลอริน (Monolaurin) ซึ่งเป็นสารตัวเดียวกันกับ สารที่อยู่ในน้ำนมเหลือง (Colostrum) ของน้ำนมแม่ที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกันให้กับทารกในระยะ 6 เดือนแรกหลังคลอดก่อนที่ร่างกายจะสร้างระบบภูมิคุ้มกันโรคได้ นอกจากนี้โมโนลอรินยังสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ยีสต์ โปรโตซัว และไวรัสบางชนิดที่ยาปฏิชีวนะทั่วไปทำลายไม่ได้เนื่องจากมีเกราะที่เป็นไขมันห่อหุ้ม

2.7.1.3 สารต้านออกซิเดชันหรือสารกำจัดอนุมูลอิสระ คือ สารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เซลล์หรือเนื้อเยื่อถูกทำลาย น้ำมันมะพร้าวประกอบไปด้วยสารต้านออกซิเดชันต่าง ๆ ดังนี้

- วิตามินอี เป็นอนุพันธุ์ของ 2-methylchromanol เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ และร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ โทโคเฟอรอล (Tocopherol) และโทโคไตรอีนอล (Tocotrienols) วิตามินอีเป็นสารต้านออกซิเดชั่น และยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของวิตามินเอด้วย (มะพร้าว, ม.ป.ป.)

- สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอล มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน และสามารถละลายได้ในน้ำ

2.7.2 ประโยชน์ของน้ำมันมะพร้าว

2.7.2.1 ช่วยเผาผลาญไขมัน น้ำมันมะพร้าวจะเข้าไปกระตุ้นกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ในการเปลี่ยนกรดไขมันอิ่มตัวให้กลายเป็นพลังงาน เมื่ออัตราเมตาบอลิซึมสูงส่งผลให้ร่างกายมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ทำให้ต่อมไทรอยด์ (Thyroid Gland) ผลิตฮอร์โมนไทยรอยด์ออกมาเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ส่งผลให้ร่างกายเผาพลาญไขมันได้มากขึ้น

กระบวนการต่าง ๆ ของร่างกายจึงทำงานได้อย่างปกติ และยังช่วยลดการสะสมของไขมันตามร่างกายเพราะร่างกายมีการเผาพลาญไขมันไปใช้เป็นพลังงานจนหมด (นิตยสารเพื่อสุขภาพ, 2563)

2.7.2.2 กระตุ้นการทำงานของสมอง น้ำมันมะพร้าวเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ตับจะทำการย่อยสลายกลายเป็นกลูโคสและคีโตนที่จัดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของสมอง กลูโคสที่ได้จะเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของเซลล์สมองทำให้สมองมีความแข็งแรง สมองจึงทำงานได้ดีมีการเรียนรู้ รับรู้และจดจำที่มากขึ้น นอกเหนือจากกลูโคสแล้ว คีโตนที่ได้จากการย่อยน้ำมันมะพร้าวจากตับถือเป็นแหล่งพลังงานอีกแหล่งหนึ่งของเซลล์สมองในยามที่ร่างกายขาดกลูโคส สมองจะดึงคีโตนที่ได้จากน้ำมันมะพร้าวส่งไปเป็นแหล่งพลังงานให้กับสมองทดแทนกลูโคส คีโตนจะช่วยลดความเสียหายของเซลล์สมองได้เป็นอย่างดีและยังช่วยลดการอักเสบของเซลล์สมอง ป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ (นิตยสารเพื่อสุขภาพ, 2563)

2.7.2.3 บำรุงกระดูกและฟัน น้ำมันมะพร้าวมีองค์ประกอบของแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งแคลเซียมและแมกนีเซียมจะช่วยสร้างเสริมความแข็งแรงของกระดูกและฟัน เมื่อบริโภคน้ำมันมะพร้าวซึ่งมีแมกนีเซียมที่ช่วยในการดูดซึมแคลเซียมเข้าสู่ร่างกาย ทำให้ร่างกายสามารถดูดซึมแคลเซียมได้เป็นอย่างดี จึงช่วยให้กระดูกและฟันแข็งแรง ป้องกันโรคกระดูกเสื่อม ข้อเสื่อมได้เป็นอย่างดี (นิตยสารเพื่อสุขภาพ, 2563)

2.7.2.4 ฆ่าเชื้อโรค น้ำมันมะพร้าวมีกรดลอริกในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งกรดลอริกนี้มีสารโมโนลอรินที่มีคุณสมบัติที่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อไวรัสได้ โดยน้ำมันมะพร้าวจะทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อโรคและปล่อยสารโมโนลอรินเข้าไปในเซลล์ของเชื้อโรค สารโมโนลอรินจะส่งผลให้เซลล์ของเชื้อโรคที่เข้ามานั้นตายไป และสารโมโนลอรินยังไม่ส่งผลกับจุลินทรีย์ชนิดดีที่มีอยู่ในร่างกายอีกด้วย จึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงของภูมิต้านทานโรคได้เป็นอย่างดี (ผุสดี ตังวัชรินทร์, 2553)

2.7.2.5 เพิ่มความแข็งแรงของหลอดเลือด น้ำมันมะพร้าวมีสารกำจัดอนุมูลอิสระในกลุ่มของสารประกอบฟีนอล ช่วยป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระเข้ามาทำร้ายเซลล์ผนังหลอดเลือดได้ หลอดเลือดจึงมีความแข็งแรงสมบูรณ์ ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจและเส้นเลือดตีบตัน (เพ็ญศรี เพ็ญประไพ, ม.ป.ป.)

2.7.2.6 ป้องกันโรคเบาหวาน โดยน้ำมันมะพร้าวจะไปกระตุ้นและเพิ่มการทำงานของตับในการผลิตสารอินซูลินให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการของร่างกาย เมื่อระดับอินซูลินคงที่ทำให้ร่างกายมีการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรตในกระแสเลือด จึงช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ลดความเสี่ยงในการเป็นโรคเบาหวาน (โรคเบาหวานในผู้สูงอายุ, ม.ป.ป.)

2.7.2.7 ไม่ก่อมะเร็ง น้ำมันมะพร้าวมีองค์ประกอบของไขมันอิ่มตัวมากถึงร้อยละ 92 จึงไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) จนเกิดเป็นไขมันทรานส์ (Trans Fat)

โดยไขมันทรานส์นี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเซลล์ทำให้เซลล์เกิดการกลายพันธุ์กลายเป็นเซลล์มะเร็งได้ ดังนั้นน้ำมันมะพร้าวจึงเป็นน้ำมันที่ดีต่อสุขภาพ (นิตยสารเพื่อสุขภาพ, 2563)

2.7.2.8 บำรุงผิวพรรณ น้ำมันมะพร้าวมีวิตามินอีสูง วิตามินอีจะเข้าไปกระตุ้นการสร้างคอลลาเจนใต้ผิวทำให้ผิวมีความยืดหยุ่น มีความชุ่มชื่นใต้ผิวและลดการสูญเสียน้ำของเซลล์ จึงช่วยป้องกันการเกิดริ้วรอยก่อนวัย นอกจากการรับประทานน้ำมันมะพร้าวแล้ว การนำน้ำมันมะพร้าวมาทาผิวก็ช่วยเพิ่มความชุมชื่นให้กับผิวได้เช่นกัน เพราะน้ำมันมะพร้าวมีโมเลกุลขนาดเล็กจึงซึมเข้าสู่ผิวได้อย่างรวดเร็ว และวิตามินอียังช่วยป้องกันแสงแดดเข้ามาทำลายเซลล์ผิวชั้นนอกได้เป็นอย่างดี

2.7.2.9 บำรุงเส้นผม น้ำมันมะพร้าวน้ำสามารถที่จะนำมาใช้ในการหมักเพื่อดูแลเส้นผมทำให้ผมสวยและเงางามแบบธรรมชาติ รวมไปถึงทำให้เส้นผมดูมีน้ำหนักมากยิ่งขึ้น แต่ควรที่จะเริ่มทำก่อนสระผมประมาณ 30 นาทีโดยเป็นการหมักน้ำมันมะพร้าวทิ้งเอาไว้ แล้วค่อยไปสระผมออกตามปกติ

2.7.2.10 ป้องกันโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด น้ำมันมะพร้าวเป็นไขมันชนิดที่ดีที่ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้งานอย่างเต็มที่ จากการศึกษาและทดลอง พบว่า คนที่รับประทานน้ำมันมะพร้าวเป็นประจำประมาณ 12 สัปดาห์ เมื่อทำการตรวจวัดค่าไขมันพบว่าปริมาณไขมันชนิดดี (HDL) มีปริมาณเพิ่มขึ้นถึง 7-8% แต่ปริมาณไขมันชนิดไม่ดี (LDL) มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการปริโภคน้ำมันมะพร้าวจึงช่วยลดสาเหตุของการเกิดไขมันอุดตันในเส้นเลือดและโรคหลอดเลือดแข็งตัวได้ (Amprohealth, 2561)

2.8 ไขมันเนย

ไขมันเนย (Butterfat) หรือ ไขมันนม (Milkfat) เป็นไขมันซึ่งอยู่ในรูปของอนุภาคเม็ดไขมัน (Fat globule) แขวนลอยอยู่ในน้ำนมในสภาพอิมัลชัน (Emulsion) โดยในน้ำนมโคจะมีปริมาณไขมัน 33-47 กรัมต่อลิตร ไขมันเนยประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ร้อยละ 97-98 ส่วนที่เหลือเป็นฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ไดกลีเซอไรด์ มอโนกลีเซอร์ไรด์ คอเลสเตอรอล (cholesterol) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) แคโรทีนอยด์ (carotenoid) รวมทั้งวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน เช่น วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2563) ไขมันเนยเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญอย่างมากในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม เนื่องจากไขมันเป็นตัวช่วยในการเสริมกลิ่นรสในไอศกรีม เพราะส่วนมากกลิ่นรสจะละลายได้ดีในไขมันแต่ไม่ละลายในน้ำ และยังเป็นตัวปรับปรุงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส เช่น ช่วยเพิ่มความเนียนนุ่มและพฤติกรรมการละลายในปากของไอศกรีม ช่วยเพิ่มความคงตัวของอากาศภายในโครงสร้างของไอศกรีม ซึ่งความคงตัวของอากาศในไอศกรีมมีผลอย่างมากต่อเนื้อสัมผัสของและคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม อีกทั้งไขมันยังช่วยให้อัตราการละลายของไอศกรีมลดลง (Muse & Hartel, 2004)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ

3.1.1 ไขมันเนย (Butter fat) ปริมาณไขมันร้อยละ 99 จากบริษัทวิคกี้ เอนเตอร์ไพรซ์ จำกัด ประเทศไทย

3.1.2 สารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ทางการค้า (Fullfill 400, Stabilizer and Emulsifier) จากบริษัท เอสเคดับเบิลยู ไบโอซิสเตม ประเทศฝรั่งเศส

3.1.3 น้ำตาล (Sucrose) จากบริษัทมิตรผลกรุ๊ป ประเทศไทย

3.1.4 น้ำตาลกลูโคส (Glucose syrup) ค่าความหวาน 10-12 DE จากบริษัทไทยกลูโคส จำกัด ประเทศไทย

3.1.5 นมผงขาดมันเนย (Skim milk powder) ปริมาณโปรตีนร้อยละ 33 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (w/w) ความชื้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (w/w) จากบริษัท ฟอนเทอร่า ประเทศนิวซีแลนด์

3.1.6 มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin) ค่าความหวาน 10-12 DE จากบริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด ประเทศไทย

3.1.7 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ตรา Nature life จากบริษัท อัครวินท์ อินเตอร์ฟู้ด จำกัด ประเทศไทย

3.1.8 น้ำนมปราศจากแล็กโทส ตรา Umm!..Milk ของฟาร์มโชคชัย ประเทศไทย

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์ (15MR-8TA, APV Gaulin, Wilmington, USA)

3.2.2 เครื่องปั่นไอศกรีม (103-34, Taylor, Illinois, USA)

3.2.3 ตู้แช่เย็น (SPA-0303D41A, Sanden intercool, Bangkok, Thailand)

3.2.4 ตู้แช่แข็ง (SNQ0103-170100063, Sanden intercool, Bangkok, Thailand)

3.2.5 เครื่องเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Stable Micro System, TA-XT plus, Surrey, England)

3.2.6 เครื่องวัดสมบัติทางวิทยากระแส (AR-G2 Rheometer, TA Instruments, New Castle, USA)

3.2.7 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (LA-950V2, Horiba, Tokyo, Japan)

3.2.8 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (ML3002/01, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)

3.2.9 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (MS204S/01, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)

3.2.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่อุณหภูมิต่ำ (QUANTA 450, FEI, Oregon, USA)

3.2.11 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (MP220, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)

3.2.15 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Genesys10uv, Thermo scientific, Wisconsin, USA)

3.3 การเตรียมไอศกรีม

การเตรียมไอศกรีมดัดแปลงจากวิธีการจาก Marshall และ Arbuckle (1996) และ Goff, Verespej และ Smith (1999) โดยชั่งส่วนผสมที่แห้ง ได้แก่ น้ำตาลทราย (จากบริษัทมิตรผลกรุ๊ป ประเทศไทย) มอลโต-เด็กซ์ตริน DE 10 (Maltodextrin, Neo Maldex จากบริษัท วินเนอร์กรุ๊ป เอ็นเตอร์ไพรซ์ จำกัด ประเทศไทย) และสารให้ความคงตัว (Fufill 400 จากบริษัท เอสเคดับเบิลยู ไบโอซิสเตม ประเทศฝรั่งเศส) เข้าด้วยกัน ส่วนของผสมที่เป็นของเหลวหรือกึ่งเหลว ได้แก่ น้ำนมพาสเจอไรซ์ที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำหรือปราศจากน้ำตาลแล็กโทส (Low or free lactose pasteurized milk จากบริษัทแมรี่แอนแดรี่โปรดักส์ นครราชสีมา ประเทศไทย) และมันเนยปริมาณไขมันร้อยละ 99 (บริษัท วิคกี้เอนเตอร์ไพรซ์จำกัด ประเทศไทย) ถูกนำมาผสมกัน พร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไขมันเนยละลาย จนเมื่อส่วนผสมดังกล่าวมีอุณหภูมิถึง 75 องศาเซลเซียส ให้เติมส่วนผสมที่เป็นของแห้งข้างต้นลงในไปพร้อมทั้งคนส่วนผสมทั้งหมดให้ละลายและเข้ากันจนของแข็งทั้งหมดละลายอย่างสมบูรณ์ ส่วนสูตรที่ใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Nature life จากบริษัท อัครวินท์ อินเตอร์ฟู้ด จำกัด ประเทศไทย) จะนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มาผสมกับส่วนของน้ำนมข้างต้นแทนมันเนย

นำส่วนผสมดังกล่าวไปลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันด้วยเครื่องฮอโมจิไนเซอร์ 2 ระดับ ความดัน (15 MR-8TA, APV Gaulin Inc, Massachusetts, USA) โดยกำหนดระดับความดันแรกเท่ากับ 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระดับความดันที่สองเท่ากับ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากนั้นนำตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมไปบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในตู้แช่เย็น (SPA-0303D41A, Sanden intercool, Bangkok, Thailand) เมื่อครบเวลาการบ่มให้นำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมเข้าเครื่องปั่นไอศกรีมแบบกะ (Batch Freezer Model 103, Taylor Company, Illinois, USA) โดยใช้เวลาในการปั่นไอศกรีม 15 นาที และทำการบรรจุไอศกรีมที่ได้ลงในถ้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) ขนาด 2 ออนซ์ และนำไปเก็บที่ตู้แช่แข็ง (ULT2540-5v36, Kendro Laboratory Product, USA) ที่อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปเก็บที่ห้องแช่แข็ง (ULT2540-5v36, Kendro Laboratory Product, USA) ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อรอการทดสอบต่อไป

สำหรับสูตรของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมดัดแปลงจากสูตรของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรทางการค้าจาก Marshall และคณะ (2003) ประกอบด้วย 1) มันเนยร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก 2) น้ำตาลทรายขาวร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก 3) สารทำให้เกิดความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ทางการค้า (Fullfill 400 Stabilizer and Emulsifier) ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก 4) ส่วนของแข็งที่ไม่ใช่มันเนย (Milk Solid Non Fat: MSNF) ร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก ซึ่งคำนวณได้จากน้ำนมสดพาสเจอไรซ์น้ำตาลแล็กโทสต่ำ และมอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin) ทั้งนี้กำหนดให้มีความเข้มข้นของโปรตีนเท่ากันทุกสูตรไอศกรีมและปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดด้วยมอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งส่วนผสมดังกล่าวมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 35-39 โดยน้ำหนัก ทำการผลิตไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ 5 สูตร ที่มีปริมาณน้ำมันมะพร้าวและมันเนยที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรการผลิตไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำที่ใช้น้ำมันมะพร้าวและมันเนยในปริมาณที่แตกต่างกัน

ส่วนผสม	ร้อยละโดยน้ำหนัก				
	สูตรควบคุม	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
น้ำมันมะพร้าว	-	8.72	7.63	5.45	1.09
มันเนย	8.72	0	1.09	3.27	7.63
น้ำนม	74.84	74.84	74.84	74.84	74.84
มอลโทเดกซ์ทริน	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14
น้ำตาล	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
อิมัลซิไฟเออร์	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

ที่มา: ดัดแปลงสูตรจาก Marshall และคณะ (2003)

3.4 การศึกษาและการทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมต้นแบบน้ำนมน้ำตาลแล็กโทสต่ำที่มีการทดแทนมันเนยด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

3.4.1 การศึกษาสมบัติทางวิทยากระแส

นำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่สภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม โดยใช้ตัวอย่างปริมาตร 15 มิลลิลิตร ใส่ลงในชุดตัวสอบแบบหัววัด cone and plate ของเครื่อง Rheometer (modular compact rheometer mcr 502., USA) จากนั้นนำตัวอย่างมาทำการวัดรูปแบบพฤติกรรมการไหลที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส เพื่อหา

ความหนืดที่อัตราเฉือน 20 วินาที$^{-1}$ แต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ซ้ำ และวัดค่ามอดูลัสสะสม (Storage modulus, G′) และมอดูลัสสูญเสีย (loss modulus, G′′) ตามวิธีของ Segall and Goff (1999)

3.4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

1) ขนาดอนุภาคของเม็ดไขมัน

ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ($D_{3,2}$) ที่สภาวะก่อนและหลังบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดสัดส่วนของอนุภาคเม็ดไขมันตามวิธีของ Segall and Goff (1999) โดยการนำตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 2 สภาวะได้แก่ ก่อนบ่มและหลังบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไปวัดค่าขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเครื่องวัดขนาดอนุภาค (LA-950V2, Horiba, Tokyo, Japan)

2) ค่าสี

วัดสี *L*a*b** ของไอศกรีมแต่ละสูตรด้วยเครื่อง Hunter lab (model Ultrascan, XE, สหรัฐอเมริกา) ใช้แหล่งกำเนิดแสดง day light 65 มุมที่ใช้ในการวัดคือ 10°

3) ค่าการขึ้นฟู (% Overrun)

ค่าการขึ้นฟูหลังผ่านกระบวนการผลิตไอศกรีมทดสอบได้ตามวิธีของ Alizadeh, Azizi-Lalabadi และ Kheirouri (2014) โดยนำตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาบรรจุใส่กล่องพลาสติกที่ชั่งและทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ชั่งน้ำหนักของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมในกล่องพลาสติก จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม (Freezer Model 103, Taylor Company, Illinois, USA) นาน 15 นาที เมื่อได้ไอศกรีมหลังจากการปั่น สุ่มตัวอย่างไอศกรีมที่ปั่นได้นั้นมาบรรจุลงในกล่องพลาสติกเดิม ชั่งหาน้ำหนักของไอศกรีมที่ได้ และคำนวณหาค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมตามวิธีของ Alizadeh และคณะ (2014) แต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ซ้ำ

4) สมบัติการละลาย

ค่าการคงตัวต่อการละลายหรืออัตราการละลายของไอศกรีมทดสอบตามวิธีการของ Koxholt, Eisenmann และ Hinrichs (2001) ตักไอศกรีมด้วยที่ตัก (scooper) ไอศกรีมให้ได้ลักษณะทรงกลม (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร และน้ำหนักประมาณ 50 กรัม) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างไอศกรีมที่ได้ด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (ML3002/01, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland) บันทึกเป็นน้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น จากนั้นวางตัวอย่างไอศกรีมบนตะแกรงสแตนเลสที่มีรูตะแกรงขนาด 42 ช่องต่อตารางเซนติเมตร ณ อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ชั่งน้ำหนักไอศกรีมส่วนที่ละลายทุก ๆ 10 นาทีเป็นเวลา 90 นาที และนำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละการละลายของไอศกรีมดังสมการ\

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

จากนั้นนำร้อยละการละลายที่คำนวณได้แต่ละช่วงเวลาไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลาเพื่อหาอัตราการละลาย (meltdown rate) ของไอศกรีมที่คำนวณได้จากค่าความชันของกราฟ แต่ละตัวอย่างวัดค่า 3 ซ้ำ

5) ลักษณะเนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมดัดแปลงจากวิธีของ Prindiville, Marshall และ Heymann (1999) โดยนำตัวอย่างไอศกรีมปริมาตร 155 มิลลิลิตร และเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสเพื่อหาค่าความแข็ง (hardness) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Stable Micro System, TA-XT plus, Surrey, England)

6) โครงสร้างระดับจุลภาค

วิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่อุณหภูมิต่ำ (QUANTA 450, FEI, Oregon, USA) ดัดแปลงวิธีจาก Goff และคณะ (1999)

3.5 การประเมินผลทางประสาทสัมผัส

การประเมินผลทางประสาทสัมผัสจะใช้การทดสอบหาการยอมรับแบบ hedonic 7-point scaling test โดยมีค่าสเกล ดังนี้ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบปานกลาง 3 = ไม่ชอบเล็กน้อย 4 = เฉยๆ 5 = ชอบเล็กน้อย 6 = ชอบปานกลาง 7 = ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ laboratory panel จำนวน 30 คน ประกอบด้วยนักศึกษาปริญญาตรี ปริญญาโท ปริญญาเอก ผู้ช่วยวิจัย และเจ้าหน้าที่ในสาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่มีประสบการณ์ทางด้านการประเมินผลทางประสาทสัมผัสมาก่อนในห้องปฏิบัติการ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะถูกนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดย one way analysis ที่ α เท่ากับ 0.05 โดยคุณลักษณะที่ทดสอบ ได้แก่ สี กลิ่น รสหวาน ความแน่นเนื้อ การละลาย ความรู้สึกสากลิ้น และความชอบโดยรวม (ภาคผนวก ก)

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS version 15 วางแผนการทดลองแบบ CRD เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการศึกษาทั้งหมดจะทำการศึกษาซ้ำ 3 ครั้ง

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 คุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมต้นแบบที่ปราศจากหรือมีน้ำนมน้ำตาลแล็กโทสต่ำและทดแทนมันเนยด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

4.1.1 สมบัติทางวิทยากระแส

จากการวัดค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (ice cream mix) ก่อนบ่มและหลังบ่มของตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีการทดแทนมันเนยด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ พบว่า ที่สภาวะหลังบ่มส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทุกสูตรในการทดลองมีความความหนืดมากกว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสภาวะก่อนบ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรควบคุมที่สภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$) แต่ค่าความหนืดของไอศกรีมดังกล่าวที่สภาวะหลังบ่มมีแนวโน้มความหนืดสูงกว่าความหนืดของไอศกรีมดังกล่าวที่สภาวะก่อนบ่ม (รูปที่ 4.1)

ผลที่ได้ของค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีการทดแทนมันเนยด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่มีค่ามากขึ้นหลังการบ่มอาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของส่วนผสมต่าง ๆ ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม โดยมีกระบวนการให้ความร้อน ฮอโมจิไนซ์ และระยะเวลาในการบ่มที่อุณหภูมิแช่เย็นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว กระบวนการเหล่านี้ส่งผลให้ขนาดอนุภาคไขมันเกิดการเกาะกลุ่มและจับตัวกันบางส่วน (partial coalescence) ทำให้เกิดโครงสร้าง ตาข่ายสามมิติที่ห้อมล้อมส่วนของน้ำและซีรัมในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมไว้ (Bazmi & Relkin, 2009; Rybak, 2016) กระบวนการเหล่านี้ยังช่วยให้การสร้างพันธะของโปรตีนกับน้ำและเกิดแปลงแปลงโครงสร้างของโปรตีนน้ำนมด้วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการให้ความร้อนที่ทำให้เวย์โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไปเป็นเจลได้ (Udabage, Augustin, Cheng & Williams, 2005) นอกจากนี้กระบวนการดังกล่าวยังช่วยทำให้สารที่ทำให้เกิดการคงตัวและส่วนผสมอื่น ๆ ที่เป็นผงแห้งเกิดการดูดซึมน้ำเข้าไปในโมเลกุลและสร้างพันธะกับน้ำเพื่อให้เกิดการละลายอย่างสมบูรณ์แการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่มมีค่าเพิ่มขึ้น (Brown, 2014)

เมื่อพิจารณาค่ามอดูลัสสะสม (G') (รูปที่ 4.2) และมอดูลัสสูญเสีย (G'') (รูปที่ 4.3) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 5 สูตรหลังการบ่ม พบว่า ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 5 สูตรมีคุณลักษณะเป็นของแข็งเพิ่มมากขึ้น ($G' > G''$) โดยสูตรควบคุมมีแนวโน้มเป็นของแข็งมากกว่าสูตรอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่า ไอศกรีมสูตรควบคุมมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่าไอศกรีมสูตรอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติที่เกิดจากการเกาะตัวกันบางส่วนในขณะทำการ

บ่มส่วนผสมไอศกรีมในอุณหภูมิแช่เย็นในส่วนของตัวอย่างควบคุมที่มีมันเนยเป็นส่วนประกอบหลักจะเกิดโครงสร้างดังกล่าวได้ดีกว่าตัวอย่างที่มีน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมด้วย โดยโครงสร้างที่แข็งแรงกว่านี้เป็นผลโดยตรงของสมบัติการเกิดผลึกและการเกิดร่างแหสามมิติของมันเนยที่มีค่าจุดเกิดผลึกไขมันได้ง่ายกว่าน้ำมันมะพร้าว (Ronholt, Mortensen & Knudsen, 2013; Wang et al., 2017)

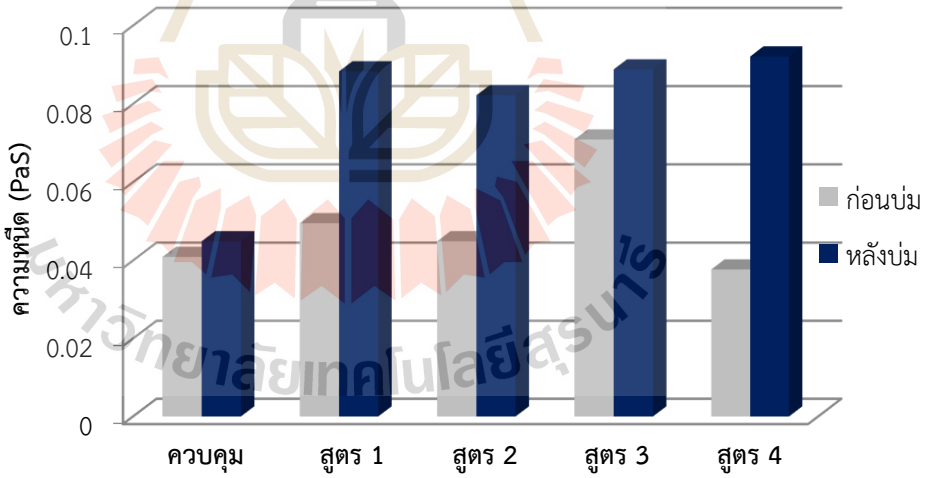
สำหรับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรที่ 2, 3 และ 4 พบว่ามีค่ามอดูลัสสะสมเปลี่ยนแปลงขึ้นลงไปตามค่าความถี่ที่ใช้ในการทดลอง โดยค่ามอดูลัสสะสมของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมดังกล่าวก่อนการบ่มมีค่ามอดูลัสสะสมค่อนข้างมากกว่าค่ามอดูลัสสะสมหลังการบ่ม ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ลงไปในสูตรของไอศกรีมที่ทำการทดลองนี้อาจทำให้โครงสร้างตาข่ายสามมิติของอนุภาคเม็ดไขมันอ่อนแอลง ในขณะที่สูตรควบคุมและสูตรที่ 4 ที่มีการทดแทนมันเนยด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 1.09) กลับได้ค่ามอดูลัสสะสมก่อนการบ่มมากกว่ามอดูลัสหลังการบ่ม ซึ่งเป็นการยืนยันว่ามันเนยในไอศกรีมเป็นตัวกำหนดค่าความแข็งของโครงสร้างของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมหลังการบ่มส่วนน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนที่ทำให้ค่าความแข็งในรูปของมอดูลัสสะสมลดลงเมื่อปริมาณของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้ทดแทนมีปริมาณมากขึ้น

ค่ามอดูลัสสูญเสียของตัวอย่างไอศกรีมทั้งสูตรควบคุมและสูตรที่มีการแทนมันเนยด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ผ่านการบ่มมีค่าน้อยกว่าค่ามอดูลัสสูญเสียก่อนการบ่ม (รูปที่ 4.3) แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างภายในของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะที่เป็นของเหลว (liquid-like characteristic) มากไปเป็นของเหลวน้อยลง (G'' มีค่าน้อยลง) ผลที่เกิดขึ้นนี้นอกจากจะเป็นผลจากการละลายหรือดูดซึมน้ำของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เป็นของแข็งโดยเฉพาะสารให้ความคงตัวที่มีการเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวข้นขึ้นเมื่อดูดซึมน้ำเข้าสู่โมเลกุล แต่จากผลการทดลองนี้จะเห็นว่าปริมาณสารให้ความคงตัวที่ใช้ในแต่ละสูตรมีปริมาณที่เท่ากัน ทำให้ผลของการเปลี่ยนแปลงลักษณะจากของไหลที่คล้ายของเหลวไปเป็นของไหลที่มีลักษณะเป็นของเหลวลดลงของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ทำการทดลองนี้น่าจะมาจากองค์ประกอบของมันเนยและน้ำมันมะพร้าวเป็นสำคัญ ซึ่งเป็นธรรมชาติของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโดยทั่วไปที่พบว่า เมื่อบ่มส่วนผสมดังกล่าวจะทำให้ส่วนผสมนั้นมีลักษณะเป็นของเหลวลดลงแต่มีลักษณะเป็นของแข็งมากขึ้นจากการตรวจวัดแบบ dynamic test (Bazmi & Relkin, 2009)

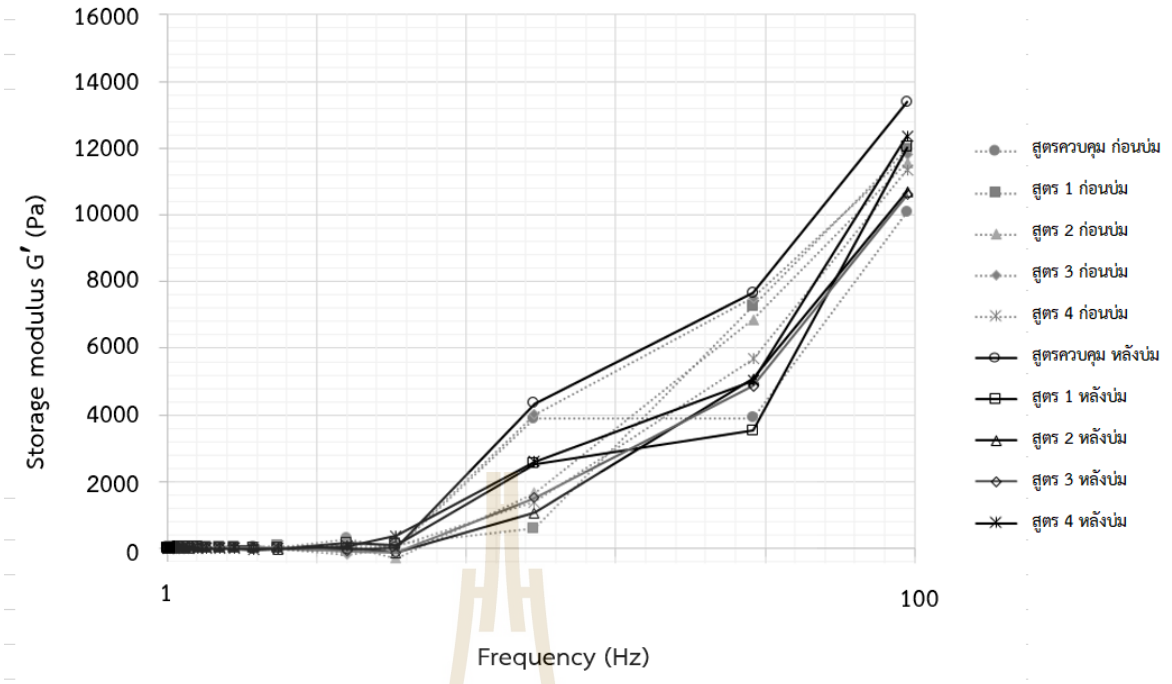
อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อปริมาณหรือสัดส่วนของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ใช้แทนมันเนยในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมนี้เพิ่มปริมาณมากขึ้น ค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมดังกล่าวมีค่ามากกว่าความหนืดของสูตรควบคุมที่มีเฉพาะมันเนยเป็นส่วนประกอบทั้งก่อนและหลังการบ่ม (รูปที่ 4.1) ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่น้ำมันมะพร้าวช่วยให้การต้านการไหลของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีมากขึ้นจากการสร้างอนุภาคเม็ดไขมันขนาดใหญ่ในระหว่างการ

บ่ม ซึ่งหมายถึง น้ำมันมะพร้าวสามารถเกิดการรวมตัวของอนุภาคเม็ดไขมันขนาดเล็กที่เกิดขึ้นระหว่างการฮอโมจีไนเซชันได้ง่ายกว่ามันเนย เพราะน้ำมันมะพร้าวมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่ามันเนย (15-24 องศาเซลเซียส และ 28-36 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) (Gopala Krishna, Raj, Bhatnagar, Prasanth Kumar, & Chandrashekar, 2010; Smet et al., 2010) เมื่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่การต้านแรงเฉือนเพื่อให้เกิดการไหลของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนผสมจึงมีค่ามากกว่าตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้มันเนยเป็นส่วนประกอบ Sung และ Goff (2010) ได้ศึกษาคุณภาพทางด้านกลิ่นรส การเกิดผลึกของเม็ดไขมัน และการละลายของไอศกรีมที่มีสัดส่วนของน้ำมันปาล์มหรือน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 75 ผสมกับน้ำมันที่ไม่อิ่มตัว เช่น น้ำมันที่มีปริมาณโอเลอิกสูง ได้แก่ น้ำมันดอกทานตะวัน ร้อยละ 25 พบว่าการเกิดการสร้างโครงสร้างสามมิติของเม็ดไขมัน กลิ่นรส และการละลายที่เหมาะสมตามคุณลักษณะที่ดีของไอศกรีม ถึงแม้ว่าไอศกรีมที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวอาจใช้เวลาในการเกิดผลึกของไขมันนานกว่าน้ำมันปาล์มก็ตาม

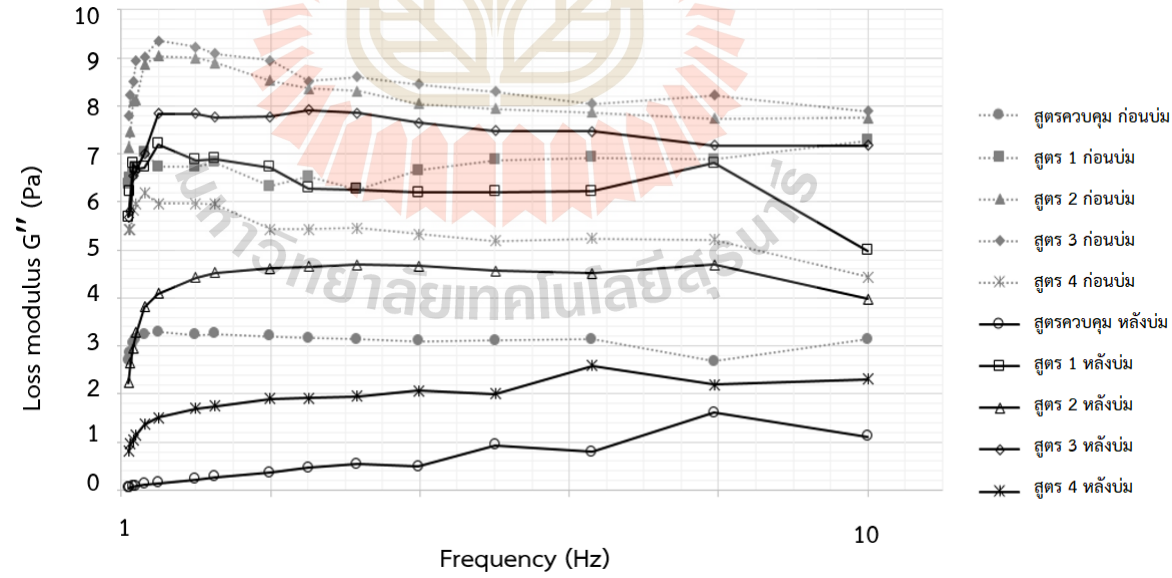
ดังนั้นการใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ทดแทนมันเนยจึงมีผลต่อพฤติกรรมการไหลในรูปของความหนืดแต่ทำให้ลักษณะคล้ายของแข็งของไอศกรีมจากการตรวจวัดแบบ dynamic ของวิทยกระแสนั้นมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้มันเนยเป็นแหล่งของไขมัน



รูปที่ 4.1 ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ



รูปที่ 4.2 ค่า Storage modulus G′ ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ



รูปที่ 4.3 ค่า Loss modulus G′′ ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.2.1 ขนาดอนุภาคไขมัน

จากการวัดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมในสภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมในสูตรควบคุม สูตร 2, 3 และ 4 ก่อนและหลังการบ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ขนาดอนุภาคของไขมันในสูตรที่ 1 ซึ่งมีปริมาณน้ำมันมะพร้าวมากที่สุดและเป็นแหล่งของไขมันเพียงแหล่งเดียวในสูตรดังกล่าวกลับพบว่า ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันหลังการบ่มมีขนาดใหญ่ขึ้น (ตารางที่ 4.1) แสดงว่าขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ทำการศึกษานี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีขนาดค่อนข้างเสถียรเมื่อในตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมดังกล่าวมีมันเนยเป็นส่วนประกอบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมันเนยก่อให้เกิดผลึกของไขมันและเกิดการเกาะตัวบางส่วนของอนุภาคเม็ดไขมันได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการบ่มจึงทำให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันนั้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีเพียงน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์อาจเกิดผลึกของไขมันและการเกาะตัวกันบางส่วนจนทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายสามมิติช้ากว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีมันเนยเป็นส่วนผสมจึงทำให้ขนาดของอนุภาคเม็ดไขมันมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมากจากน้ำมันมะพร้าวมีจุดเยือกแข็งหรือจุดเกิดผลึกของไขมันต่ำเมื่อเทียบกับมันเนย ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของวิทยากระแสใน 4.1.1 อย่างไรก็ตาม Smet และคณะ (2010) พบว่า การใช้ไขมันที่มีกรดไขมันต่างชนิดกันในปริมาณหรือสัดส่วนที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม นอกจากนี้ Bazmi, Launay, Cuvelier และ Relkin (2008) พบว่า การบ่มส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.1 ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน ($D_{3,2}$)ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

สูตร	ก่อนบ่ม (ไมโครเมตร)	หลังบ่ม (ไมโครเมตร)
สูตรควบคุม	$0.57\pm0.03^{ns\ B}$	$0.57\pm0.02^{ns\ B}$
1	$0.64\pm0.01^{a\ A}$	$0.67\pm0.01^{b\ A}$
2	$0.62\pm0.02^{ns\ B}$	$0.61\pm0.04^{ns\ B}$
3	$0.61\pm0.04^{ns\ B}$	$0.59\pm0.02^{ns\ B}$
4	$0.56\pm0.03^{ns\ B}$	$0.59\pm0.01^{ns\ B}$

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการเปรียบเทียบแถวแนวนอนระหว่างก่อนบ่มและหลังบ่ม

$^{A-E}$ คือ คือค่าทดสอบความแตกต่างด้วย Duncan's new multiple rank test ที่นัยสำคัญทางสถิติร้อยละ 95 ในการเปรียบเทียบแถวแนวตั้งระหว่างสูตร

4.2.2 ค่าสี

เมื่อนำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมไปปั่นและทำให้เย็นจนได้ไอศกรีมแล้วนำมาวัดค่าสีของ พบว่าไอศกรีมทั้ง 5 สูตรที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มีค่าความเข้มหรือจางของสี (Lightness ; *L**) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ใช้ทดแทนมันเนยนี้ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างทางด้านความเข้มหรือจางของสีไอศกรีม ถึงแม้ว่าน้ำมันมะพร้าวจะมีสีอ่อนและใสกว่ามันเนยที่มีสีเหลืองและขุ่นกว่า เมื่อพิจารณาค่า *a** พบว่า ไอศกรีมทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม ค่าสี a* ที่ได้นี้มีแนวโน้มไปทางโทนสีเขียวมากกว่าสีแดงเนื่องจากเป็นสีโทนเย็นอันอาจเกิดจากอิทธิพลของส่วนผสมต่าง ๆ ในไอศกรีม โดยเฉพาะอย่างยิ่งมันเนยที่มีสีโทนเหลืองหรือใกล้เคียงโทนสีเขียวมากกว่าสีแดง ในขณะที่ค่า b* ไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมสูตรที่ 4 มีสีโทนเหลืองใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมสูตรที่ 4 มีปริมาณของมันเนยเป็นส่วนผสมใกล้เคียงกัน ซึ่งจะให้สีเหลืองมีค่ามากที่สุด ตามมาด้วยไอศกรีมสูตร 3 ส่วนไอศกรีมสูตรที่ 1 และ 2 มีค่าสีเหลืองน้อยที่สุด (ตารางที่ 4.2) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของมันเนยที่ลดลงตามลำดับนั่นเอง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณมันเนยและน้ำมันมะพร้าวในส่วนผสมที่มีสัดส่วนต่างกันส่งผลให้ค่าสีของไอศกรีมแตกต่างกัน โดยไอศกรีมที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวสูงส่งผลให้ค่าสีของไอศกรีมจางลงและส่งผลให้แนวโน้มของค่าระดับสีเขียวลดลง ในขณะที่ปริมาณมันเนยสูงส่งผลให้ไอศกรีมมีแนวโน้มของค่าระดับสีเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าสีของไอศกรีมที่ได้จากการทดลองนี้มีความใกล้เคียงกับค่า *L** และ *b** ของไอศกรีมที่ใช้น้ำมันถั่วฮาเซลนัทและน้ำมันมะกอกในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน โดยค่า *L** อยู่ในช่วง 85.52 ถึง 88.85 และค่า *b** อยู่ในช่วง 8.70 ถึง 10.46 (Güven, Kalender, & Taspinar, 2018) และค่า *L** ของไอศกรีมที่ใช้น้ำมันปาล์มแดงเป็นส่วนผสมที่มีค่าในช่วง 79.83 ถึง 88.52 (Awg Isa, Idis & Ibrahim., 2009)

4.2.3 การขึ้นฟู

ผลการวัดค่าการขึ้นฟูของไอศกรีม พบว่า ไอศกรีมทั้ง 5 สูตรมีค่าการขึ้นฟูไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) และอยู่ในช่วงร้อยละ 28.27±1.00 ถึง 30.23±1.93 (ตารางที่ 4.3) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันมะพร้าวไม่มีผลต่อการขึ้นฟูของไอศกรีม เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวมีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 90 แต่ส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันจำพวกกรดลอริก (lauric acid) ถึงร้อยละ 50 ซึ่งถือว่าเป็นกรดไขมันที่ไม่ทำให้ระดับคอเลสเตอรอลสูงขึ้นเมื่อมีการบริโภคน้ำมันชนิดนี้ (Boateng, Ansong, Owusu, & Steiner-Asiedu, 2016) ในขณะที่มันเนยที่มีกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 63 และส่วนใหญ่เป็นกรดปาล์มมิติก (palmitic acid) ที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของคอเลสเตอรอลในเลือด เมื่อไขมันหรือน้ำมันทั้งสองชนิดผ่านกระบวนการผลิตไอศกรีมที่ต้องใช้ความเย็นจะทำให้เกิดนิวเคียสของผลึกไขมันในโครงสร้างของไอศกรีม ซึ่งมันเนยจะมีจุดที่ทำให้เกิดนิวเคียส ของผลึกไขมันที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันมะพร้าว แต่เนื่องด้วยน้ำมันมะพร้าวมีไขมัน

อิ่มตัวมากกว่า สัดส่วนของการเกิดผลึกไขมันเพื่อนำไปสู่การเกิดโครงสร้างตาข่ายสามมิติของอนุภาคเม็ดไขมันแบบการรวมตัวกันบางส่วนของเม็ดไขมันผ่านการเชื่อมตัวกันของผลึกไขมันในอนุภาคเม็ดไขมันที่อยู่ใกล้เคียงกันจึงอาจไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของโครงสร้างในการกักเก็บฟองอากาศ ทำให้ค่าการขึ้นฟูของตัวอย่างไอศกรีมที่มีน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์หรือมันเนยไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองของ Choo และคณะ (2010) ได้รายงานว่าการใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมในไอศกรีมส่งผลต่อค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมลดลง โดยไอศกรีมที่ใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมร้อยละ 4, 8 และ 12 มีค่าการขึ้นฟูเท่ากับร้อยละ 68.40 ± 0.07, 66.15 ± 0.03 และ 65.72 ± 0.03 ตามลำดับ ในขณะที่ผลการทดแทนมันเนยด้วยน้ำมันปาล์มแดงในไอศกรีมจะทำให้ค่าการขึ้นฟูอยู่ที่ร้อยละ 35 ถึง 50 (Awg Isa et al., 2009)

การขึ้นฟูของไอศกรีมที่ปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศที่ไอศกรีมสามารถกักเก็บได้ โครงสร้างของไอศกรีมที่เสถียรจึงมีความสำคัญที่ทำให้ไอศกรีมมีความอัตราการขึ้นฟูสูง ปัจจัยที่ส่งผลต่อโครงสร้างของไอศกรีม ได้แก่ ส่วนผสมของไอศกรีม น้ำ ของแข็งในน้ำนมที่ไม่รวมไขมัน (เคซีนไมเซลล์ เวย์โปรตีน น้ำตาลแล็กโทส และเกลือ) น้ำตาล (ซูโครสและน้ำตาลบางชนิดที่ได้จากการย่อยแป้ง กลูโคส มอลโทส แซ็กคาไรด์ชนิดอื่น ๆ) สารที่ทำให้เกิดการคงตัว และอิมัลซิไฟเออร์ โดยอากาศจะถูกผลักดันและเก็บไว้ในโครงสร้างของไอศกรีมเมื่อส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมต่าง ๆ เหล่านี้ผ่านกระบวนการปั่นและแช่แข็งในเครื่องทำไอศกรีม (Goff & Hartel, 2013) อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำมันและการใช้น้ำมันที่มีลักษณะเป็นของแข็งเหลวหรือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นจำนวนแตกต่างกันก็เป็นสาเหตุที่ทำให้การขึ้นฟูของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงได้ (Choo et al., 2010)

4.2.4 สมบัติการละลาย

ผลการวัดอัตราการละลายของไอศกรีมที่เก็บรักษาไว้ที่ห้องแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสก่อนนำมาทดสอบการละลาย พบว่า ไอศกรีมทั้ง 5 สูตร เริ่มละลายอย่างรวดเร็วที่นาทีที่ 20 และการละลายเริ่มคงที่หลังนาทีที่ 50 (รูปที่ 4.4) ไอศกรีมทั้ง 5 สูตร สิ้นสุดการละลายนาทีที่ 60 ระยะเวลาสิ้นสุดการละลายของไอศกรีมเหล่านี้มีค่าใกล้เคียงกับไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันน้ำนมร้อยละ 10 ซึ่งมีระยะเวลาในการละลายเท่ากับ 67.3 นาที (Roland, Phillips, & Boor, 1999) เมื่อคำนวณอัตราการละลาย ไอศกรีมทั้ง 5 สูตรมีอัตราการละลายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 4.4 อัตราการละลายของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลน้ำตาลแล็กโทสต่ำนี้มีค่าอยู่ในช่วง 1.48 ถึง 1.52 มิลลิลิตร/นาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับไอศกรีมที่ใช้น้ำตาลเป็นส่วนผสมร่วมกับการใช้สารพอลิซอร์เบต 80 ร้อยละ 0.1 ที่อุณหภูมิการนำตัวอย่างออกจากเครื่องปั่น (draw temperature) -5 องศาเซลเซียสที่มีอัตราการละลายเท่ากับ 1.7±1.1 มิลลิลิตรต่อนาที และ

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

สูตรที่	*L**	*a**	*b**
ควบคุม	86.67^{ns}±2.40	-0.11^{a}±0	9.88^{c}±0.77
1	88.79^{ns}±2.06	-1.24^{b}±0.01	6.18^{a}±0.35
2	88.96^{ns}±2.04	-0.96^{c}±0.01	6.45^{a}±0.37
3	87.19^{ns}±2.32	-0.69^{d}±0.01	8.20^{b}±0.57
4	88.26^{ns} ±2.16	-0.01^{e}±0	9.48^{bc}±0.67

หมายเหตุ : $^{a-e}$ คือ ค่าทดสอบความแตกต่างด้วย Duncan's new multiple rank test ที่นัยสำคัญทางสถิติร้อยละ 95 ในการเปรียบเทียบแถวแนวตั้งระหว่างสูตร
^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในการเปรียบเทียบแถวแนวตั้งระหว่างสูตร

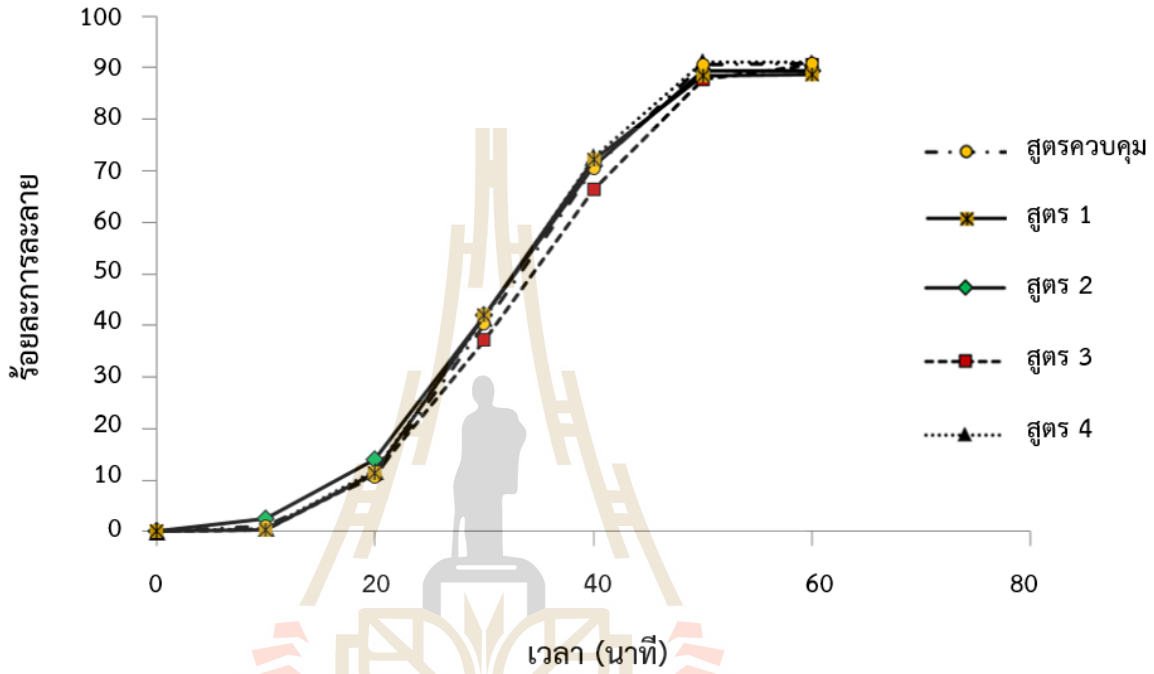
ตารางที่ 4.3 การขึ้นฟูของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

สูตร	ร้อยละการขึ้นฟู
ควบคุม	30.23^{ns}±1.93
1	28.27^{ns}±1.00
2	28.93^{ns}±0.78
3	28.78^{ns}±0.94
4	29.32^{ns}±1.71

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ไอศกรีมที่ใช้น้ำตาลฟรักโทสเป็นส่วนผสมร่วมกับการใช้สารพอลิซอร์เบต 80 ร้อยละ 0.05 ที่อุณหภูมิการนำไอศกรีมออกจากเครื่องปั่น -7 องศาเซลเซียส ที่มีอัตราการละลายเท่ากับ 1.3±0.6 มิลลิลิตรต่อนาที (Muse & Hartel, 2004) ซึ่งการใช้ปริมาณพอลิซอร์เบต 80 ที่ร้อยละ 0.02 หรือมากกว่านั้น จะช่วยลดอัตราการละลายของไอศกรีม (Campbell & Pelan, 1998; Tharp, Forrest, Swan, Dunning, & Hilmoe, 1998; Bolliger, Kornbrust, Goff, Tharp, & Windhab, 2000a; Bolliger et al., 2000b; Muse & Hartel, 2004) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ไม่ได้มีผลต่ออัตราการละลายในตัวอย่างไอศกรีมที่ศึกษานี้ อย่างไรก็ตาม Choo และคณะ (2010) ได้แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมในไอศกรีมทำให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมที่ใช้เนยเป็นส่วนผสม

เนื่องจากอัตราการละลายของไอศกรีมขึ้นอยู่กับขนาดของไขมันและการตกผลึกของไขมัน (Granger et al., 2005) โดยอัตราการละลายของไอศกรีมที่มีอนุภาคเม็ดไขมันขนาดใหญ่หรือมีการเกาะตัวกันบางส่วนแล้วก่อให้เกิดอนุภาคเม็ดไขมันขนาดใหญ่จะมีแนวโน้มลดลง (Koxholt et al., 2001)



รูปที่ 4.4 ร้อยละการละลายของตัวอย่างไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

ตารางที่ 4.4 อัตราการละลายของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

สูตร	อัตราการละลาย (มิลลิลิตร/นาที)
ควบคุม	1.48±0.04 ^{ns}
1	1.49±0.07 ^{ns}
2	1.51±0.15 ^{ns}
3	1.52±0.13 ^{ns}
4	1.51±0.14 ^{ns}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.2.5 เนื้อสัมผัสของไอศกรีม (ค่าความแข็ง)

ผลการทดสอบเนื้อสัมผัสของไอศกรีมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส พบว่า ความแข็งของไอศกรีมจากมากไปน้อยมี ดังนี้ สูตรควบคุมมีค่าความแข็งมากกว่าที่สุด ตามด้วยสูตร 4 สูตร 3 สูตร 2 และ สูตร 1 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ค่าความแข็งของไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตร 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ค่าความแข็งของไอศกรีมสูตร 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่าง ($p>0.05$) และค่าความแข็งของไอศกรีมสูตร 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ผลจากการวัดค่าความแข็งของไอศกรีมแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มสัดส่วนน้ำมันมะพร้าวและลดสัดส่วนมันเนยในไอศกรีมส่งผลให้ค่าความแข็งของไอศกรีมลดลง โดยทั่วไปแล้วค่าความแข็งของไอศกรีมบ่งบอกถึงปริมาณน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในไอศกรีม ซึ่งหากไอศกรีมมีค่าความแข็งมากแสดงว่าในไอศกรีมมีปริมาณน้ำแข็งมากเช่นกัน (Roland et al., 1999) แต่โครงสร้างตาข่ายสามมิติของการเกาะกันบางส่วนของอนุภาคเม็ดไขมันอาจส่งผลต่อความแข็งของไอศกรีมทางอ้อมได้เช่นกัน โดยถ้าโครงสร้างตาข่ายดังกล่าวมีความแข็งแรงพอที่จะรักษาผลึกน้ำแข็งและฟองอากาศที่อยู่ภายในโครงสร้างดังกล่าวได้โดยโครงสร้างตาข่ายนั้นไม่แตกหักหรือเสียรูปทรงของโครงสร้างได้ง่าย ความแข็งแรงของไอศกรีม ก็น่าจะมีค่ามากหรือมีความเสถียรต่อการละลายมากขึ้น (Muse & Hartel, 2004) อย่างไรก็ตาม การวัดค่าความแข็งนี้เป็นการวัดที่ทำให้ตัวอย่างสูญเสียหรือถูกทำลายโครงสร้างแบบ deforming การนำผลของลักษณะการเป็นของแข็งในการวัดโครงสร้างแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-deforming) แบบ dynamic test ใน 4.1.1 จึงไม่มีความสัมพันธ์และไม่สามารถนำมาอธิบายในส่วนของค่าความแข็งนี้ได้ อย่างไรก็ตามค่าความแข็งของไอศกรีมที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าน้อยกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันน้ำนมร้อยละ 10 ซึ่งมีค่าความแข็งอยู่ที่ 768 กรัมแรง (g-force) (Roland et al., 1999) ในขณะที่ไอศกรีมวนิลา (French vanilla ice cream) ที่ใช้แป้งข้าวโพดดัดแปร (modified corn starch) เวย์โปรตีนเข้มข้น (whey protein concentrate) และโปรตีนถั่วเหลืองบริสุทธิ์ (soy protein isolate) มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 3,529.2±819.22 ถึง 6,638.1±1,665.04 กรัมแรง (Herald, Aramouni, & Abu-Ghoush, 2008) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลของการใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่มีผลต่อการละลายทำให้ความแข็งลดลงและอาจเกิดจากส่วนผสมที่แตกต่างไปจากสูตรที่มีการศึกษาของคณะวิจัยเหล่านั้นกับสูตรไอศกรีมที่ทำการทดลองนี้

ตารางที่ 4.5 ความแข็งของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

สูตร	ความแข็ง (กรัมแรง: g-force)
ควบคุม	585.53^{c}± 184.47
1	214.08^{a}± 87.28
2	329.97^{ab}± 186.34
3	365.10^{b}± 97.94
4	516.68^{c}± 98.58

หมายเหตุ : $^{a-e}$ คือค่าทดสอบความแตกต่างด้วย Duncan's new multiple rank test ที่นัยสำคัญทางสถิติร้อยละ 95

4.2.6 โครงสร้างระดับจุลภาค

ผลการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของตัวอย่างไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลน้ำตาลแล็กโทสต่ำที่กำลังขยาย 500X, 2000X และ 4000X พบว่า ขนาดฟองอากาศ (สัญลักษณ์อักษร A ในรูปที่ 4.5) ของไอศกรีมสูตรควบคุมและสูตรที่ 4 ที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์น้อยที่สุดมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดของฟองอากาศประมาณ 30-50 ไมโครเมตร ส่วนไอศกรีมสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 มีขนาดฟองอากาศใหญ่กว่าสูตรควบคุมและสูตรที่ 4 โดยมีขนาดประมาณ 100 ไมโครเมตร ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่า มันเนยเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดขนาดของฟองอากาศในไอศกรีมให้มีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลให้ไอศกรีมที่มีมันเนยเป็นส่วนผสมจำนวนมากหรือเกินร้อยละ 50 มีเนื้อสัมผัสที่แน่นเนียน ในขณะที่ไอศกรีมที่มีน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนผสมจะให้ฟองอากาศที่ใหญ่และมีขนาดไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวมีจุดเยือกแข็งหรือจุดเกิดผลึกของไขมันต่ำกว่ามันเนย ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายสามมิติช้ากว่า และอาจส่งผลให้ฟองอากาศเกิดการรวมตัวกันเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ได้ง่ายกว่าการใช้มันเนย และทำให้ไอศกรีมดังกล่าวมีความนุ่มฟูคล้ายโฟมและเนื้อสัมผัสไม่แน่นเท่าสูตรที่มีมันเนยเป็นส่วนผสมปริมาณมาก อย่างไรก็ตาม Park และคณะ (2015) รายงานว่า ขนาดของฟองอากาศในไอศกรีมทั่ว ๆ ไปมีขนาดอยู่ในช่วง 30-150 ไมโครเมตร ส่วนไอศกรีมที่มีคุณภาพที่ดีควรมีขนาดฟองอากาศเฉลี่ยที่ 40 ไมโครเมตร (Caillet, Cogné, Andrieu, Laurent, & Rivoire, 2003; Hagiwara & Hartel, 1996) ในขณะที่ Palzer (2009) ได้รายงานถึงลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของไอศกรีมที่ลดปริมาณมันเนย (fat-reduce ice cream) ว่ามีฟองอากาศขนาดประมาณ 50 ไมโครเมตร ส่วน Clarke (2003), Caillet และคณะ (2003) และ Inoue และคณะ (2009) รายงานว่าฟองอากาศที่มีขนาดประมาณ 100 ไมโครเมตร ส่งผลให้เนื้อไอศกรีมมีความเนียนนุ่ม ขณะที่ Caldwell และคณะ (1992) ได้รายงานว่า กระบวนการผลิตไอศกรีมแบบกะ

(batch) และแบบต่อเนื่อง (continuous) ส่งผลต่อขนาดและจำนวนของฟองอากาศและผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นด้วย โดยฟองอากาศที่ได้จากการผลิตแบบต่อเนื่องจะมีขนาดเล็กกว่าการผลิตแบบกะ โดยมีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 20-25 ไมโครเมตร ส่วน Zhang และคณะ (2017) ได้พบว่า ไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 11 เป็นส่วนประกอบมีขนาดฟองอากาศประมาณ 50-60 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองในการศึกษานี้การเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าวในสูตรไอศกรีมส่งผลให้โครงสร้างของฟองอากาศมีความไม่สม่ำเสมอและมีช่องว่างระหว่างฟองอากาศมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อความแข็งแรงและความนุ่นเนื้อของไอศกรีมตามผลการทดลอง 4.2.5 ได้

ส่วนขนาดของอนุภาคเม็ดไขมัน (สัญลักษณ์อักษร F ในรูปที่ 4.5) พบว่า สูตรควบคุมมีโครงสร้างตาข่ายสามมิติที่เกิดจากการจัดเรียงตัวและเชื่อมติดกันบางส่วนของอนุภาคเม็ดไขมันขนาดเล็กอย่างเป็นระเบียบมากกว่าโครงสร้างตาข่ายสามมิติในไอศกรีมสูตรอื่น ทั้งนี้เนื่องจากผลของการเกิดผลึกเม็ดไขมันของมันเนยที่สามารถเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการเกิดผลึกของน้ำมันมะพร้าว ทำให้ได้ผลึกไขมันที่มีขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นระเบียบมากกว่าผลึกไขมันในไอศกรีมที่มีน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนผสม ส่วนโครงสร้างตาข่ายของอนุภาคเม็ดไขมันในสูตรที่ 4 ซึ่งเป็นสูตรที่มีปริมาณมันเนยมากรองลงมาจากสูตรควบคุม พบว่า โครงสร้างตาข่ายสามมิติดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับสูตรควบคุมแต่ความเป็นระเบียบในการเชื่อมต่อกันของอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่างไอศกรีมนี้จะน้อยกว่าในสูตรควบคุม อย่างไรก็ตาม โครงสร้างตาข่ายดังกล่าวในสูตรที่ 4 ยังคงสามารถเห็นอนุภาคเม็ดไขมันที่เป็นเม็ดได้ชัดเจนกว่าโครงสร้างตาข่ายสามมิติในสูตรที่ 1-3 ที่เกิดการเชื่อมติดกันในลักษณะร่างแหตาข่ายที่ซับซ้อนซึ่งรูปคล้ายวงรี (platelet) ที่เกิดจากการเกาะติดกันของอนุภาคไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างตาข่ายสามมิติของไอศกรีมสูตรที่ 1 ที่มีลักษณะร่างแหขนาดใหญ่แต่มีความเป็นระเบียบน้อยกว่าโครงสร้างตาข่ายของไขมันในสูตรที่ 4 และสูตรควบคุมอย่างเห็นได้ชัด ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในสูตรที่ 1 มีขนาดใหญ่กว่าเม็ดไขมันในสูตรที่ 4 และสูตรควบคุมอย่าง สอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องการวัดขนาดเม็ดไขมันใน 4.2.1 ส่วนรูปทรงคล้ายแผ่นวงรี Méndez-Velasco และ Goff (2012) ได้อธิบายว่าเกิดจากองค์ประกอบและสัดส่วนของของแข็งทั้งหมดของไขมันที่ใช้เป็นส่วนผสมของไอศกรีม โดยรูปทรงคล้ายวงรีนี้เป็นขั้นตอนของการเกิดการเชื่อมติดหรือการรวมตัวกัน (coalescence) ของอนุภาคเม็ดไขมันนั่นเอง

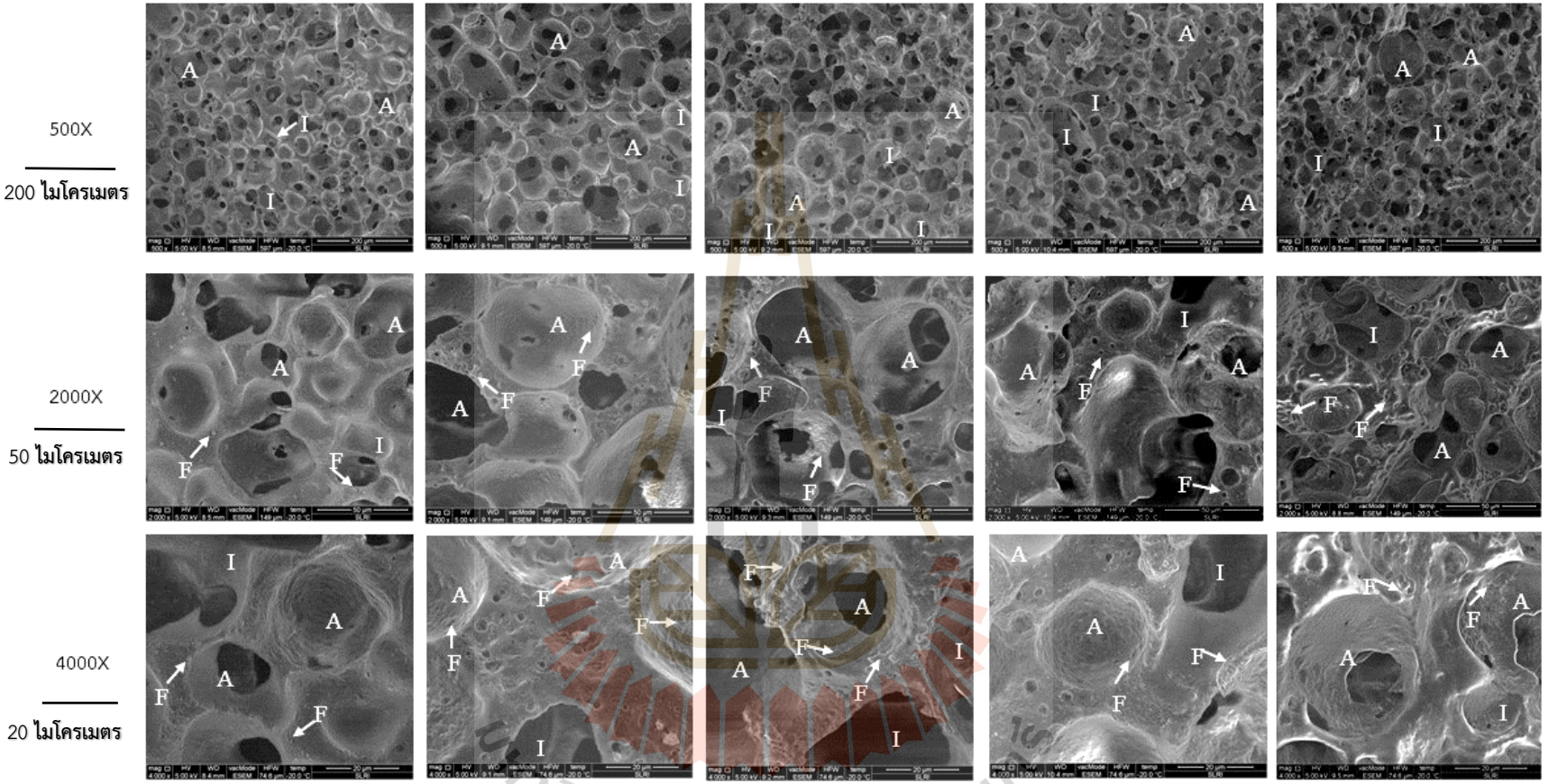
สำหรับขนาดผลึกของน้ำแข็งในไอศกรีม (สัญลักษณ์อักษร I ในรูปที่ 4.5) พบว่า สูตรควบคุมมีขนาดผลึกน้ำแข็ง (สังเกตได้จากรูปทรงที่ไม่เป็นทรงกลมแต่มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยม) ขนาดเล็กและเป็นรูปทรงสม่ำเสมอแบบเดียวกันกว่าสูตรที่มีน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนผสมในปริมาณมากขึ้น (สูตร 1-4) โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปทรงของผลึกน้ำแข็งที่กำลังขยายสูงพบร่องรอยของผลึกน้ำแข็งในส่วนของไอศกรีมที่มีน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนผสมขนาดใหญ่และมีรูปทรงที่ไม่แน่นอนเป็นจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ไม่ได้ช่วยในการควบคุมให้เกิดผลึก

น้ำแข็งขนาดเล็กที่มีรูปทรงสม่ำเสมอ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดผลึกไขมันในระหว่างการบ่มและการตีปั่นไอศกรีมที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เกิดขึ้นได้ช้ากว่าในไอศกรีมที่มีมันเนยเป็นส่วนผสม การเกิดโครงสร้างตาข่ายสามมิติจึงอาจเกิดช้า ทำให้โมเลกุลของน้ำในส่วนของเหลวที่ยังไม่แข็งตัวเกิดการเคลื่อนที่ไปรวมตัวกับโมเลกุลน้ำส่วนที่ไม่แข็งตัวที่ใกล้เคียงกันหรือกับผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ในระหว่างการปั่นและแช่เย็น ทำให้ได้ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่แต่ไม่แข็งแรงเนื่องจากไอศกรีมตัวอย่างนี้มีช่องว่างระหว่างผลึกน้ำแข็งมากกว่าช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกว่า

4.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่มีที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ พบว่าคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ การละลาย ความรู้สึกสากลิ้นคล้ายเม็ดทราย และความชอบโดยรวม ของไอศกรีมทั้ง 5 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งคุณลักษณะด้านสีมีคะแนนความชอบอยู่ที่ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.38±1.69 ถึง 6.86±1.04) คุณลักษณะด้านกลิ่นมีคะแนนความชอบอยู่ที่บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ (เฉย ๆ) ถึงชอบเล็กน้อย (5.37±1.75 ถึง 6.25±1.14) คุณลักษณะด้านรสชาติมีคะแนนความชอบอยู่ที่ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5.95±1.66 ถึง 6.40±1.77) คุณลักษณะด้านการละลายมีคะแนนความชอบอยู่ที่ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.46±1.90 ถึง 7.03±1.38) คุณลักษณะด้านความสากลิ้นมีคะแนนความชอบอยู่ที่บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ (เฉย ๆ) ถึงชอบเล็กน้อย (5.19±1.94 ถึง 6.06±2.03) และคุณลักษณะด้านความชอบโดยรวมมีคะแนนความชอบอยู่ที่บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ (เฉย ๆ) ถึงชอบเล็กน้อย (5.37±1.75 ถึง 6.25±1.14)

ส่วนคุณลักษณะด้านความแน่นเนื้อ พบว่า ไอศกรีมสูตรควบคุมไม่มีค่าคะแนนในส่วนนี้แตกต่างจากไอศกรีมในสูตรที่ 2, 3 และ 4 เนื่องจากว่าในไอศกรีมสูตรดังกล่าวมีส่วนผสมของมันเนยที่อาจส่งผลต่อความแน่นเนื้อที่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสสามารถรับรู้ได้ โดยมีคะแนนความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.14±1.67 ถึง 6.71±1.49) แต่ไอศกรีมสูตรควบคุมและไอศกรีมสูตร 1 ที่มีน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมมากที่สุดกลับมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมที่เป็นไขมันเกิดจากแหล่งของไขมันที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับผลในเรื่องเนื้อสัมผัสในหัวข้อ 4.2.4 อย่างไรก็ตาม คะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมในการทดลองนี้มีค่าการยอมรับในคุณลักษณะต่าง ๆ ใกล้เคียงกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในงานวิจัยของ Choo และคณะ (2010) เมื่อมีการเทียบระดับคะแนนเต็ม 9 ในงานวิจัยดังกล่าวเป็นคะแนน 7 ตามวิธีการทดลองในงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.5 โครงสร้างระดับจุลภาคของตัวอย่างไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

สูตร	คุณลักษณะ						
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความแน่นเนื้อ	การละลาย	สากลิ้น	ความชอบโดยรวม
ควบคุม	6.86^{ns}±1.04	6.25^{ns}±1.14	6.29^{ns}±1.67	6.14^{a}±1.67	6.46^{ns}±1.90	5.82^{ns}±2.02	6.45^{ns}±1.43
1	6.38^{ns} ±1.69	5.96^{ns}±1.24	5.95^{ns}±1.66	6.43^{b}±1.43	6.67^{ns}±1.56	5.19^{ns}±1.94	6.53^{ns}±1.47
2	6.62^{ns}±1.60	5.86^{ns}±1.31	6.00^{ns}±1.52	6.71^{ab}±1.49	6.67^{ns}±1.53	5.48^{ns}±2.02	6.63^{ns}±1.46
3	6.33^{ns}±1.37	5.37^{ns}±1.75	6.40^{ns}±1.77	6.63^{ab}±1.40	7.03^{ns}±1.38	5.93^{ns}±2.23	7.00^{ns}±1.19
4	6.73^{ns}±1.44	5.97^{ns}±1.51	6.39^{ns}±1.69	6.58^{ab}±1.37	6.73^{ns}±1.72	6.06^{ns}±2.03	6.90^{ns}±1.19

หมายเหตุ : ผลการทดลอง คือ ค่า $\bar{x}_{\pm}$ SD

$^{a-e}$ คือ คือค่าทดสอบความแตกต่างด้วย Duncan’s new multiple rank test ที่นัยสำคัญทางสถิติร้อยละ 95 ในการเปรียบเทียบแถวแนวตั้งระหว่างสูตร

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในการเปรียบเทียบแถวแนวตั้งระหว่างสูตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นสารทดแทนมันเนยต่อคุณภาพของไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำมีความเป็นไปได้ในการนำไปผลิตในอุตสาหกรรมไอศกรีม เนื่องจากคุณลักษณะเฉพาะของไอศกรีม ได้แก่ สมบัติทางวิทยกระแส ค่าสี ค่าการขึ้นฟู สมบัติการละลาย ลักษณะเนื้อสัมผัส ขนาดอนุภาคของเม็ดไขมัน โครงสร้างระดับจุลภาค และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ได้ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและไอศกรีมจากการใช้แหล่งของไขมันแตกต่างกันนั้นมีค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ใกล้เคียงกันมาก แม้ว่าค่าความแข็งของไอศกรีมที่มีส่วนผสมของมันเนยจะให้ค่าความแข็งมากกว่าไอศกรีมที่มีเฉพาะน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนผสม แต่คุณลักษณะต่าง ๆ ของไอศกรีมที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์กับไขมันเนยกลับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ไปใช้ในการผลิตไอศกรีมจึงมีความเป็นไปได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้น้ำน้ำนมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ อย่างไรก็ตามปัจจัยในการผลิตด้านอื่น ๆ เช่น การผลิตแบบกะหรือการผลิตแบบต่อเนื่องอาจส่งผลต่อคุณลักษณะดังกล่าวของไอศกรีมที่แตกต่างกันได้ด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

กลุ่มวิจัยและพัฒนาโคน้ำนม สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์. (2011). *นม.* สืบค้นจาก http://breeding.dld.go.th/dairy/index.php?start=27

ณรงค์ โฉมเฉลา. (2552). น้ำมันมะพร้าวลดความอ้วนได้อย่างไร?. *เอกสารวิชาการฉบับที่ 2/2552*. ชมรมอนุรักษ์และพัฒนาน้ำมันมะพร้าวแห่งประเทศไทย.

ดาลัด ศิริวัน. (2555). น้ำนม...พระเอกหรือผู้ร้าย. *นิตยสารหมอชาวบ้าน*, เล่มที่: 398 ฉบับประจำเดือนมิถุนายน.

ทศพร นามโฮง. (2552). ศาสตร์ของไอศกรีม. *อาหาร*, 39, 1 (มกราคม - มีนาคม, 2552).

น้ำฝน ไทยวงษ์. (2559). *การผลิตนมและไอศกรีมแลคโตสต่ำโดยใช้เทคโนโลยีเอนไซม์* ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: นครราชสีมา.

นิตยสารเพื่อสุขภาพ. (2563). ประโยชน์ของน้ำมันมะพร้าว. สืบค้นจาก https://amprohealth.com/magazine/coconut-oil/

ปุญญิศา โยนกรอง. (2557). *การประยุกต์ใช้น้ำมันมะพร้าวทดแทนครีมในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม Application of coconut oil to replace cream in ice cream product*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี

ผุสดี ตังวัชรินทร์. (2553). *ประสิทธิภาพของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ สารละลายกรด lauric สาร monolaurin และกรด lactic ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Listeria monocytogenes บนเนื้อสุกรสด*. โครงการวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2563). *Milk fat (butter fat) / ไขมันนม*. สืบค้นจาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1502/milk-fat-butter-fat

เพ็ญศรี เพ็ญประไพ. (ม.ป.ป.). *ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันมะพร้าวผสมสารสกัดจากขิงสด*. สืบค้นจาก http://www.conference.phuket.psu.ac.th/proceedings/PSU_OPEN_WEEK_2011/data/SCI/Sci016_poster.pdf

มะพร้าว. (ม.ป.ป.). *มะพร้าว*. สืบค้นจาก https://vcr.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9169/6/Chapter2.pdf

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โรคเบาหวานในผู้สูงอายุ. (ม.ป.ป.). *โรคเบาหวานในผู้สูงอายุ*. สืบค้นจาก http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files//01328/chapter2.pdf

วรรณา ตั้งเจริญชัย และวิบูลศักดิ์ กาวิละ. (2531). *น้ำนมและผลิตภัณฑ์น้ำนม.* โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2548). มะพร้าว. *วารสารพืชปลูกพื้นเมืองไทย* ฉบับประจำเดือน กรกฎาคม.

Adapa, S., Dingeldein, H., & Schmidt, K. A. (2000). Rheological properties of ice cream mixed and frozen ice creams containing fat and fat replacers. *Journal of Dairy Science*, 83, 2224-2229.

Alizadeh, M., Azizi-Lalabadi, M. & Kheirouri, S. (2014). Impact of using stevia on physicochemical, sensory, rheology and glycemic index of soft ice cream. *Food and Nutrition Sciences*, 15, 390-396.

Amprohealth. (2561). ประโยชน์ของน้ำมันมะพร้าว. สืบค้นจาก https://amprohealth.com/magazine/coconut-oil/

Arbuckle, W.S. (1986). *Ice Cream 4th ed.* NY: Van Nostrand Reinhold.

Asian and Pacific Coconut Community (APCC). (2003). Standard for virgin coconut oil. Retrieved from http://www.apccsec.org/standards.htm

Assuncao M. L., Ferreira, H. S., dos Santos, A. F., Cabral CR, Jr. & Florencio, T. M. (2009). Effects of dietary coconut oil on the biochemical and anthropometric profiles of women presenting abdominal obesity. *Lipids*, 44, 593-601.

Awg Isa, W.R., Idris, N.A. & Ibrahim, A.R. (2009). Physical Properties of Red Palm-based Ice Cream. *Oil Palm Bulletin*, 59, 18-24.

Aykan, V., Sezgin, E., & Guzel-Seydim, Z. B. (2008). Use of fat replacers in the production of reduced-calorie vanilla ice cream. *European Journal of Lipid Science and Technology,* 110, 516–520.

Barfod, N.M., & Sparso, F.V. (2007). Structure and function of emulsifiers and their role in microstructure formation in complex foods, in *Understanding and Controlling the*

Microstructure of Complex Foods, D.J. McClements Ed. (pp. 113-152). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Bazmi, A., & Pelkin, P. (2009). Effects of processing conditions on structural and functional parameters of whipped dairy emulsions containing various fatty acid compositions. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 3566-3574.

Bazmi, A., Launay, B., Cuvelier, G., & Relkin, P. (2008). Impact of crystalline milk fat on rheology properties of ice cream mix emulsions during aging time at 4°C. *Journal of Texture Studies*, 39(4), 309-325.

Boateng, L., Ansong, R., Owusu, W. & Steiner-Asiedu, M. (2016). Coconut oil and palm oil's role in nutrition, health and national development: A review. *Ghana Medical Journal*, 50(3), 189-196.

Bolliger, S., Kornbrust, B., Goff, H.D., Tharp, B.W., & Windhab, E.J. (2000a). Influence of emulsifiers on ice cream produced by conventional freezing and low-temperature extrusion processing. *International Dairy Journal,* 10(7), 497-504.

Bolliger, S., Kornbrust, B., Goff, H.D., Tharp, B.W., & Windhab, E.J. (2000b). Relationships between ice cream mix viscoelasticity and ice crystal growth in ice cream. *International Dairy Journal*, 10(11), 791-797.

Brown, A. (2014) *Understanding Food Principles and Preparation*. Wadsworth Cengage Learning. CA 94002-3098, USA.

Bulhões, A.C., Goldani, H.A.S., Oliveira, F.S., Matte, U.S., Mazzuca1, R.B., & Silveira, T.R. (2007). Correlation between lactose absorption and the C/T-13910 and G/A-22018 mutations of the lactase-phlorizin hydrolase (LCT) gene in adult-type hypolactasia. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 40(11), 1441-1446.

Caillet, A., Cogné, C., Andrieu, J., Laurent, P., & Rivoire, A. (2003). Characterization of ice cream structure by direct optical microscopy. Influence of freezing parameters. *LWT- Food Science and Technology*, 36(8), 743-749.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Caldwell, K.B., Goff, H.D., & Stanley, D.W. (1992). A Low-Temperature Scanning Electron Microscopy Study of Ice Cream. II. Influence of Selected Ingredients and Processes. *Food structure*, 11(1), 11-23.

Campbell, I.J. & Pelan, B.M.C. (1998). *The influence of emulsion stability on the properties of ice cream*. Pages 25–36 in Ice Cream: Proceedings of the International Symposium held in Athens, Greece, 18-19 September 1997. Buchheim, W. ed. International Dairy Federation, Brussels, Belgium.

Choo, S.Y., Leong, S.K., & Lu, F.S.H. (2010). Physicochemical and sensory properties of ice-cream formulated with virgin coconut oil. *Food Science and Technology International,* 16, 531-541.

Clarke, C. (2003). The physics of ice cream. *Physics Education*, 38(3), 248-253.

Cottrell, J.I.L., Pass, G., & Phillips, G.O. (1980). The effect of stabilizers on the viscosity of an ice cream mix. Journal of the Science of Food and Agriculture, 31(10), 1066-1070.

Curry, A. (2013). The milk revolution. *Nature*, 500(1:8), 20-21.

Donhowe, D.P., Hartel, R., & Bradley, R.L. (1991). Determination of Ice Crystal Size Distributions in Frozen Desserts. Journal of Dairy Science, 77, 3334-3344. Retrieved from https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(91)78521-4/pdf

Enig, M.G. (1999). *Coconut: In support of good health in the 21st century*. Retrieved from http://www.coconutoil.com/coconut_oil_21st_century.htm

Flack, E. (1989). Ice cream. Journal of the Society of Dairy Technology, 42(1), 2.

Flores, A.A., & Goff, H.D. (1999). Ice Crystal Size Distributions in Dynamically Frozen Model Solutions and Ice Cream as Affected by Stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 82(7), 1399-1407.

Giese, J. (1996). Fats, oils, and fat replacers. *Journal of Food Technology,* 50(4), 78–83.

Goff, H.D. (1997). Colloidal aspects of ice cream – a review. *International Dairy Journal*, 7, 363-373.

Goff, H.D., Caldwell, K.B., & Stanley, D.W. (1993). The influence of polysaccharides on the glass transition in frozen sucrose solution and Ice cream. *Journal of Dairy Science*, 76, 1268.

Goff, H.D., & Hartel, R.W. (2013). *Ice cream 7th edition.* Springer, Boston, MA. 313-352.

Goff, H.D. & Jordan, W.K. (1989). Action of emulsifiers in promoting fat destabilization during the manufacture of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 72, 18-29.

Goff, H.D., Liboff, M., Jordan, W.K. & Kinsella, J.E. (1987) The effects of polysorbate 80 on the fat emulsion in ice cream mix: evidence from transmission electron microscopy studies. Food Microstructure 6, 193-198.

Goff, H.D., Verespej, E., & Smith, A.K. (1999). A study of fat and air structures in ice cream. *International Dairy Journal*, 9, 817-829.

Granger, C., Barey, P., Combe, D., Veschambre, P., & Cansell, M. (2003). Influence of the fat characteristics on the physicochemical behavior of oil-in-water emulsions based on milk proteins glycerol esters mixtures. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 32, 353-363.

Granger, C., Leger, A., Barey, P., Langendorff, V., & Cansell, M. (2005). Influence of formulation on the structural networks in ice cream. *International Dairy Journal,* 15, 255-262.

Gopala Krishna, A.G., Raj, G., Bhatnagar, A.S., Prasanth Kumar, P.K., & Chandrashekar, P. (2010). Coconut Oil: Chemistry, Production and Its Applications - A Review. *Indian Coconut Journal*, 15-27. Retrieved from https://www.coconutboard.in/docs/English-Article-Gopalakrishna-CFTRI.pdf

Güven, M., Kalender, M., & Taspinar, T. (2018). Effect of Using Different Kinds and Ratios of Vegetable Oils on Ice Cream Quality Characteristics. *Foods*, 7(7), 104. Retrieved from doi:10.3390/foods7070104

Hagiwara, T. & Hartel, R.W. (1996). Effect of sweetener, stabilizer and storage temperature on ice recrystallization in ice cream, *Journal of Dairy Science*, 79, 735-744.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Hartel R.W. 1996. Ice crystallization during the manufacture of ice cream. Trends in Food Science and Technology, 7(10), 315–321.

Hartel, R.W. (2001). Crystallization in Foods in *Handbook of Industrial Crystallization*. Retrieved from 10.1016/B978-075067012-8/50015-X

Herald, T.J., Aramouni, F.M., & Abu-Ghoush, M.H. (2008). Comparison study of egg yolks and egg althermantives in French vanilla ice Cream. *Journal of Texture Studies*, 39, 284–295.

Inoue, K., Ochi, H., Habara, K., Taketsuka, M., Saito, H., Ichihashi, N., & Iwatsuki, K. (2007). Modeling of the effect of freezer conditions on the hardness of ice cream using response surface methodology. *Journal of Dairy Science*, 92(12), 5834-5842.

Jost, B., Vilotte, J.L., Duluc, I., Rodeau, J.L., & Freund, J.N. (1999). Production of low-lactose milk by ectopic expression of intestinal lactase in the mouse mammary gland. *Natural Biotechnology*, 17(2), 160-164.

Julien, J.P. (1985). Ice cream in *Dairy Science and Technology: Principles and Applications*. Laval Univ. Press. Quebec City, Quebec, Canada.

Keeney, P.G., & Kroger, M. (1974). Frozen dairy products. Ch. 14 in *Fundamentals of Dairy Chemistry*. B.H. Webb, A.H. Johnson, & J.A. Alford (Eds.), p. 873-913. Westport, CT: AVI Publishing Co.

Koxholt, M.M.R., Eisenmann, B., & Hinrichs, J. (2001). Effect of the Fat Globule Sizes on the Meltdown of Ice Cream. *Journal of Dairy Science*, 84, 31–37.

LaBarge, R.G. (1988). The search for a low-calorie oil. *Journal of Food Technology*, 42(1), 84–87.

Lentze, M.J. & Branski, D. (2012). Enzyme deficiencies. *Nelson Textbook of Pediatrics 19th edition* Klieyman R.M. ed. Retrieved from http://www.mdconsult.com.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Mahdian, E., & Karazhian, R. (2013). Effects of fat replacers and stabilizers on rheological, physicochemical and sensory properties of reduced- fat ice cream. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15, 1163-1174.

Méndez-Velasco, C., & Goff, H.D. (2012). Fat structure in ice cream: A study on the types of fat interactions. *Food Hydrocolloids*, 29(1), 152-159

Marina, A. M., Che Man, Y. B., & Amin, I. (2009). Virgin coconut oil: emerging functional food oil. *Trends in Food Science & Technology*, 20(10), 481-487.

Marshall, R.T., & Arbuckle, W.S. (1996). *Ice cream 5th ed*. New York: Chapman Hall.

Marshall, R.T., Goff, H.D., & Hartel, R.W. (2003). *Ice cream 6th ed*. New York: Chapman & Hall.

Marten, B., Pfeuffer, M., & Schrezenmeir, Jr. (2006). Medium-chain triglycerides. *International Dairy Journal*, 16, 1374-1382.

Muse, M.R., & Hartel, R.W. (2004). Ice cream structure elements that affect melting rate and hardness. *Journal of Dairy Science.* 87, 1-10.

Park, S.H., Jo, Y., Chun, J., Hong, G., Davaatseren, M., & Choi, M. (2015). Effect of Frozen Storage Temperature on the Quality of Premium Ice Cream. *Korean Journal For Food Science Of Animal Resources*, 35(6), 793–799.

Palzer, S. (2009). Food structures for nutrition, health and wellness. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 194-200.

Pelan, B.M. C., Watts, K. M., Campbell, I. J., & Lips, A. (1997). The stability of aerated milk protein emulsions in the presence of small molecule surfactants. *Journal of Dairy Science,* 80, 2631–2638.

Pribila, B.A., Hertzler, S.R., Martin, B.R., Weaver, C.M., & Savaiano, D.A. (2000). Improved lactose digestion and intolerance among African-American adolescent girls fed a dairy-rich diet. *Journal of American Diet Association*, 100(5), 524-530.

Prindiville, E.A., Marshall, R.T., & Heymann, H. (1999). Effect of milk fat on the sensory properties of chocolate ice cream. *Journal of Dairy Science,* 82(7), 1425-1432.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Roland, A.M., Phillips, L.G., & Boor, K.J. (1999). Effects of Fat Content on the Sensory Properties, Melting, Color, and Hardness of Ice Cream. *Journal of Dairy Science*, 82(1), 32-38.

Ronholt, S., Mortensen, K. & Knudsen, J.C. 2013). The Effective Factors on the Structure of Butter and Other Milk Fat-Based Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12, 468-482.

Russell, A. (2008). Process innovation from research and development to production in a large company – development and commercialisation of a low temperature extrusion process. *Case Studies in Food Product Development*. Retrieved from https://doi.org/10.1533/9781845694135.4.202

Rybak, O. (2016). Milk fat in structure formation of dairy products: a review. *Ukrainian Food Journal*, 5(3), 499-514. Retrieved from https://nuft.edu.ua/doi/doc/ufj/2016/3/9.pdf

Segall, K. I. & Goff, H. D. (1999). Influence of adsorbed milk protein type and surface concentration on the quiescent and shear stability of butteroil emulsions. *International Dairy Journal*, 9(10), 683-691.

Schmidt, K. A., Lundy, A., Reynolds, J., & Yee, L.N. (1993). Carbohydrate or protein based fat mimicker effects on ice milk properties. *Journal of Food Science,* 58(4), 761–779.

Smet, K., De Block, J., Van Der Meeren, P.V., Raes, K., Dewettinck, K., & Coudijzer, K. (2010). Influence of milk fatty acid composition and process parameters on the quality of ice cream. *Dairy Science & Technology*, 90, 431–447.

Specter, S.E., & Setser, C.S. (1994). Sensory and physical properties of a reduced-calorie frozen dessert system made with milk fat and sucrose substitutes. *Journal of Dairy Science,* 77, 708–717.

Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* 2nd Ed. East Lansing: Freeman Press.

Sung, K.K. & Goff, H.D. (2010). Effect of solid fat content on structure in ice creams containing palm kernel oil and high-oleic sunflower oil. *Journal of food science*, 75(3), C274-279.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Tharp, B.W., Forrest, B., Swan, C., Dunning, L., & Hilmoe, M. (1998). *Basic factors affecting ice cream meltdown.* Pages 54– 64 in Ice Cream: Proceedings of the International Symposium held in Athens, Greece, 18– 19 September 1997. W. Buchheim, ed. International Dairy Federation, Brussels, Belgium.

Udabage, P., Augustin, M., Cheng, L.J., & Williams, R. (2005). Physical behaviour of dairy ingredients during ice cream processing. *Dairy Science & Technology*, 85(4-5), 383-394

Varnam, A.H., & Sutherland, J.P. (1994). Milk and milk products, Technology, Chemistry, and Microbiology. UK: Chapman and Hall.

Vesa, T.H., Marteau, P., & Korpela, R. (2000). Lactose intolerance. *Journal of the American College of Nutrition*, 19, 165–175.

Wang, Q., Li, Y., Han, C. Li, L., Shen, L., & Zhang, J. (2017). Responses of soil nitrous oxide production and abundances and composition of associated microbial communities to nitrogen and water amendment. *Biology and Fertility of Soils*, 53, 601–611.

Zhang, J., Zhao, W., Guo, X., Guo, T., Zheng, Y., Wang, Y., Hao, Y., & Yang, Z. (2017). Survival and Effect of Exopolysaccharide-Producing *Lactobacillus plantarum* YW11 on the Physicochemical Properties of Ice Cream. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. Retrieved from DOI: 10.1515/pjfns-2017-0002

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

การทดสอบแบบการยอมรับแบบ hedonic scale

ชื่อ.....วันที่.....

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับ แล้วให้คะแนนการยอมรับในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
5 = เฉย ๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก
9 = ชอบมากที่สุด
(กรุณาป้วนปากระหว่างการทดสอบตัวอย่างแต่ละตัวอย่างทุกครั้ง)

คุณลักษณะ	รหัส				
	785	226	327	148	589
สี					
กลิ่น					
รสหวาน					
เนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อ)					
เนื้อสัมผัส (การละลายของผลิตภัณฑ์ในปาก)					
เนื้อสัมผัส (ความรู้สึกสากลิ้นเหมือนมีเม็ดทราย)					
ความชอบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะ.....

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 1ก แบบทดสอบการการยอมรับแบบ hedonic scale

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 1ข อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรควบคุม

เวลา (นาที)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เหลือ				เฉลี่ยอัตราการละลาย	S.D. อัตราการละลาย	อัตราการละลาย (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	S.D.			
0	33.94	31.93	32.94	1.42	100.00	4.32	0.00
10	33.69	31.89	32.79	1.27	99.56	3.86	0.44
20	30.38	28.04	29.21	1.65	88.69	5.02	11.31
30	19.36	18.89	19.13	0.33	58.07	1.01	41.93
40	7.89	10.36	9.13	1.75	27.71	5.30	72.29
50	2.69	4.82	3.76	1.51	11.40	4.57	88.60
60	2.72	4.69	3.71	1.39	11.25	4.23	88.75

ตารางที่ 2ข อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรที่ 1

เวลา (นาที)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เหลือ				เฉลี่ยอัตราการละลาย	S.D. อัตราการละลาย	อัตราการละลาย (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	S.D.			
0	35.24	32.14	33.69	2.19	100.00	6.51	0.00
10	33.74	31.94	32.84	1.27	97.48	3.78	2.52
20	28.41	29.38	28.90	0.69	85.77	2.04	14.23
30	18.67	20.23	19.45	1.10	57.73	3.27	42.27
40	9.46	10.07	9.77	0.43	28.98	1.28	71.02
50	3.75	3.44	3.60	0.22	10.67	0.65	89.33
60	3.72	3.4	3.56	0.23	10.57	0.67	89.43

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3ข อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรที่ 2

เวลา (นาที)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เหลือ				เฉลี่ยอัตราการละลาย	S.D. อัตราการละลาย	อัตราการละลาย (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	S.D.			
0	35.48	35.28	35.38	0.14	100.00	0.40	0.00
10	35.4	35.14	35.27	0.18	99.69	0.52	0.31
20	32.07	30.78	31.43	0.91	88.82	2.58	11.18
30	22.19	22.27	22.23	0.06	62.83	0.16	37.17
40	10.8	13.02	11.91	1.57	33.66	4.44	66.34
50	3.92	4.72	4.32	0.57	12.21	1.60	87.79
60	3.48	3.24	3.36	0.17	9.50	0.48	90.50

ตารางที่ 4ข อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรที่ 3

เวลา (นาที)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เหลือ				เฉลี่ยอัตราการละลาย	S.D. อัตราการละลาย	อัตราการละลาย (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	S.D.			
0	37.14	34.91	36.03	1.58	100.00	4.38	0.00
10	37.05	34.56	35.81	1.76	99.39	4.89	0.61
20	34.11	29.54	31.83	3.23	88.34	8.97	11.66
30	22.83	19.39	21.11	2.43	58.60	6.75	41.40
40	10.19	9.46	9.83	0.52	27.27	1.43	72.73
50	3.03	3.38	3.21	0.25	8.90	0.69	91.10
60	3.06	3.39	3.23	0.23	8.95	0.65	91.05

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5ข อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรที่ 4

เวลา (นาที)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เหลือ				เฉลี่ยอัตราการละลาย	S.D. อัตราการละลาย	อัตราการละลาย (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	S.D.			
0	34.99	36.26	35.63	0.90	100.00	2.52	0.00
10	35.01	35.5	35.26	0.35	98.96	0.97	1.04
20	32.79	30.83	31.81	1.39	89.29	3.89	10.71
30	21.62	20.94	21.28	0.48	59.73	1.35	40.27
40	9.96	11.1	10.53	0.81	29.56	2.26	70.44
50	3.38	3.26	3.32	0.08	9.32	0.24	90.68
60	3.3	3.2	3.25	0.07	9.12	0.20	90.88

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

ตารางที่ 1ค ค่า Storage modulus G′ ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

ความถี่ (Hz)	ก่อนบ่ม (Pa)					หลังบ่ม (Pa)				
	สูตรควบคุม	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตรควบคุม	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
0.1	14.98	7.985	203.8	7.704	10.51	0.2328	7.506	5.058	10.2	1.833
0.1259	17.49	9.178	11.85	9.353	12.43	0.3182	9.373	6.173	11.58	2.34
0.1585	20.44	10.42	13.26	10.96	14.26	0.4106	11.12	7.377	13.58	3.04
0.1995	22.1	11.56	13.28	12.59	16.03	0.4973	12.81	8.353	15.48	3.478
0.2512	25.17	12.59	15.87	13.91	17.67	0.59	13.84	9.423	16.8	4.207
0.3162	26.61	14.12	17.92	15.62	19.57	0.6943	16.17	10.04	18.62	4.805
0.3981	28.17	15.23	19.27	16.72	21.15	0.8363	16.82	11.62	19.28	5.448
0.5012	30.77	16.15	20.54	18.31	22.78	0.9138	17.37	12.24	21.91	6.04
0.631	33.4	16.89	22.11	19.48	24.71	1.027	19.16	13.27	23.11	6.794
0.7943	34.76	18.39	23.53	20.79	25.76	1.132	20.14	14.72	24.35	7.367
1	36.2	19.81	25.07	22.08	27.49	1.238	21.2	16.06	25.93	8.233
1.259	37.59	20.52	26.37	23.6	28.97	1.351	22.37	16.74	26.87	8.797
1.585	40.06	21.26	27.93	25.02	30.53	1.418	23.35	18.05	28.59	8.999
1.995	40.49	22.8	28.98	25.73	32.3	1.442	23.95	19.32	29.74	9.4
2.512	42.54	24.01	30.73	27.13	33.77	1.367	25.21	20.55	30.7	9.532
3.162	43.78	24.49	31.78	27.94	34.3	1.099	25.67	22.12	32.3	9.403
3.981	43.62	25.54	32.91	28.51	35.74	0.6148	25.67	24.37	33.43	8.892
5.012	43.35	26.51	33.76	28.76	37.04	-0.6279	25.45	27.13	34.54	7.29
6.31	41.58	27.91	34.26	28.69	37.78	-1.638	24.69	31.02	35.76	5.138
7.943	38.26	28.78	34.59	28.18	38.07	-3.732	22.62	37	36.84	0.4433
10	31.23	28.62	32.37	25.58	37.27	-8.817	17.76	44.52	38.9	-10.48
12.59	27.82	22.07	33.12	21.56	38.28	-30.79	1.176	57.59	38.31	-18.35
15.85	40.57	67.79	54.6	-4.663	63.93	5.147	4.61	-25.17	16.49	-10.34
25.12	279.7	-105.1	77.3	-181.7	77.06	-36.08	165.5	31.18	-83.25	73.98
31.62	-8.396	144.4	-290.1	36.3	59.98	24.8	106.2	-121.2	-135.9	370.3
50.12	3886	594.9	1668	4012	1388	4339	2525	1065	1521	2598
79.43	3911	7256	6868	7507	5680	7652	3522	5091	4865	5038
100	10090	11970	11560	11810	11340	13372	12020	10690	10600	12360

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2ค ค่า Loss modulus G'' ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีปริมาณน้ำตาลแล็กโทสต่ำ

ความถี่ (Hz)	ก่อนบ่ม (Pa)					หลังบ่ม (Pa)				
	สูตรควบคุม	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตรควบคุม	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
0.1	2.698	6.377	7.14	7.791	5.429	0.05046	5.692	2.24	5.689	0.8142
0.1259	2.85	6.504	7.473	8.226	5.42	0.06139	6.218	2.649	5.812	0.9555
0.1585	3.06	6.563	8.099	8.499	5.838	0.07045	6.8	2.957	6.548	1.041
0.1995	3.121	6.722	8.131	8.932	5.954	0.07946	6.697	3.285	6.656	1.149
0.3162	3.243	7.031	8.875	9.027	6.178	0.1173	6.721	3.809	7.014	1.364
0.5012	3.286	6.73	9.033	9.349	5.971	0.1436	7.208	4.099	7.838	1.509
1	3.229	6.726	9.003	9.224	5.964	0.2272	6.869	4.429	7.844	1.7
1.259	3.259	6.819	8.893	9.091	5.952	0.2749	6.902	4.531	7.761	1.752
1.995	3.208	6.329	8.529	8.952	5.436	0.3687	6.722	4.614	7.778	1.902
2.512	3.17	6.522	8.358	8.518	5.437	0.4699	6.289	4.66	7.912	1.916
3.162	3.14	6.259	8.311	8.608	5.46	0.5385	6.255	4.694	7.851	1.955
3.981	3.099	6.65	8.038	8.446	5.327	0.4882	6.197	4.67	7.644	2.072
5.012	3.113	6.867	7.941	8.295	5.192	0.9353	6.203	4.561	7.488	2.009
6.31	3.145	6.923	7.867	8.042	5.244	0.7916	6.222	4.513	7.474	2.586
7.943	2.682	6.887	7.738	8.22	5.215	1.608	6.811	4.699	7.173	2.198
10	3.136	7.282	7.749	7.893	4.439	1.117	4.99	3.979	7.176	2.305

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวัฒ ไทยอุดม

2. การศึกษา : วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์ เกียรตินิยม), ม.เกษตรศาสตร์, 2535
วท.ม. (เทคโนโลยีอาหาร), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538
Ph.D. (Food Science), U. of Guelph, 2545

3. ตำแหน่งปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

4. ประสบการณ์ทำงาน :

ก.ย. 2538 อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ส.ค. 2540 ผู้ช่วยวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์อาหาร U. of Guelph, Canada

ธ.ค. 2545 อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ก.พ. 2546 Fellowship โครงการ Modern Biotechnology and Technology Transfer ประเทศเยอรมัน

ต.ค. 2548-ม.ค. 2552 ผู้ช่วยผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มี.ค. 2550 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ม.ค. 2552-ก.ย. 2552 รองผู้อำนวยการศูนย์สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ต.ค. 2552-ต.ค. 2554 ผู้อำนวยการศูนย์สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ต.ค. 2554- 2556 ผู้อำนวยการศูนย์กิจการนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พ.ย. 2556-ปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ต.ค. 2560-ต.ค. 2561 ผู้จัดการสำนักงานบริการวิชาการและโครงการพิเศษ และผู้จัดการเครือข่ายโปรแกรมพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม เทคโนธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ต.ค. 2561-ปัจจุบัน หัวหน้าโครงการจัดตั้งเมืองนวัตกรรมภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง สังกัดเทคโนธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5. การอบรมที่มีใบรับรองทางวิชาชีพ :

มิ.ย. 2539 หลักสูตร หลักการและวิธีการควบคุมการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ จัดโดย สมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหารแห่งประเทศไทย (FoSTAT)

มี.ค.-ธ.ค. 2546 Advanced Professional Training on Modern Biotechnology and Technology Transfer, Germany

มี.ค. 2548 Ensuring Food and Feed Quality and Safety of Agricultural Products, Khon Kaen, Thailand

ต.ค.-ธ.ค. 2548 Advanced Sensory Descriptive Analysis, Bangkok, Thailand

มี.ค. 2551 การจัดการความปลอดภัยอาหารสำหรับ SEM โดนระบบ Pre-HACCP, กรุงเทพฯ ประเทศไทย

เม.ย.-พ.ค. 2551 ISO2200:2005 Food Safety Management Systems (Auditor/Lead Auditor Training Course), Bangkok, Thailand authorized by i-VAC Certification Limited

พ.ค. 2551 Better Process Control School: Thermal Processing of Low-Acid and/or Acidified Foods, FDA training in Thailand held by KMUTT, Bangkok, Thailand

ก.ย. 2551 การจัดทำเอกสารระบบคุณภาพและความรู้ความเข้าใจในข้อกำหนดตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025, กรุงเทพฯ ประเทศไทย

เม.ย. 2552 หลักสูตร ผู้รับผิดชอบสหกิจศึกษาในสถานศึกษาและสถานประกอบการ, จัดโดย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, กรุงเทพฯ ประเทศไทย

มิ.ย. 2552 Training Course on ISO22000:2005 Food Safety Management System Documentation & Implementation, Bangkok, Thailand organized by AIAC, nfi and QMC

ต.ค.-ธ.ค. 2552 หลักสูตรผู้อบรม 7 Habits for University Students, PacRim Group, Thailand

ม.ค. 2553 หลักสูตร การฝึกอบรมสำหรับผู้ให้การฝึกอบรมสหกิจศึกษา จัดโดยสำนักงาน คณะกรรมการการอุดมศึกษา, กรุงเทพฯ ประเทศไทย

ม.ค. 2553 Training of The Trainers TACE/WACE Programme, Bangkok, Thailand

ม.ค. 2554 หลักสูตร การเตรียมความพร้อมเจ้าหน้าที่ผู้ตรวจประเมินและผู้ประกอบการเข้าสู่ มาตรฐาน GMP อาหารกระป๋องและอาหารแช่เยือกแข็ง, นนทบุรี จัดโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและ ยา กระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย

มี.ค. 2557 อาหารฮาลาลและแนวทางปฏิบัติเพื่อการอุตสาหกรรม, คณะกรรมการกลางอิสลามแห่ง ประเทศไทย, นครราชสีมา

ส.ค. 2557 Food Safety and Nutrition Security Counseling Program, Bangkok, Thailand

ต.ค. 2558 ธรรมาภิบาลเพื่อการพัฒนาคณะ จัดโดยสถาบันคลังสมองของชาติ ประเทศไทย

ส.ค. 2559 Human Subject Protection Course, Nakhon Ratchasima, Thailand by FERCIT

ต.ค. 2559 The AUN-QA Training Course for Accomplishing Programme Assessment 2016, Bangkok, Thailand authorized by Asean University Network

ม.ก. 2561 การอบรม Gobal Standard for Foods Safety: BRC issue 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี โดย FoSTAT

ม.ค. 2561 การอบรม Good Manufacturing Practice (GMP), Hazard Analysis and critical Control Point (HACCP) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดย FoSTAT

6. ผลงานวิชาการ :

6.1 หนังสือและเอกสารวิชาการ

1) เอกสารประกอบการสอน รายวิชา การควบคุมคุณภาพอาหาร

2) เอกสารประกอบการสอน รายวิชา อาหารและโภชนาการ

3) เอกสารประกอบการสอนอิเล็คโทนิกส์ เรื่อง สีผสมอาหาร

4) เอกสารประกอบการสอนอิเล็คโทนิกส์ เรื่อง การควบคุมคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร

5) เอกสารประกอบการสอนอิเล็คโทนิกส์ เรื่อง วัตถุเจือปนที่ห้ามใช้ในอาหาร

6) เอกสารประกอบการสอนอิเล็คโทนิกส์ เรื่อง การใช้น้ำตาลในอาหาร

6.2 บทความและการนำเสนอทางวิชาการ

S. Thaiudom and H.D. Goff, (2003), Effect of **K**-carrageenanon milk protein polysaccharide mixtures, International Dairy Journal 13 pp. 763–771.

Thaiudom, S. (2007). Effects of ratio of milk fat to soy bean oil and whipping time on qualities of milk ice cream. Songklanakarin J. Sci. Technol. 29(1) : 191-204.

Suwayd Ningsanond, Piyawan Gasalak, Khowgamond Donkhaow, Narin Sithithoon and Siwatt Thaiudom. (2007). A study of food safety in fruits and vegetables : Fee market and Vender Cart. KNIT Thailand grant research report (in Thai).

Nantika Thungmanee, Kanok-Orn Intarapichet and Sukrit Thaiudom. (2007). Effects of spraydrying parameters of whole egg on water activity, color and oxidation, illustrated by using response surface design. Proceeding of The Food Innovation Asia 2007. BITECBangkok Thailand .

Thaiudom, S. (2007). Effect of modified tapioca as ice cream stabilizer and non butter fat on the overrun and air cell stability of ice cream model system.Report, Reported to National Center for Genetic Engineering and Biotechnology National Science & Technology Development Agency.

Tidawan Pojit and Siwatt Thaiudom. (2008). Influences of milk proteins and emulsifiers on the stability and quality of ice cream. Oral Presentation in the 34th Scientific and Technological Meeting of Thailand.Queen Sirikit Conventional Hall. Bangkok. 31 October-2 November 2008.

Siwatt Thaiudom, Khoon Singchan, and Thanomduang Saeli. (2008). Comparison of Commercial stabilizers with modified tapioca starches on foam stability and overrun of ice cream. As. J. Food Ag-Ind. 2008, 1(01), 51-61

S. Thaiudom (2009) The affective tests of pasteurized milk containing sunflower oil as substitute and fortified vitamin D_3 and calcium. 8th Pangborn Sensory Science Symposium 26-30 July 2009, Stazione Leopolda, Florence, Italy.

Siwatt Thaiudom (2010). Comparisons of physical and rheological properties of milk ice cream containing hydroxypropylated starch and kappa-carrageenan as stabilizer.1st International Congress on Food Technology, 3-6 November 2010, Antalya, Turkey.

S. Thaiudom (2011) Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. 11th International Congress on Engineering and Food: Food Process Engineering in a Changing World (iCEF11), 22-26 May 2011. Athens, Greece

S. Thaiudom (2011) Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. Procedia Food Science. 1:315-321.

K. Khantarat and S. Thaiudom (2011) Stability and Rheological Properties of Fat-Reduced Mayonnaises Containing Modified Starches as Fat Replacer. Thai Journal of Agricultural Science 44(5): 304-311.

S. Thaiudom (2012) The effects of milk/ modified starch interaction on rheological properties and stability of O/W emulsion. Abstract. The 11th International Hydrocolloids Conference. 14-18 May 2012. Whistler Center for Carbohydrate Research, Purdue University, Indiana, USA.

S. Thaiudom, K. Khantarat, H. Nopcharoonsri (2012). Influences of milk protein/modified starch interaction and pasteurization conditions on O/W emulsion characteristics. The 11th International Hydrocolloids Conference. 14-18 May 2012. Whistler Center for Carbohydrate Research, Purdue University, Indiana, USA.

S. Thaiudom and T. Pojit (2013) The effects of emulsifiers and milk proteins on stability, microstructure, and interfacial protein adsorption on fat of ice cream mix. Abstract. The 2013 UFT Annual Meeting & Food Expo 13-16 July 2013. McComick Place South, Chicago, Illinois, USA

Pachamon Pichayajittipong and Siwatt Thaiudom (2013) Optimization Condition of Natural β-Cyanin Colorant Production from Red Dragon Fruit (Hylocercus polyrhizus) Peels. The 15th Food Innovation Asia Conference 2013. 13-14 June 2013. Bitec Bangna, Bangkok. Thailand.

T. Pojit and S. Thaiudom (2014) The influence of interaction between milk protein types and emulsifiers on fat stabilisation, air cells, melting rate, and overrun of milk ice-cream. The 2nd Symposium on microstructure of dairy products. 3-4 March 2014. Melbourne, Australia. Poster presentation and abstract proceeding.

Sirinat Natisri, Kanjana Mahattanatawee and Siwatt Thaiudom (2014). Flavor improvement of soy ice cream by addition of lemongrass or pandan leaf extracts. Proceeding in The 2nd International Conference on "Food and Applied Bioscience. 6-7 February 2014. Chiang Mai. Thailand.

Pachamon Pichayajittipong and Siwatt Thaiudom (201**4**) Optimum Condition of Beta-Cyanin Colorant Production from Red Dragon Fruit (*Hylocercus polyrhizus*) Peels using Response Surface Methodology**.** Proceeding in The 2nd International Conference on "Food and Applied Bioscience. 6-7 February 2014. Chiang Mai. Thailand.

Natisri, S**.**, **Thaiudom, S.** and Mahattanatawee, K. 2014. Flavor improvement of soy ice cream by addition of lemongrass or pandan leaf extracts. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences. Special Issue 13(1) : 469-482.

Pichayajittipong, P. and **Thaiudom, S.** 2014. Optimum condition of beta-cyanin colorant production from red dragon fruit (*Hylocercus polyehizu*) peels using response surface methodology. J of Natural Science Special. Vol 13(1): 483-496.

Thaiwong, N., **Thaiudom, S.**, Haltrich, D., and Yamabhai, M. 2014. Production of recombinant β–galactosidase in *Lactobacillus plantarum*, using a pSIP-based food-grade expression system. Advanced Materials Research. Vol 931-932: 1518-1523.

Pracham, S .and **Thaiudom, S** .2016.The effect of protein content in jasmine rice flour on textural and rheological properties of jasmine rice pudding. International Food Research Journal (23)4: 1379-1388.

S.Thaiudom and S. Pracham. 2018. The influence of rice protein content and mixed stabilizers on textural and rheological properties of jasmine rice pudding**.** Food Hydrocolloids 76: 204-215 (JIR =4.747)

ศิวัฒ ไทยอุดม. (2561). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การพัฒนาเจลลี่ออกฤทธิ์เย็นสำหรับผู้ป่วยมะเร็งที่บำบัดด้วยเคมี (เจลหยกเย็น: Block burn jade gel) ภายใต้โครงการจัดตั้ง Northeastern Agri-Food Technopolis.

ศิวัฒ ไทยอุดม. (2561). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การพัฒนาแผ่นเจลรสผักผลไม้ใยอาหารสูงสำหรับผู้มีปัญหาท้องผูกและไม่บริโภคผักผลไม้ (ทับทิมสยามแผ่น: Siam ruby fruit leather) ภายใต้โครงการจัดตั้ง Northeastern Agri-Food Technopolis.

ศิวัฒ ไทยอุดม. (2561). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การพัฒนาเครื่องดื่มน้ำหญ้าหนวดแมวผสมเม็ดบีดรสขิงสำหรับผู้มีปัญหาท้องอืดท้องเฟ้อ (น้ำสุขภาพบุษราคัม: Topaz healthy drink) ภายใต้โครงการจัดตั้ง Northeastern Agri-Food Technopolis.

ศิวัฒ ไทยอุดม. (2561). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การพัฒนาแยมมะตูมผสมเสาวรสสำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (แยมแซฟไฟร์ส้ม : Orange sapphire Jam from bael and passion fruit) ภายใต้โครงการจัดตั้ง Northeastern Agri-Food Technopolis.

ศิวัฒ ไทยอุดม. (2561). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมน้ำนมไขมันต่ำที่มีโอลิโกแซคคาไรด์และโปรไบโอติก. สนับสนุนงบวิจัยโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติผ่านมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศิวัฒ ไทยอุดม. (2561). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง รายงานการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการทดสอบตลาด ของผลิตภัณฑ์ปลาช่อน Jerky ส้มต้มยำ ภายใต้โครงการยกระดับคุณภาพมาตรฐานผลิตภัณฑ์

อาหารที่บรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่ายสำหรับผู้ประกอบการผลิตอาหารขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs)

ศิวัฒ ไทยอุดม. (2561). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง รายงานการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการทดสอบตลาด ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจมูกข้าวไรซ์เบอรี่ผงกึ่งสำเร็จรูป ภายใต้โครงการยกระดับคุณภาพมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่ายสำหรับผู้ประกอบการผลิตอาหารขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs)

6.3 งานวิจัย (ที่กำลังทำอยู่)

1. การผลิตและศึกษาสมบัติของสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์มายองเนส
2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมน้ำนมไขมันและน้ำตาลแล็กโทสต่ำที่มีใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แทนมันเนย
3. การพัฒนาลูกอมสมุนไพรสำหรับลดความอยากบุหรี่สำหรับผู้ที่ติดบุหรี่
4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวฮางผงผสมธัญพืชและเครื่องดื่มน้ำชาข้าวหอมภูเขียวผสมน้ำผึ้งมะนาว โครงการส่งเสริมและพัฒนาการผลิตข้าวตลาดเฉพาะ (Niche Market) สนับสนุนงบประมาณโดยกรมการข้าว

7. ภาระงานสอน :

7.1 ระดับปริญญาตรี

สถิติสำหรับนักเทคโนโลยีอาหาร, การควบคุมคุณภาพอาหาร,การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและการตลาด, สัมมนา 1, โครงงานเทคโนโลยีอาหาร, การประเมินทางประสาทสัมผัสของอาหาร, บรรจุภัณฑ์อาหาร, เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์อาหาร

7.2 ระดับปริญญาโทและเอก

สถิติสำหรับการวิจัยทางอุตสาหกรรมเกษตร, วิทยากระแสของอาหาร, เทคโนโลยีคอลลอยด์และอิมัลชันในอาหาร, สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของวัสดุธรรมชาติ

8. รางวัล :

8.1 The best poster presentation on research entitled “Process Development of Instant Centella asiatica (Linn.) Urban Drink” in Thailand Food and Packaging Conference 95’ at Queen Sirikrit Conventional Conference Hall, Bangkok. 1995.

8.2 The best poster presentation on research entitled “The influence of interaction between milk protein types and emulsifiers on fat destabilization, air cells, melting rate, and overrun of milk ice-cream” in the 2nd symposium on microstructure of dairy products, 3-4 March 2014. Melbourne, Australia.

8.3 รางวัลชนะเลิศที่ 1 ถ้วยพระราชทานสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา สยามบรมราชกุมารีฯ อาจารย์ที่ปรึกษา ในการประกวด การนำเสนอบทความ “ทำอย่างไรประเทศไทยจึงจะเป็น HUB ของอุตสาหกรรมน้ำนมในอาเซียน” งานโคน้ำนมแห่งชาติ 22 มกราคม 2557, หมวกเหล็ก สระบุรี

8.4 Best paper award entitled “Value-added red colourant from red-peel of dragon fruit (*Hylocercus polyrhizus*) and its bioactivity” in The 2nd conference of Food Properties at Bangkok, Thailand. June 2016.

8.5 ที่ปรึกษาโครงการที่ได้รางวัลชนะเลิศ Food Innopolis Innovation Contest 2017 ภายใต้หัวข้อ Waste Not ชื่อโครงการ Betamilk ณ ศูนย์การค้าสยามพารากอน วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2561

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี