



การประยุกต์ใช้มัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำในมายองเนสลดไขมัน

โดย

นางสาวทิพย์ดนยา ทิพนาสศิริสกุล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การประยุกต์ใช้อัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำในมายองเนสลดไขมัน

โดย

นางสาวทิพย์คนยา ทิพนาศิริสกุล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**THE APPLICATION OF MULTIPLE EMULSIONS (W/O/W) IN REDUCED FAT
MAYONNAISE**

By

Miss Thipdonnaya Thipphanatsirisakun

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2012

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “การประยุกต์ใช้อิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำในมายองเนสลดไขมัน” เสนอโดย นางสาวทิพย์คนยา ทิพนาคศิริสกุล เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ชารัทสนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญดา เพ็ญโรจน์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ)

...../...../.....

53403303 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ : อิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ/มายองเนสลดไขมัน/สัดส่วนปริมาณวัตถุ/ความคงตัว/อิมัลซิไฟเออร์

ทิพย์คนยา ทิพนาคศิริสกุล : การประยุกต์ใช้อิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำในมายองเนสลดไขมัน. อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : ผศ.ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ. 101 หน้า.

การนำอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำมาลดไขมันในผลิตภัณฑ์มายองเนส จำเป็นต้องศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัว การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์ ผลของปริมาณวัตถุอิมัลชันชั้นในต่อความคงตัวและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของมายองเนสอิมัลชันเชิงซ้อน ทำการทดลองโดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ 5 ชนิด ได้แก่ PGPR, เลซิทีน, PGMS, CITREM และ DMG พบว่าชนิดของอิมัลซิไฟเออร์มีผลต่อความคงตัวและชนิดของระบบอิมัลชันที่ได้ โดย PGPR เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่สามารถช่วยให้เกิดการก่อตัวเป็นอิมัลชันระบบน้ำในน้ำมันและให้อิมัลชันที่มีความคงตัวสูงกว่าอิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่น ๆ และจากการประเมินผลด้านความคงตัว การวัดขนาดของอนุภาค และโครงสร้างระดับจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าปริมาณ PGPR 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม ให้ความคงตัวของอิมัลชันชั้นในสูงสุด มีการกระจายตัวของอนุภาคเป็นแบบช่วงขนาดเดียวและมีความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาคสูง จากนั้นเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนโดยใช้ปริมาณอิมัลชันชั้นในร้อยละ 50 , 60, 65, 70, 77 และ 80 โดยน้ำหนัก พบว่า อิมัลชันเชิงซ้อนมีความคงตัวลดลง มีขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสูง และมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณอิมัลชันชั้นในเพิ่มสูงขึ้น จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่าสัดส่วนของอิมัลชันชั้นในร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากได้รับความชอบโดยรวมสูงสุด เมื่อนำไปทดสอบความคงระหว่างการเก็บรักษา พบว่าขนาดอนุภาคเชิงซ้อนใหญ่ขึ้นตามเวลาการเก็บรักษา มีความหนืดดัชนีความคงตัว และค่าออกซิไลสสะสม ลดลงตามเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากการบวมและการสลายตัวของครีโอล์เชิงซ้อน และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความมัน ความหนืด ความเรียบเนียนและความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากมายองเนสไขมันเต็มอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ปีการศึกษา 2555

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

53403303 : MAJOR : (FOOD TECHNOLOGY)

KEY WORD : W/O/W MULTIPLE EMULSIONS/ REDUCED FAT MAYONNAISE/ PHASE
VOLUME RATIO/ STABILITY/ PGPR

THIPDONNAYA THIPPHANATSIRISAKUN : THE APPLICATION OF MULTIPLE
EMULSIONS (W/O/W) IN REDUCED FAT MAYONNAISE. INDEPENDENT STUDY ADVISOR :
ASST.PROF.PRASONG SIRIWONGWILAICHAT, Ph.D. 101 pp.

To apply the multiple emulsions in reduced fat food products, it is necessary to study the factors influencing emulsion system stability, especially emulsifier types and their amount used. The objective of this study was therefore to determine the effect of emulsifiers and their concentrations on the primary w/o emulsion stability. The effect of the primary phase ratio on multiple emulsion (W/O/W) stability and sensory properties was also investigated. Emulsifiers including PGPR, Lecithin, PGMS, CITREM and DMG were studied. It was found that type of emulsifier and its concentration affected on emulsion stability and type of emulsion system. PGPR helped w/o emulsion formation better than the others. Evaluation of emulsion stability, size of droplets and microstructure under microscope. It was found that 5g/100 g emulsion PGPR gave the most stable primary emulsion with highly homogeneous droplet size. According to the multiple emulsions prepared from various primary phase ratios of 50, 60, 65, 70, 77 and 80%w/w, the results indicated that emulsion stability was decreased with increasing droplet size and its distribution as the primary phase proportion increased. In addition, the viscosity of multiple emulsions increased with increasing primary phase proportion. With regard of consumer sensory evaluation using 9-point hedonic scale, the mayonnaise comprising 70%w/w primary emulsion was optimum, considering its highest overall liking score. According to stability test during storage, it was found that the mean multiple droplets size increased while the viscosity and the emulsion stability index were decreased with aging. The storage/loss moduli were decreased with aging due to the swelling and breaking of multiple droplets. With regard of consumer sensory evaluation, the results showed that liking scores of appearance, smell, taste, creaminess, viscosity, smoothness and overall liking were not significantly different ($p > 0.05$) from those of full fat mayonnaise.

Department of Food Technology

Student's signature

Independent Study Advisor's signature

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2012

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยนี้ไม่สามารถสำเร็จล่วงได้ด้วยผู้จัดทำเพียงลำพังคนเดียว ทั้งนี้ผู้จัดทำขอโอกาสนี้ในการขอบพระคุณทุกท่านให้ความช่วยเหลือ จนงานวิจัยสำเร็จล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจในการทำงานและให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ ซึ่งให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ องค์ความรู้ และคำแนะนำต่างๆ ตลอดจนตรวจแก้ไขงานวิจัยเล่มนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปริญดา เพ็ญโรจน์ ซึ่งให้ความกรุณาในความรู้ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ในการวิเคราะห์วิทยาระแส

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย ซึ่งให้ความกรุณาในความรู้ และตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ในองค์ความรู้ด้านอิมัลชัน

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ด้านวิชาการ ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ยิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และทุกคนที่ให้ความเอื้อเฟื้อ ช่วยเหลือในด้านต่างๆ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจที่ดี

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับทุนอุดหนุนงานวิจัยและภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับโปรแกรมทดสอบทางประสาทสัมผัส SuSense และสถานที่ทำงานวิจัย

สุดท้ายขอขอบคุณผู้จัดทำฐานข้อมูลหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ของภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร ที่เป็นแหล่งในการค้นคว้าข้อมูล ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมติฐานของการศึกษา.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ผลิตภัณฑ์มายองเนส	4
ส่วนประกอบสำคัญ	4
คุณสมบัติและ โครงสร้างของมายองเนส	6
ข้อกำหนดการปิดฉลากของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทไขมัน.....	8
ระบบอิมัลชันเชิงซ้อน	8
กรรมวิธีการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อน	10
องค์ประกอบของระบบอิมัลชันเชิงซ้อน	12
วัฏภาคน้ำ (Aqueous phase).....	12
วัฏภาคน้ำมัน (Oil phase)	12
อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers).....	12
ความไม่คงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน.....	14
ความไม่คงตัวของระบบอิมัลชันเชิงเดี่ยว	15
การรวมกัน (coalescence) ระหว่างครีโอล์น้ำชั้นใน และวัฏภาคน้ำชั้นนอก	17
การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านวัฏภาคน้ำมัน	18

บทที่	หน้า
การเคลื่อนที่ของสารอิเล็กโทรไลต์ผ่านชั้นน้ำมัน	19
ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน	19
สารให้ความคงตัว.....	19
สัดส่วนของปริมาตรวัฏภาค (phase volume ratio)	23
ความดันออสโมติก.....	23
ขนาดของครีโอลีท (droplets size)	23
วิธีการเตรียมอิมัลชัน	24
การรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชัน	24
การใช้สารอิมัลซิไฟเออร์	24
การควบคุมขนาดของครีโอลีทน้ำและครีโอลีทเชิงซ้อน	26
การรักษาความคงตัวของครีโอลีทเชิงซ้อน	26
3 วิธีดำเนินงานวิจัย	27
วัตถุดิบและสารเคมี	27
อุปกรณ์และเครื่องมือ	27
วิธีการทดลอง	28
การคัดเลือกสูตรมายองเนสไขมันเต็มเพื่อใช้เป็นสูตรควบคุม	28
การเตรียมอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันที่เป็นอิมัลชันชั้นใน	
(primary emulsion).....	29
การเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ.....	30
การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	33
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	34
ผลการคัดเลือกสูตรมายองเนสไขมันเต็ม	34
ผลการเตรียมอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันที่เป็นอิมัลชันชั้นใน (primary emulsion) .	34
ผลของชนิดอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันเชิงเดี่ยว	
ชนิดน้ำในน้ำมัน	34
ผลของความเข้มข้นอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันเชิงเดี่ยว.....	
ชนิดน้ำในน้ำมัน	36

บทที่	หน้า
ผลการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ.....	41
ผลของสัดส่วนปริมาตรวัฏภาคอิมัลชันชั้นใน (primary emulsion) ต่อความคงตัว ...	
ของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ	41
ผลต่อคุณภาพประสาทสัมผัสของสัดส่วนปริมาตรวัฏภาคอิมัลชันชั้นใน	48
ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ต่อความคงตัวของ	
มาของเนสโดยการเปรียบเทียบกับมาของเนสไขมันเต็มและมาของเนสลดไขมันด้วย	
อิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ.....	51
การทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์มาของเนสลดไขมันที่เตรียมด้วยกรรมวิธีอิมัลชัน.....	
เชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำเปรียบเทียบกับมาของเนสไขมันเต็มสูตร2	66
5 สรุปผลการวิจัย.....	70
เอกสารอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก สูตรและกรรมวิธีการเตรียมอิมัลซิไฟเออร์และอิมัลชัน	79
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไขมันและเชื้อจุลินทรีย์.....	87
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	91
ประวัติผู้วิจัย	101

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน	29
2	ส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ	31
3	ผลการทดสอบความชอบโดยรวมของมายองเนสสูตรต่างๆ	34
4	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($D_{3,2}$) ของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันที่เตรียมโดยใช้ PGPR..... เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ปริมาณ 1-5 กรัม ต่ออิมัลชัน 100 กรัม	39
5	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย $D_{3,2}$ ของอิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W ที่เตรียมโดยใช้ ปริมาณอิมัลชัน เชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O emulsion) ร้อยละ 50 – 80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บ..... รักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	45
6	คะแนนความชอบด้านต่างๆ ของอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยว.. ร้อยละ 65 – 80 โดยน้ำหนัก หลังจากเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา..... 24 ชั่วโมง.....	49
7	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณลักษณะของมายองเนสสดไขมัน	49
8	สมบัติทางเคมีของมายองเนสไขมันเต็มและมายองเนสไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน	51
9	ดัชนีความคงตัวต่อการเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 14,000 รอบต่อนาทีของ มายองเนสสดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน (RF) และมายองเนสไขมันเต็ม (FF)	
	ระหว่างการเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ	52
10	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($D_{3,2}$) ของมายองเนสสดไขมัน (RF) และมายองเนสไขมันเต็ม (FF) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ	53
11	ค่าพารามิเตอร์ของการ fit สมการของ Herschel-Bulkley ของมายองเนสไขมันเต็ม (FF).... และมายองเนสไขมันเชิงซ้อน (RF)	62
12	คะแนนความชอบด้านต่างๆ ของมายองเนสไขมันเต็มสูตร 2 และมายองเนสสดไขมัน ด้วยอิมัลชันเชิงซ้อน หลังจากการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	
	เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาทดสอบ	67
13	การวิเคราะห์ meandrop/ total penalty ของการทดสอบความชอบด้วยสเกลความพอดี..... (JAR test) ในมายองเนสสดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อนและมายองเนสไขมันเต็ม	69

ตารางที่	หน้า
14	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณลักษณะความชอบโดยรวมของเนส เพื่อทำการคัดเลือกสูตรควบคุม โดยผู้ทดสอบจำนวน 51 คน..... 92
15	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($D_{3,2}$) ของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิด..... น้ำในน้ำมันที่เตรียมโดยใช้ PGPR เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 92
16	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของชั้นน้ำ ในอิมัลชันเชิงซ้อน ที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50-80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บไว้ 1 วัน และ 15 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 93
17	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย $D_{3,2}$ ของอิมัลชันเชิงซ้อน (W/O/W)... ที่เตรียมโดยใช้ ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยว (W/O emulsion) ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 50-80 โดยน้ำหนัก 93
18	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านต่างๆ ของอิมัลชันเชิงซ้อน ที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 65 – 80 โดยน้ำหนัก โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน 94
19	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีความคงตัวของมายองเนสไขมันเต็ม..... ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 96
20	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีความคงตัวของมายองเนสไขมันลดไขมัน อิมัลชันเชิงซ้อนระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 97
21	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคเฉลี่ย $D_{3,2}$ ของมายองเนสไขมันเต็ม (FF) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 97
22	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย $D_{3,2}$ ของมายองเนสลดไขมัน อิมัลชันเชิงซ้อน (RF) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 97
23	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านต่างๆ ของมายองเนส ไขมันเต็มและมายองเนสลดไขมันด้วยระบบอิมัลชันเชิงซ้อน โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน 98

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) แสดงพฤติกรรมการไหล (ก) และความความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) แสดงพฤติกรรมความหนืดของ ของไหลนิวโตเนียนและนอนนิวโตเนียน.....	7
2 พฤติกรรมความหนืดที่ขึ้นกับเวลาของของไหลนอนนิวโตเนียน (ก) และการแสดง ออกของลักษณะการไม่ซ้อนทับกันของเส้นกราฟเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนและเมื่อ ลดอัตราเฉือนของของไหลประเภท thixotropic (ข).....	7
3 ลักษณะโครงสร้างของครีโอลีทของระบบอิมัลชัน (ก) อิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมัน ในน้ำ (ผลิตภัณฑ์มายองเนส) และ (ข) อิมัลชันเชิงซ้อนชนิด น้ำในน้ำมันในน้ำ.....	9
4 แผนภาพขั้นตอนการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ..... (W/O/W multiple emulsion) ด้วยวิธีการแบบ 2 ขั้นตอน (two-step method)	11
5 ลักษณะการจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิว.....	13
6 ความไม่คงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน	14
7 ลักษณะความไม่คงตัวของระบบอิมัลชัน	15
8 กลไกการแตกตัวของกลุ่มครีโอลีทเมื่อได้รับแรงเฉือน	16
9 การแตกของครีโอลีทอันเนื่องมาจากแรงดันออสโมติก	18
10 กลไกของการเคลื่อนผ่านชั้นน้ำมันของโมเลกุลน้ำในระบบอิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W โดย (a) วิธี reverse micelle และ (b) วิธี lamellar thinning	19
11 ลักษณะของอิมัลชันเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้ (a) เลซิธิน และ (b) PGMS 90 (c) PGPR (d) DMG และ (e) CITREM.....	35
12 อิมัลชันน้ำในน้ำมันที่ทำให้คงตัวด้วย PGPR ปริมาณ 1-5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม หลังเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 1 วัน และ (ข) 15 วัน	37

ภาพที่	หน้า
13	การกระจายตัวของขนาดอนุภาครีโพลีเมอร์ของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน ที่เตรียมโดยใช้ PGPR เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ปริมาณ 1-5 กรัม ต่อ อิมัลชัน 100 กรัม เมื่อเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง..... 39
14	ลักษณะโครงสร้างของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า และเจือจางด้วย mineral oil 100 เท่า ที่เตรียมโดยใช้ PGPR เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ... ที่ปริมาณ 1-5 กรัม ต่ออิมัลชัน 100 กรัม เมื่อเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สเกลบาร์เท่ากับ 10 μm 40
15	ลักษณะปรากฏและความอยู่ตัวของเนื้ออิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำเมื่อ เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ (a) 50 (b) 60 (c) 65 (d) 70 (e) 77 (f) 80 โดยน้ำหนัก 42
16	ความหนืดของมาของเนสลดไขมันที่เตรียมโดยปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยว ร้อยละ 50-80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดย %PE หมายถึงร้อยละของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิด W/O ที่อยู่ชั้นในของอิมัลชันเชิงซ้อน..... 43
17	ร้อยละของการแยกชั้นและร้อยละของการเพิ่มขึ้นของชั้นน้ำ ในอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียม .. โดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50 – 80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บไว้ 1 วัน และ 15 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 44
18	การกระจายตัวของขนาดรีโพลีเมอร์เชิงซ้อน ของอิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W ที่เตรียม..... โดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50-80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดย %PE หมายถึงร้อยละของอิมัลชัน เชิงเดี่ยวชนิด W/O ที่อยู่ชั้นในของอิมัลชันเชิงซ้อน..... 46
19	ลักษณะโครงสร้างของอิมัลชันเชิงซ้อนที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า เจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า ที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50-80 โดยน้ำหนัก เมื่อ เก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สเกลบาร์เท่ากับ 10 μm 47
20	แผนภาพจากการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย PCA โดยค่าสังเกตคือปริมาณอิมัลชัน เชิงเดี่ยวร้อยละ 65–80 โดยน้ำหนัก อักษรย่อแทนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ต่างๆ โดย (A) คือ ความชอบโดยรวม (B) คือ ลักษณะปรากฏ (C) คือ ความข้นหนืด (D) คือ ความเรียบเนียน (E) คือ ความมัน (F) คือ กลิ่น..... และ (F) คือ รสชาติ..... 50

ภาพที่	หน้า
21	การกระจายของขนาดอนุภาครีโอปีเทอเชิงซ้อนของมายองเนสลดไขมันด้วยอิมัลชัน เชิงซ้อนชนิด W/O/W ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 54
22	การกระจายของขนาดอนุภาครีโอปีเทอน้ำมันของมายองเนสไขมันเต็ม ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ 54
23	การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับจุลภาคของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ .. ของมายองเนสลดไขมันที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า ระหว่างทำการเก็บรักษา..... ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ 56
24	การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับจุลภาคของอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ของมายองเนสไขมันเต็มที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า ระหว่างการเก็บรักษา..... ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ 57
25	พฤติกรรมความหนืดของมายองเนสไขมันเต็ม (ก) และมายองเนสลดไขมันอิมัลเชิงซ้อน (ข) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ 58
26	พฤติกรรมการไหลของมายองเนสไขมันเต็ม (FF) (ก) และมายองเนสลดไขมัน..... อิมัลชันเชิงซ้อน (RF) (ข) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ 63
27	ค่า storage modulus (G') ของมายองเนสไขมันเต็ม (FF) (ก) และมายองเนสลดไขมัน อิมัลชันเชิงซ้อน (RF) (ข) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ 64
28	ค่า loss modulus (G'') ของมายองเนสไขมันเต็ม (FF) (ก) และมายองเนสลดไขมัน..... อิมัลชันเชิงซ้อน (RF) (ข) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ 65
29	ขั้นตอนการเตรียมไข่แดง 81

บทที่ 1

บทนำ

ระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (W/O/W) เป็นระบบอิมัลชันเชิงซ้อน (multiple emulsion) หรือเป็นระบบอิมัลชัน 2 ชั้น (double emulsion) ที่มีระบบอิมัลชันซ้อนอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง โดยครีโอลีทที่เป็นวัฏภาคกระจาย (disperse phase) ของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ นั้นจะมีครีโอลีทเล็กๆ คือ ครีโอลีทของน้ำซ้อนอยู่ภายใน ดังนั้นน้ำมันจึงเปรียบเหมือนแผ่นเยื่อบาง (membrane) ที่กั้นครีโอลีทน้ำให้แยกจากกัน อิมัลชันน้ำมันในน้ำ (W/O/W) นั้นมีความน่าสนใจในการนำมาใช้ในการลดไขมันเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำ โดยการแทนที่ครีโอลีทไขมันที่เป็นวัฏภาคกระจายของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ด้วยครีโอลีทของน้ำ นั่นคือภายในของครีโอลีทไขมันจะมีครีโอลีทของน้ำและสารที่ชอบน้ำ เช่น โพลีแซคคาไรด์ กัม บรรจุอยู่แทนที่น้ำมัน ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ลดลง ด้วยวิธีการนี้ผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำที่ได้จะให้เนื้ออิมัลชันที่นุ่ม เนียน มีคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส (organoleptic attributes) ที่ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ไขมันเต็ม (Takahashi และคณะ, 1986; Taki และคณะ, 2008)

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มายองเนสเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ใช้ในการปรุงแต่งกลิ่นรสให้แก่อาหารหลากหลายชนิดเช่น ผัก ผลไม้ เนื้อ ปลาทูน่า อาหารทะเล ขนมอบัง หรือใช้ผสมทำเป็นน้ำสลัด เช่น เทาซันไอร์แลนด์ ทาทาร์ซอส ผลิตภัณฑ์มายองเนสจัดเป็นอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูงมาก โดยมีปริมาณน้ำมันพืชเป็นส่วนประกอบอยู่ระหว่างร้อยละ 70 – 80 (Depree และ Savage, 2001) ซึ่งปริมาณไขมันส่งผลต่อกลิ่นรส ทำให้อาหารมีความอร่อยมากขึ้น (Roller และ Jones, 1996; Depree และ Savage, 2001) ถ้าในแต่ละวันร่างกายได้รับแคลอรีมากเกินไปมากก็ยิ่งสะสมมาก ก่อให้เกิดสภาวะโภชนาการเกิน ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคได้ โดยเฉพาะโรคที่เกิดจากการสะสมของไขมัน เช่น โรคอ้วน โรคหลอดเลือดอุดตัน หรือแม้กระทั่งก่อให้เกิดโรคมะเร็งบางชนิดได้ ดังนั้นเพื่อลดภาวะการเกิดโรคเหล่านี้ การลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคในการหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารที่มีไขมันสูง แต่อย่างไรก็ตามไขมันเป็นส่วนประกอบอาหารที่สำคัญที่มีส่งผลต่อลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และอายุการเก็บรักษา ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะทำให้อาหารไขมันต่ำมีคุณลักษณะที่เหมือนเดิมทุกประการ เพื่อให้ได้สูตรอาหารลดไขมันที่มีคุณลักษณะที่ดี จึงมีการค้นคว้าวิจัยถึงวิธีการลดไขมันในอาหารลง เช่น

วิธีการใช้สารทดแทนไขมันต่างๆ เพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของไขมัน หรือการใช้สารแทนที่ไขมันสังเคราะห์ในการแทนที่ปริมาณน้ำมันหรือไขมัน และวิธีการประยุกต์ใช้ระบบอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำมันในน้ำ ($W_1/O/W_2$)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์มาของเนสเล่ไขมันนั้นมักนิยมใช้วิธีการเติมสารทดแทนไขมัน ทั้งนี้เนื่องจากสารทดแทนไขมันนั้นมีสมบัติบางประการในการเลียนแบบสมบัติของไขมันเพื่อให้คุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสคล้ายไขมัน ให้ความรู้สึกในปาก เพิ่มความหนืด และให้เนื้อสัมผัส แต่วิธีการนี้ก็ยังประสบปัญหาด้านการยอมรับจากผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์มาของเนสเล่ไขมันที่ได้มีสีซีดจาง ไม่สดใส แฉวฉว ตามลักษณะธรรมชาติ ลักษณะเนื้อที่ได้เป็นกลุ่มก้อนไม่เรียบเนียน ให้ความรู้สึกในปากและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี ส่งผลต่อการกระจายตัวภายในปาก ทำให้มีลักษณะของการปลดปล่อยกลิ่นรสที่แตกต่างไปจากมาของเนสไขมันสูง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทดแทนไขมันได้ในปริมาณที่จำกัดอันเนื่องจากหากใช้สารทดแทนไขมันในปริมาณที่สูงมาก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ข้นหนืดมากเกินไปหรือการมีกลิ่นของแป้งในกรณีของการใช้มอลโตเดกตริน (Akoh, 1998)

อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ($W/O/W$) นั้นมีความน่าสนใจในการนำมาใช้ในการลดไขมันเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำ โดยการแทนที่น้ำมันที่เป็นวัฏภาคกระจายของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำด้วยครีโอลีทของอิมัลชันชนิดน้ำมัน ทำให้อาหารในของครีโอลีทน้ำมันมีครีโอลีทน้ำและสารละลายน้ำ เช่น น้ำตาล เกลือ ฯลฯ บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งส่งผลให้ปริมาณน้ำมันลดน้อยลง การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์มาของเนสเล่ไขมันให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและมีความคงตัวในระยะเวลาที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ทำการพัฒนาระบบอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำมันในน้ำสำหรับผลิตภัณฑ์มาของเนส ที่มีความคงตัว โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้

1.2.1 เพื่อกำหนดชนิดและปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมันในน้ำมันที่เป็นอิมัลชันชั้นใน

1.2.2 เพื่อหาสัดส่วนปริมาตรวัฏภาคอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมันในน้ำมันที่ให้ความคงตัวต่ออิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำมันในน้ำ

1.2.3 เพื่อทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์มาของเนสระหว่างการเก็บรักษา

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ชนิดและระดับความเข้มข้นของสารอิมัลซิไฟเออร์มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมันในน้ำมัน

1.3.2 สัดส่วนปริมาตรวิภาคอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมันในน้ำมันมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำมัน

1.3.3 อิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำมันช่วยให้ผลิตภัณฑ์มายองเนสลดไขมันมีคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสที่ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์มายองเนสไขมันเต็ม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการศึกษาการเตรียมอิมัลชันเชิงอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมันที่เป็อิมัลชันชั้นใน 5 ชนิด ได้แก่ PGPR, PGMS, DMG, Lecithin, CITREM น้ำมันที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชันคือน้ำมันถั่วเหลือง

1.4.2 การศึกษาผลของปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมันในน้ำมัน ต่อความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อนใช้ไข่แดงเป็นอิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 7 โดยน้ำหนักของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำมัน

1.4.3 ศึกษาความคงตัวของมายองเนสภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสโดยการเปรียบเทียบมายองเนสไขมันเต็มและมายองเนสลดไขมันด้วยกรรมวิธีอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำมัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตภัณฑ์มายองเนส

ตามคำจำกัดความของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของผลิตภัณฑ์มายองเนสและสลัดครีม (มอก. 1402-2540) มายองเนส หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมน้ำมันพืชและ/หรือไขมันพืชกับไข่แดง ให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Emulsion) ปรงแต่งรสด้วยน้ำส้มสายชูและ/หรือน้ำมะนาว และส่วนประกอบอื่นๆ ใช้สำหรับปรุงแต่งรสอาหาร ตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์แล้ว จะสังเกตเห็นว่า มายองเนสไม่มีส่วนประกอบของน้ำตาล แต่โดยทั่วไปแล้วจะพบว่าในผลิตภัณฑ์มายองเนสนิยมใส่น้ำตาลลงไปเล็กน้อย ทั้งนี้เพื่อช่วยกลบรสเปรี้ยวแหลมของน้ำส้มสายชู (O'Brien, 2004)

2.1.1 ส่วนประกอบสำคัญ

ส่วนประกอบสำคัญของมายองเนส ได้แก่

น้ำมัน น้ำมันเป็นส่วนประกอบที่มากที่สุดในผลิตภัณฑ์มายองเนส เป็นส่วนประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความหนืดและเนื้อสัมผัส ซึ่งมายองเนสที่ได้จะมีความข้นหนืดมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคน้ำมันและความแน่นของการจับตัวกัน ปริมาณน้ำมันสูงและอนุภาคน้ำมันขนาดเล็ก ก็จะทำให้ความข้นหนืดมากยิ่งขึ้นตามลำดับ น้ำมันที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเดรสซิงและซอสนั้นคือ น้ำมันพืช ซึ่งทั่วไปแล้วนิยมใช้น้ำมันถั่วเหลือง (Yang และ Lai, 2003a) น้ำมันที่ใช้ควรผ่านกระบวนการวินเทอไรเซชัน (Winterization) ก่อน เพื่อให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในตู้เย็นได้และยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวดี ถึงแม้จะมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง (นิธิยา, 2539) โดยมายองเนสจะมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 65 (Yang และ Lai, 2003a) แต่ที่นิยมผลิตกันอย่างมากจะมีปริมาณน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่ระหว่างร้อยละ 70 – 80 (Depree และ Savage, 2001)

ไข่แดง ทำหน้าที่สำคัญในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ ซึ่งในไข่แดงประกอบไปด้วย lipoprotein และ phosphatidylcholine หรือ เลซิธิน คุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ของไข่แดงนั้นมีประสิทธิภาพสูงมากเนื่องจากมีทั้งส่วนที่มีขั้วที่ชอบน้ำและส่วนไม่มีขั้วที่ชอบน้ำมัน สามารถดูดซับที่ผิวของครีโอลีตได้ดี ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับอนุภาคของไขมันและน้ำไม่ให้แยกจากกัน (Kiosseoglou, 2003) ไข่แดงที่ใช้ขึ้นอยู่กับรูปของไข่แดงสด ไข่แดงพาสเจอร์ไรซ์ ไข่แดงแช่เยือกแข็ง หรือไข่แดงผง ในไข่แดงแช่เยือกแข็งนั้นจะมีการผสมเกลือลงไปร้อยละ 10 ทั้งนี้เพื่อการยับยั้งการเกิดเจล เนื่องจากเมื่อนำไปแช่เยือกแข็ง ไข่แดง

จะเริ่มเกิดเจลที่ อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส ซึ่งหากไข่แดงเกิดเจลจะทำให้ขาดประสิทธิภาพในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ การใช้ไข่แดงสดจะทำให้มายองเนสที่ได้มีอายุสั้นเนื่องจากมีปัญหาในด้านการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ เช่น เชื้อซาโมเนลลา สำหรับไข่แดงเหลวพาสเจอร์ไรซ์นั้น อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อต้องอยู่ระหว่าง 63 – 65 องศาเซลเซียส จึงจะให้ประสิทธิภาพในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์สูง (Guilmineau และ Kulozik, 2007) ซึ่งการเลือกใช้ไข่แดงแต่ละชนิดในทางอุตสาหกรรมขึ้นอยู่กับความสะดวกเป็นหลัก ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณการผลิต พื้นที่การเก็บรักษา และกรรมวิธีการผลิต เป็นต้น นอกจากนี้ไข่แดงยังมีความสำคัญในการให้สีของมายองเนส ซึ่งความเข้มของสีไข่แดงนั้นมีความสำคัญในการกำหนดโทนสีเหลืองในมายองเนส (Yang และ Lai, 2003b)

กรด กรดที่ใช้ในการทำมายองเนสส่วนใหญ่แล้วจะเป็นน้ำส้มสายชู (Vinegar) และบางครั้งจะมีการผสมน้ำมะนาว กรดทั้งสองชนิดนี้จะให้รสเปรี้ยวที่แตกต่างกัน โดยน้ำส้มสายชูจะให้รสเปรี้ยวของกรดอะซิติก ขณะที่น้ำมะนาวจะให้รสเปรี้ยวของกรดซิตริก กรดนอกจากจะให้รสเปรี้ยวแล้วยังมีส่วนในการช่วยถนอมมายองเนสไม่ให้เกิดการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย ในอุตสาหกรรมน้ำส้มสายชูแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ น้ำส้มสายชูกลั่น (Distilled vinegar) และน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมัก ที่เรียกว่า cider vinegar ความแรงของกรดน้ำส้มนี้นิยมบอกเป็นหน่วย grain โดยน้ำส้มสายชู 100 grain มีปริมาณกรดอะซิติกเท่ากับร้อยละ 10 น้ำส้มสายชูหมักนั้นให้กลิ่นรสที่ดีกว่าแบบกลั่น แต่มีราคาแพงกว่า เช่นเดียวกับน้ำมะนาวที่มีราคาสูง ในอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้น้ำส้มสายชูกลั่นในการผลิตมายองเนส

เครื่องเทศและเครื่องปรุงรสอื่น ๆ เครื่องเทศที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์มายองเนสได้แก่ มัสตาร์ด โดยมักจะใช้ในรูปของผงมัสตาร์ด การใช้มัสตาร์ดนั้นจุดประสงค์หลักคือ เพื่อให้กลิ่นรสแก่มายองเนส นอกจากนี้มัสตาร์ดยังสามารถช่วยในเรื่องความคงตัวได้อีกด้วย โดยมัสตาร์ดจะอยู่ที่ชั้นผิวสัมผัสร่วมป้องกันการเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคหยดน้ำมัน และเครื่องปรุงรสอื่นๆ ได้แก่ น้ำตาล เกลือ พริกไทย ซึ่งนอกจากจะเป็นเครื่องปรุงรสแล้ว ยังสามารถช่วยในการถนอมอาหาร ป้องกันการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ (O'Brien, 2004)

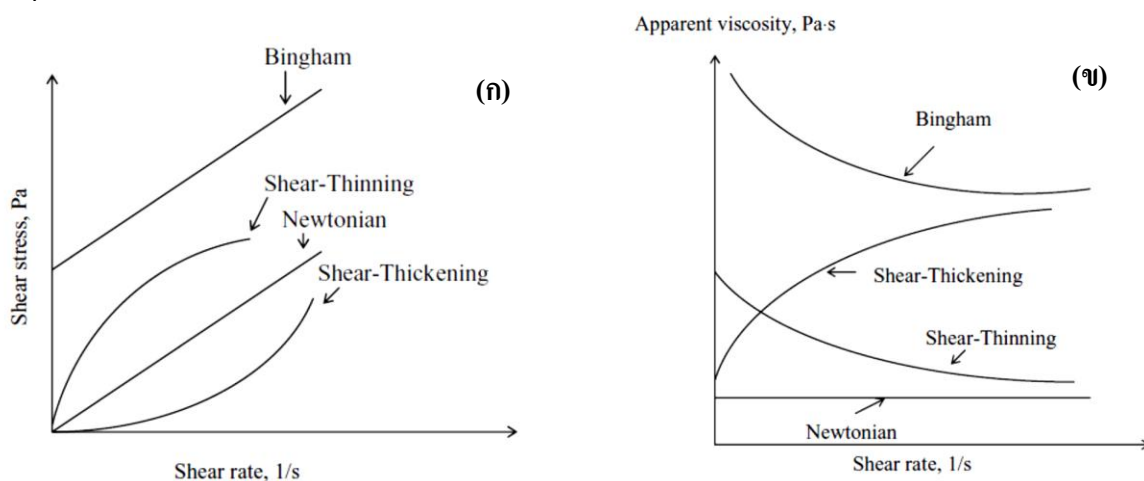
ส่วนประกอบอื่นๆ ส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น สารกันหืน สารจับโลหะ (EDTA) ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์มายองเนส สารเพิ่มความข้นหนืดหรือเพิ่มความคงตัว เช่น แชนแทนกัม เนื่องจากแชนแทนกัมมีความสามารถในการจับกับน้ำแล้วให้ความหนืดเพิ่มขึ้นได้ จึงทำให้วฏภาคน้ำที่เป็นวฏภาคต่อเนื่องของอิมัลชันน้ำมันในน้ำที่เป็นระบบอิมัลชันของมายองเนส มีความข้นหนืดเพิ่มมากขึ้น ลักษณะเนื้อของมายองเนสที่ปรากฏจึงมีความข้นและอยู่ตัว ซึ่งการใช้กัม

เพื่อเพิ่มความข้นหนืด นิยมใช้เมื่อผลิตภัณฑ์มาของเนสนั้นมีปริมาณน้ำมันน้อยลงเช่น เมื่อมีปริมาณน้ำมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 75 (Mun และคณะ, 2009; Su และคณะ, 2009)

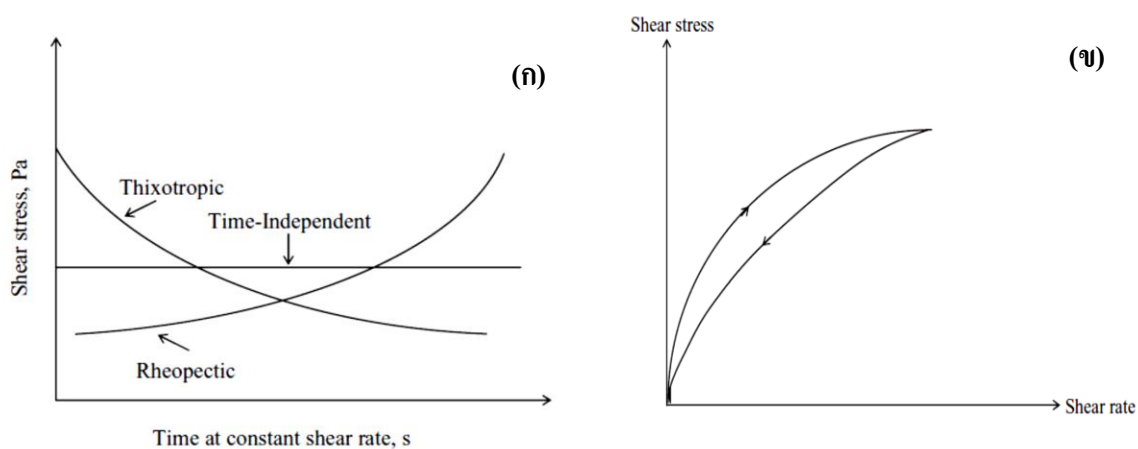
2.1.2 คุณสมบัติและโครงสร้างของมายองเนส

ผลิตภัณฑ์มาของเนสเป็นผลิตภัณฑ์อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยมีอนุภาคกระจายเป็นหยดน้ำมัน ซึ่งอนุภาคของหยดน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบหลักเป็นตัวแปรสำคัญต่อลักษณะด้านเคมีกายภาพและลักษณะเนื้อของมายองเนส ลักษณะเนื้อของมายองเนสมีลักษณะเป็นครีมข้น หรือเรียกว่าเป็นอิมัลชันชนิดเข้มข้น (Concentrated emulsion) อนุภาคหยดน้ำมันที่เป็นวัฏภาคกระจาย (disperse phase) จะจัดเรียงตัว (packing) กันอย่างหนาแน่นและอยู่ใกล้ชิดกันอย่างมากอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่องที่เป็นวัฏภาคน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3(ก) (Depree และ Savage, 2001) อนุภาคหยดน้ำมันจะจับตัวกันเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ และมีการเกาะกัน (Flocculation) ของอนุภาคใกล้เคียงกันเกิดเป็นกลุ่มอนุภาคหรือ flocs ซึ่งการเกิด flocs เป็นลักษณะที่ดีต่อระบบอิมัลชันชนิดข้น ช่วยทำให้อิมัลชันมีความคงตัวเพิ่มมากขึ้น (McClement, 1999) อันเนื่องจากการเกิด flocs จะทำให้อิมัลชันมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นสามารถช่วยชะลอการเคลื่อนที่ได้ดี และการเคลื่อนที่ของกลุ่ม flocs จะช้ากว่าการเคลื่อนที่ของอนุภาคเดี่ยวๆ (Robins และคณะ, 2002) นอกจากนี้ลักษณะหยดอนุภาคน้ำมันนั้นยังส่งผลต่อโครงสร้างของอิมัลชันด้วย การมีหยดอนุภาคกลมและสม่ำเสมอ ทำให้อนุภาคจัดเรียงตัวได้ชิดกันมากขึ้น ทำให้อิมัลชันมีความหนืดสูงเพิ่มมากขึ้น และเมื่อสัดส่วนปริมาตรของอนุภาคหยดน้ำมันสูงมากกว่าค่าวิกฤต อิมัลชันที่ได้ก็จะเป็นลักษณะครีมข้น (McClement, 1999) และจากการอัดตัวกันอย่างใกล้ชิดกันของแต่ละอนุภาคน้ำมันส่งผลให้กลุ่มอนุภาค มีความคงตัวต่อแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสของมายองเนสมีลักษณะเป็นเนื้อกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีคุณสมบัติเป็น viscoelasticity ที่แสดงออกทั้งความเป็น liquid ที่มีพฤติกรรมการไหลและ elastic ที่แสดงถึงความเป็นของแข็ง (solid) มายองเนสจึงมีคุณสมบัติก้ำกึ่งระหว่างของแข็งและของไหล (semi- solid emulsion) (Ma และ Barbosa – Cánovas, 1995; Yang และ Lai, 2003b) มีความต้านทานต่อแรงเสียดทานสูง เกิดการไหลหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ยาก ต้องการแรงกระทำในการเริ่มต้นแสดงการไหล หรือที่เรียกว่า ค่า yield stress การเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นในลักษณะของการเคลื่อนผ่านไปในแต่ละอนุภาค มายองเนสมีพฤติกรรมการไหลเป็น pseudoplastic ที่แสดงออกทั้งความเป็น shear thinning และ thixotropic เนื่องจากมีค่าความหนืดปรากฏลดลงตามอัตราเฉือน (shear rate) และ ความหนืดปรากฏของมายองเนสนั้นยังมีค่าลดลงตามเวลาดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 (Ma และ Barbosa – Cánovas, 1995; Yang และ Lai, 2003b) Ma และ Barbosa – Cánovas (1995) รายงานว่า yield stress ของมายองเนสมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณไขมันและปริมาณแซนแทนกัมเพิ่มสูงขึ้น และความเป็น thixotropic จะลดลงเมื่อปริมาณไขมันลดน้อยลง ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะพฤติกรรมการไหลของ

มายองเนส คือ ความเข้มข้นของครีโอลิปิด ความสม่ำเสมอของขนาดครีโอลิปิด และแรงปฏิสัมพันธ์ต่างๆ ของอนุภาคคอลลอยด์ (Chanamai และ McClements, 2001)



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) แสดงพฤติกรรม การไหล (ก) และความความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) แสดงพฤติกรรมความหนืดของของไหลนิวโตเนียนและนอนนิวโตเนียน ที่มา : Sahin และ Sumnu (2006)



ภาพที่ 2 พฤติกรรมความหนืดที่ขึ้นกับเวลาของของไหลนอนนิวโตเนียน (ก) และการแสดงออกของ ลักษณะการไม่ซ้อนทับกันของเส้นกราฟเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนและเมื่อลดอัตราเฉือนของของไหล ประเภท thixotropic (ข)

ที่มา : Sahin และ Sumnu (2006)

ปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบสำคัญของมายองเนสให้ลักษณะของเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ กลิ่นและรสที่เป็นที่ต้องการซึ่งส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ให้คุณลักษณะความเป็นครีม (Creamy) ที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อิมัลชัน เป็นคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสที่บ่งบอกความรู้สึกลึกภายในปากที่อธิบายถึงการผสมผสานถึงการรับรู้การมีไขมัน ความนุ่มและความข้นหนืดของเนื้อผลิตภัณฑ์ มายองเนส ที่มีปริมาณไขมันสูงกว่าจะให้คุณลักษณะความเป็นครีม (creaminess) มากกว่า ดังนั้นในผลิตภัณฑ์อาหารอิมัลชันประเภทลดไขมันจึงต้องพิจารณาถึงผลกระทบต่อคุณลักษณะ creaminess ที่อาจส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Akhtar, 2006; Arancibia และคณะ, 2011)

2.2 ข้อกำหนดการปิดฉลากของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทไขมัน

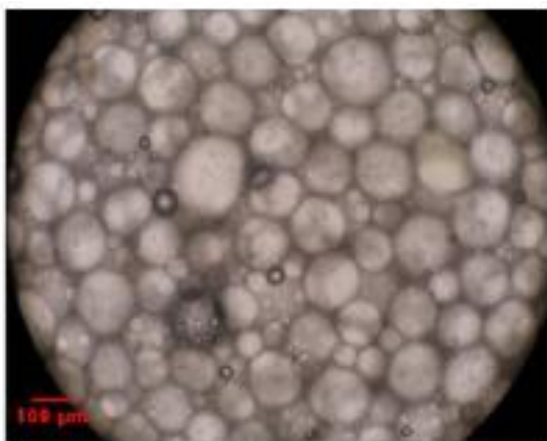
สถาบัน FDA (U.S. Food and Drug Administration) ของสหรัฐ ได้กำหนดมาตรฐานเพื่อการปิดฉลากอาหารลดไขมัน (21 CFR 101.9) ไว้ดังนี้

1. อาหารปราศจากไขมัน (fat – free, free of fat, no fat, without fat หรือ zero fat) หมายถึง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่า 0.5 กรัม ต่อ 1 หน่วยการบริโภค
2. อาหารไขมันต่ำ (low fat, low source of fat, contains a small amount of fat, หรือ little fat) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่าหรือ เท่ากับ 3 กรัมต่อ การบริโภคไม่ต่ำกว่า 30 กรัม แต่ถ้าเป็นอาหารที่มีการบริโภคน้อยให้คิดที่ปริมาณ 50 กรัม
3. อาหารลดไขมัน (reduced หรือ less fat) หมายถึง ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับปริมาณไขมันปกติที่มีในอาหารนั้น

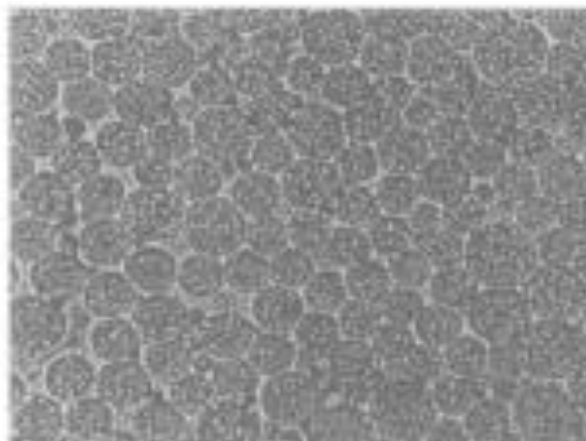
2.3 ระบบอิมัลชันเชิงซ้อน

ระบบอิมัลชันสำคัญ 2 ระบบ ที่พบโดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์อาหาร คือระบบน้ำมันในน้ำ หรือ oil in water (O/W) และน้ำในน้ำมัน หรือ water in oil (W/O) ซึ่งอิมัลชันทั้ง 2 ระบบนี้ จะเรียกว่า two – phase emulsion แต่ในบางกรณี จะพบว่ามีद्रีอปลีทของวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) ซ่อนอยู่ในद्रีอปลีทของวัฏภาคกระจาย (disperse) อีกชั้นหนึ่ง จะเรียกว่า multiple emulsion หรือ double emulsion (นิธิยา, 2539) โดยระบบอิมัลชันเชิงซ้อน จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ระบบหลักคือ หากระบบอิมัลชันเดิมเป็น อิมัลชันน้ำมันในน้ำ การมีดรีอปลีทน้ำซ่อนอยู่ภายในดรีอปลีทน้ำมันที่เป็นวัฏภาคกระจายนั้น ก็จะกลายเป็นระบบอิมัลชันซ้อนอิมัลชันที่เรียกว่า อิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำ หรือ water-in-oil-in-water (W/O/W) และหากระบบอิมัลชันเดิมเป็นอิมัลชันน้ำในน้ำมัน การที่อนุภาคน้ำมันซ่อนอยู่ภายในดรีอปลีทน้ำที่เป็นวัฏภาค

กระจาย ระบบอิมัลชันซ้อนอิมัลชันที่เกิดขึ้นก็จะเรียกว่า อิมัลชันน้ำมันในน้ำในน้ำมัน หรือ oil-in-water-in-oil (O/W/O) (Takahashi และคณะ, 1986; Muschiolik, 2007; Taki, 2008; Folmer, 2010) ซึ่งระบบอิมัลชันเดิมของผลิตภัณฑ์มายองเนสนั้นเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ซึ่งมีวิธการกระจายเป็นน้ำมัน ทำให้ระบบอิมัลชันซ้อนอิมัลชันของมายองเนสเป็นระบบอิมัลชันชนิด น้ำในน้ำมันในน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3 (ข)



(ก) อิมัลชันน้ำมันในน้ำ (มายองเนส)



(ข) อิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W

ภาพที่ 3 ลักษณะโครงสร้างของครีโอล์ทของระบบอิมัลชัน (ก) อิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมันในน้ำ (ผลิตภัณฑ์มายองเนส) และ (ข) อิมัลชันเชิงซ้อนชนิด น้ำในน้ำมันในน้ำ

ที่มา: (ก) Thakur และคณะ (2007)

(ข) Garti (1997)

อิมัลชันเชิงซ้อนนั้นโดยปกติแล้วนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์และยา เช่น ใช้ในการทำโลชั่นบำรุงผิว ใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยตัวยาในจุดที่ต้องการให้ยาออกฤทธิ์หรือชะลอการออกฤทธิ์ของยา (Gallarate และคณะ, 1999; Vlaia และคณะ, 2009) สำหรับการนำมาประยุกต์ในอุตสาหกรรมอาหารนั้น มีการนำอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเอนแคปซูเลท เพื่อการควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นรสหรือการกักเก็บสารวิตามินหรือสารสำคัญละลายน้ำชนิดต่างๆ ไว้ภายใน (Sabei และคณะ, 2011) ในผลิตภัณฑ์ฟิล์มบริโภคนได้ (Pérez-Gago และ Krochta, 1999; Murillo-Martínez และคณะ, 2011) ในผลิตภัณฑ์อาหารไขมันต่ำหรือลดไขมัน (Takahashi และคณะ, 1986; Mine และคณะ, 1996; Levi, 2004; Folmer และคณะ, 2010) ในการป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และลดความเปรี้ยวในผลิตภัณฑ์ โดย Levi (2004) ทำการทดลองโดยการเติมกรดในวัฏภาคน้ำชั้นใน (internal aqueous phase) ในปริมาณที่มากกว่าวัฏภาคน้ำชั้นนอก (external aqueous phase) ร้อยละ 50 พบว่าการเตรียมอิมัลชันด้วยวิธีการ

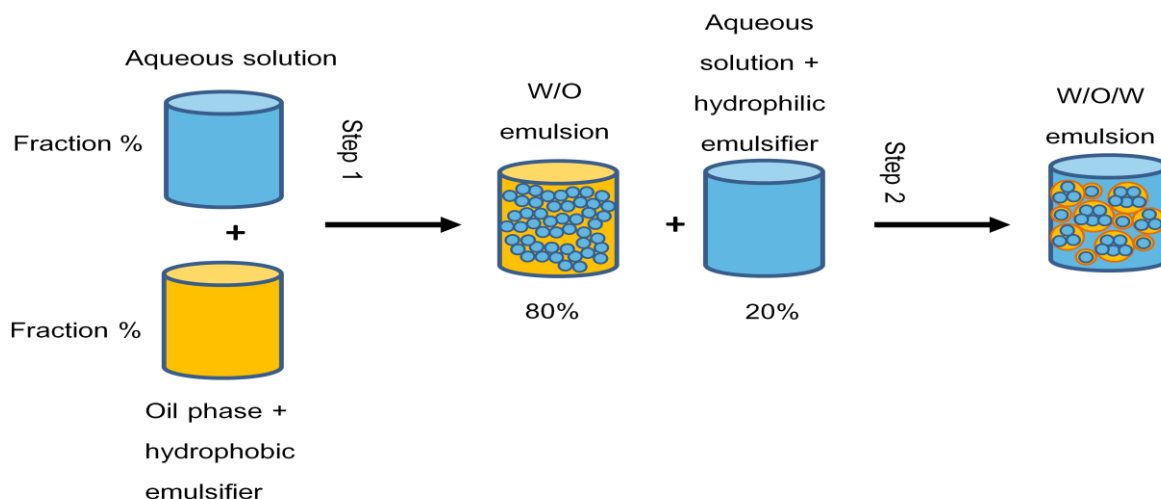
นี้จะสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครสซึ่งและมาของเนส ที่เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดสูงแต่ไม่ต้องการความเปรี้ยวมากจนเกินไป

2.4 กรรมวิธีการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อน

ในการเตรียมอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำ โดยส่วนใหญ่แล้วนิยมเตรียมเป็น 2 ขั้นตอน (แสดงในภาพที่ 4) โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิดด้วยกัน ชนิดแรกเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่าสัดส่วนส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน (HLB) ต่ำ (3-6) ซึ่งใช้ในขั้นตอนแรกที่ทำกรเตรียมอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน หรือเรียกว่าอิมัลชันชั้นใน (primary emulsion) และชนิดที่สองเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่าสัดส่วนส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน (HLB) สูง (8-18) ซึ่งใช้ในขั้นตอนที่สอง ที่ทำการเตรียมเป็นอิมัลชันเชิงซ้อน ด้วยการผสมอิมัลชันเชิงเดี่ยวกับน้ำได้เป็นอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำ (Takahashi และคณะ, 1986; Mine และคณะ, 1996; Levi, 2004; Pal, 2008; Folmer และคณะ, 2010) ซึ่งการเตรียมอิมัลชันเชิงเดี่ยว จะเริ่มจากการเตรียมสารละลายน้ำชั้นใน (internal aqueous phase) จากนั้นทำการปั่นผสมกับน้ำมันพืชที่ผสมสารอิมัลซิไฟเออร์เรียบร้อยแล้ว ด้วยการใช้แรงเฉือนสูง เช่น โดยการใช้เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง หรือความดันสูง หรือการใช้อัลตราโซนิกหรือการผ่านเมมเบรน เพื่อให้ได้ครีโอล์เลทน้ำที่มีขนาดเล็ก มีขนาดไม่เกิน 1 ไมโครเมตร ทั้งนี้การมีครีโอล์เลทขนาดเล็กจะส่งผลให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น (Muschiolik, 2007) จากนั้นขั้นตอนถัดมาเป็นการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนด้วยการนำอิมัลชันเชิงเดี่ยวที่เป็นชั้นในมาผสมกับสารละลายน้ำชั้นนอก (external aqueous phase) ด้วยการ ใช้แรงเฉือนต่ำทั้งนี้เพื่อป้องกันการแตกของครีโอล์เลทอิมัลชันชั้นในออกสู่สภาพแวดล้อมที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Takahashi และคณะ, 1986; Mine และคณะ, 1996; Levi, 2004; Pal, 2008; Folmer และคณะ, 2010)

Leal-Calderon และ Bibette (2004) รายงานว่าความดันของโฮโมจีไนเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับการผสมเป็นอิมัลชันเชิงซ้อนควรอยู่ระหว่าง 100 ถึง 400 บาร์ โดยครีโอล์เลทควรมีขนาด 10–50 ไมโครเมตร (Garti และ Benichou, 2010) และปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนคือปริมาณของสัดส่วนของวัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำมัน ทั้งปริมาณของน้ำในอิมัลชันเชิงเดี่ยวน้ำในน้ำมันและปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวน้ำในน้ำมันที่เป็นอิมัลชันชั้นใน ของอิมัลชันเชิงซ้อนซึ่งมีผลต่อการเกิดและความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน โดย Csóka และ Erős (1997) พบว่าในระบบของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำของผลิตภัณฑ์ยา เมื่อปริมาณของอิมัลชันชั้นในเพิ่มขึ้นจะทำให้ความคงตัวลดลงและครีโอล์เลทเชิงซ้อนจะแตกตัวเร็วมากขึ้น แต่ในขณะที่มาของเนสนั้นเป็นอิมัลชันชนิดชั้นซึ่งจะต้องมีปริมาณสัดส่วนของวัฏภาคน้ำมัน

ต่อวิภาคน้ำที่สูงเกินกว่าค่าวิกฤตคือ 0.7 จึงจะเกิดการจัดเรียงตัวกันแน่น (close packing) จนเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ ทำให้ได้อิมัลชันที่มีความข้นหนืดสูง (McClements, 1999)



ภาพที่ 4 แผนภาพขั้นตอนการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (W/O/W multiple emulsion) ด้วยวิธีการแบบ 2 ขั้นตอน (two-step method)

ที่มา: คัดแปลงจาก Su (2008)

Takahashi และคณะ (1986) ได้เปิดเผยกรรมวิธีในการผลิตอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำสำหรับประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทวิปที่อปปิ้ง ครีมเทียม และไอศกรีม หรือผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึง ในรายละเอียดการจดสิทธิบัตรประเทศสหรัฐอเมริกา ได้อธิบายวิธีการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ เพื่อพัฒนามาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร คือ การเตรียมอิมัลชันชั้นแรกเป็นชนิดน้ำในน้ำมัน จากนั้นจึงนำมาผสมเป็นอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำ สำหรับการผสมอิมัลชันน้ำในน้ำมันนั้นจะใช้ พอลิกลีเซอรอล พอลิรีซินโอเลเอตร้อยละ 0.1 – 5 ผสมกับน้ำมัน 300 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยเริ่มแรกจะทำการเติมน้ำ 200 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อย่างช้าๆ ปั่นผสมด้วยเครื่อง T.K. Homo mixer ที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที ในขั้นแรก จะได้อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำก่อน จากนั้นจึงจะเกิดการกลับวิภาคเป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน เมื่อได้อิมัลชันชั้นในแล้วนำมาปั่นผสมกับวิภาคน้ำชั้นนอก โดยผสมน้ำกับสาร sucrose fatty acid ester (HLB 15) อุณหภูมิ 50 – 80 องศาเซลเซียส ปริมาณ 500 กรัม ปั่นผสมด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงนำเข้าเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ที่ความดัน 100 kg/cm² จากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส Takahashi และคณะ (1986) รายงานว่าผลการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำด้วยวิธีดังกล่าวสามารถเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสได้เป็นระยะเวลานาน

2.5 องค์ประกอบของระบบอิมัลชันเชิงซ้อน

ความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของระบบ ที่ได้เลือกหรือนำมาใช้ในการเตรียมอิมัลชัน ซึ่งองค์ประกอบหลักเหล่านี้ คือ วัฏภาคน้ำที่อยู่ชั้นใน สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดไฮโดรโฟบิก วัฏภาคน้ำมัน สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดไฮโดรฟิลิก และวัฏภาคน้ำที่อยู่ชั้นนอก

2.5.1 วัฏภาคน้ำ (Aqueous phase)

วัฏภาคน้ำในระบบอิมัลชันเชิงซ้อนชนิด w/o/w แบ่งออกเป็น วัฏภาคน้ำที่อยู่ชั้นในและวัฏภาคน้ำที่อยู่ชั้นนอก วัฏภาคน้ำจะประกอบไปด้วยสารที่ละลายน้ำหรือสารอิเล็กโตรไลต์ต่างๆ เช่น เกลือ น้ำตาล กรดอะซิติก สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดไฮโดรฟิลิก ไฮโดรคอลลอยด์ กัม (Sapei และคณะ, 2008; Su, 2008) สัดส่วนของปริมาตรวัฏภาคน้ำมีผลอย่างมากต่อการเกิดอิมัลชัน ลักษณะเนื้อสัมผัส consistency และความคงตัว (Benichou และคณะ, 2004) สำหรับมาของเนสซึ่งเป็นอิมัลชันชนิดเข้มข้น (concentrated emulsion) จะต้องมีสัดส่วนของครีโอล์ที่น้ำสูงกว่าร้อยละ 70 จึงจะเกิดโครงสร้างร่างแห เป็นเนื้ออิมัลชันที่ขึ้นเหนียวซึ่งจะให้ความคงตัวสูง (McClement, 1999) ซึ่งหมายถึงระบบอิมัลชันจะต้องมีวัฏภาคน้ำชั้นนอกต่ำกว่าร้อยละ 30

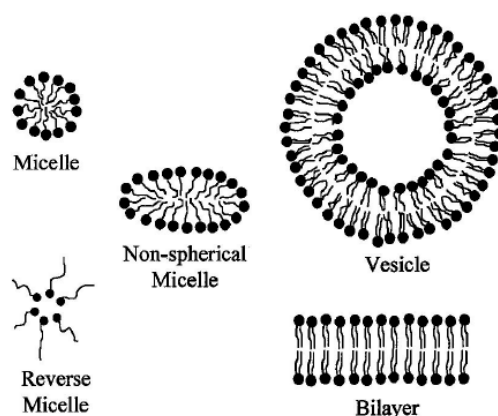
2.5.2 วัฏภาคน้ำมัน (Oil phase)

วัฏภาคน้ำมันในระบบอิมัลชันชนิด W/O/W มีหน้าที่เป็นครีโอล์ที่ห่อหุ้มวัฏภาคน้ำไว้ภายในไม่ให้ออกมาสู่วัฏภาคน้ำภายนอก ขึ้นกับประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (encapsulation efficiency) ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันที่นำมาใช้นั้นจะต้องมีความหนืดและความสามารถในการละลายน้ำต่ำ เช่น mineral oil เป็นต้น แต่ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น น้ำมันที่นำมาใช้ส่วนใหญ่แล้วจะมีความหนืดสูงและมีสมบัติในการละลายน้ำได้สูงอย่างมาก (Hamilton, 1993) ในการเตรียมอิมัลชันที่ใช้น้ำมันพืชจึงต้องใช้พลังงานสูงและมีความคงตัวของอิมัลชันต่ำ แต่อย่างไรก็ตามมีหนทางที่จะนำน้ำมันพืชมาใช้ในการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W ด้วยการเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสม (Kanouni และคณะ, 2002) เช่น การใช้สารอิมัลซิไฟเออร์มวลโมเลกุลสูง เช่น พอลิกลีเซอรอลเอสเตอร์ของกรดพอลิรีซินอเลอิก มาใช้ในการเตรียมอิมัลชันสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้น้ำมันถั่วเหลือง (Muschiolik, 2007; Taki, 2008; Su, 2008)

2.5.3 อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers)

อิมัลซิไฟเออร์ เป็นสารที่ภายในโมเลกุลมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) ซึ่งจะมักประกอบด้วยหมู่ hydroxyl หรือ carboxyl และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) มักจะเป็นกรดไขมัน เช่น stearic, palmitic, linoleic, oleic หรือกรดไขมันผสม เมื่ออยู่ในระบบอิมัลชันโมเลกุลของสารอิมัลซิไฟเออร์ มีแนวโน้มที่จะแพร่ไปดูดซับอยู่ที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคน้ำกับอนุภาคน้ำมัน โดยหัน

ส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาอนุภาคน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาอนุภาคน้ำมัน เกิดเป็นเยื่อหุ้มปกป้องรอบๆ อนุภาค ขัดขวางไม่ให้อนุภาคมาเกาะรวมตัวกัน และช่วยลดพื้นที่สัมผัสระหว่างส่วนน้ำและน้ำมัน ซึ่งมีผลให้แรงตึงผิวที่บริเวณผิวสัมผัสส่วนนี้ลดลง ทำให้การรวมตัวกันของอนุภาคลดลง และอิมัลซิไฟเออร์หรือ สารลดแรงตึงผิว (surfactant) มักจะรวมตัวกันเองในสารละลาย เพื่อทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างที่มีความเสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์ เรียกลักษณะนี้ว่า association colloids เช่น micelles, bilayers, vesicles และ reverse micelles ดังแสดงในภาพที่ 5 การจัดเรียงตัวของโครงสร้างเหล่านี้เพื่อลดบริเวณสัมผัสระหว่างส่วนหางที่ไม่มีขั้วกับโมเลกุลน้ำ ชนิดของ association colloids ของสารจะขึ้นกับความมีขั้วและรูปร่างของโมเลกุลระบบอิมัลชันจึงมีความเสถียรมากขึ้น



ภาพที่ 5 ลักษณะการจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิว

ที่มา : McClements (1999)

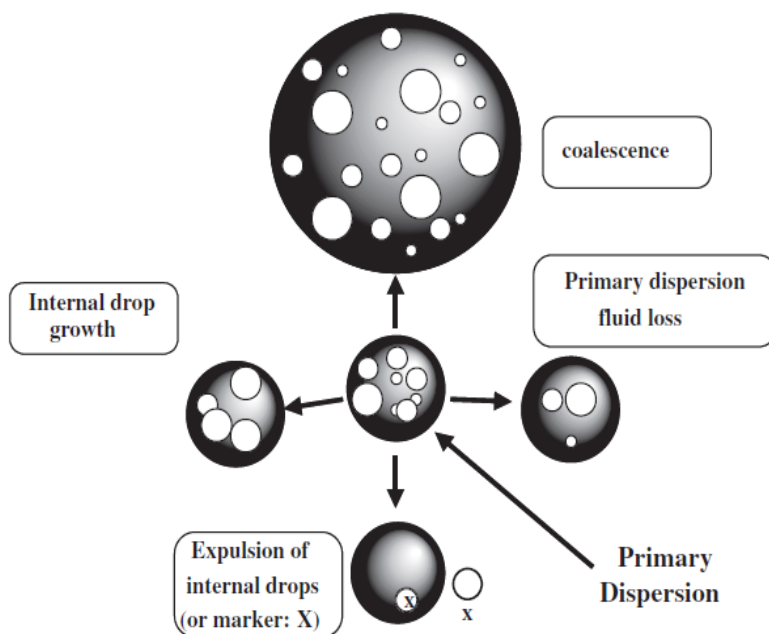
อิมัลซิไฟเออร์ มักจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. อิมัลซิไฟเออร์โมเลกุลใหญ่ที่มีมวลโมเลกุลสูง (high molecular weight emulsifiers) ซึ่งเป็นกลุ่มที่เป็นสารพอลิเมอร์ ที่มาจากทั้งสารสังเคราะห์และสารจากธรรมชาติ เช่น polyglycerol polyricinolic acid (PGPR), cellulose derivatives, polysaccharides gum, protein-polysaccharide complexes และโปรตีน เป็นต้น
2. อิมัลซิไฟเออร์โมเลกุลเล็กที่มีมวลโมเลกุลต่ำ (low molecular weight emulsifiers) หรือกลุ่มสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ซึ่งมีทั้งจากการสังเคราะห์และจากธรรมชาติ เช่น sorbitan esters, sucrose fatty acid ester, เลซิธิน และ mono-diglycerides เป็นต้น

นอกจากยังสามารถแบ่งอิมัลซิไฟเออร์ได้หลายหลักลักษณะ เช่น แบ่งตามชนิดประจุ (ionic charge) ภายในโครงสร้างโมเลกุลของสารอิมัลซิไฟเออร์จะประกอบด้วยส่วนที่ละลายในน้ำ (ส่วนหัว) และส่วนที่ละลายในน้ำมัน (ส่วนหาง) และเมื่อพิจารณาเฉพาะส่วนหัว โครงสร้างทางเคมี ณ บริเวณนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีประจุ (ionic) และ กลุ่มที่ไม่มีประจุ (nonionic) กลุ่มที่มีประจุยังแบ่งได้อีก 2 พวกคือ กลุ่มที่มีประจุลบ (anionic) และ กลุ่มที่มีประจุบวก (cationic) สำหรับอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้กับอาหาร ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มที่ไม่มีประจุ เช่น sucrose esters และ monoacylglyceride และชนิดที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (zwitterionic) เช่น เลซิทีน (McClements, 1999)

2.6 ความไม่คงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน

ความไม่คงตัวของระบบอิมัลชันเชิงซ้อนมีความซับซ้อนมากกว่าความไม่คงตัวของระบบอิมัลชันเชิงเดี่ยว ซึ่งความไม่คงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อนนั้นจะพบทั้งรูปแบบที่พบในระบบอิมัลชันเชิงเดี่ยว เช่น การเกิด coalescence การรวมกันของครีโอล์ที่น้ำชั้นในอันเนื่องจาก ostwald ripening และรูปแบบที่พบเฉพาะในระบบอิมัลชันเชิงซ้อนเท่านั้น ได้แก่ การรวมกันระหว่างครีโอล์ที่น้ำชั้นในและวัฏภาคน้ำชั้นนอก การแตกของครีโอล์เชิงซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความไม่คงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน

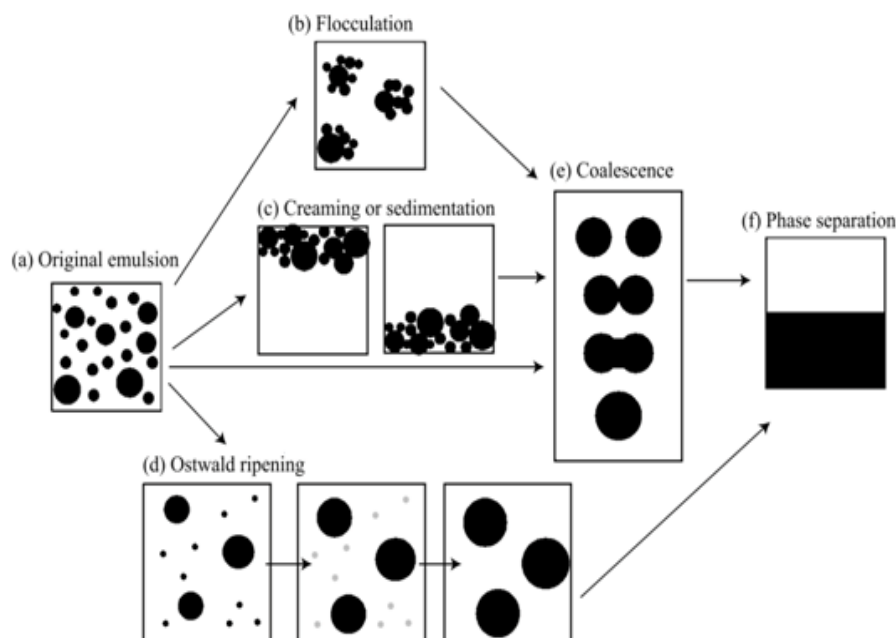
ที่มา: Garti และ Benichou (2004)

2.6.1 ความไม่คงตัวของระบบอิมัลชันเชิงเดี่ยว

2.6.1.1 การแยกชั้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (creaming or sedimentations)

การแยกชั้นครีมเป็นการแยกชั้นอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงหรือแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างครีโอลีทและวัฏภาคต่อเนื่องที่อยู่รอบๆ ครีโอลีท แรงโน้มถ่วงหรือแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะทำให้เกิดการแยกชั้นกัน ถ้าครีโอลีทมีความหนาแน่นต่ำกว่าของเหลวที่อยู่รอบๆ ก็จะลอยขึ้นอยู่ด้านบน (McClements, 1999) ซึ่งหมายถึงการแยกชั้นด้านบนหรือการเกิดครีม (creaming) ในระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ในทางตรงกันข้าม ถ้าครีโอลีทมีความหนาแน่นมากกว่าของเหลวโดยรอบ ครีโอลีทจะเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่าง ซึ่งหมายความว่าเกิดการเกิดแยกชั้นด้านล่างหรือการตกตะกอน (sedimentations) ซึ่งลักษณะความไม่คงตัวของอิมัลชันในลักษณะนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายขนาดของครีโอลีทและยังจัดเป็นลักษณะความไม่คงตัวที่สามารถผันกลับได้โดยการผสม

การแยกชั้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วงนั้นทำให้อนุภาคเข้ามาใกล้กันส่งผลให้เกิดการชนกันระหว่างครีโอลีทกับครีโอลีทข้างเคียง ซึ่งหลังจากนั้นจะเกิดการรวมกันเป็นครีโอลีทเดียวกัน หรือรวมกันแบบเกาะกันเป็นกลุ่ม หรือแยกจากกัน ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของขนาดแรงดึงดูดและแรงผลักที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาค แสดงดังภาพที่ 7

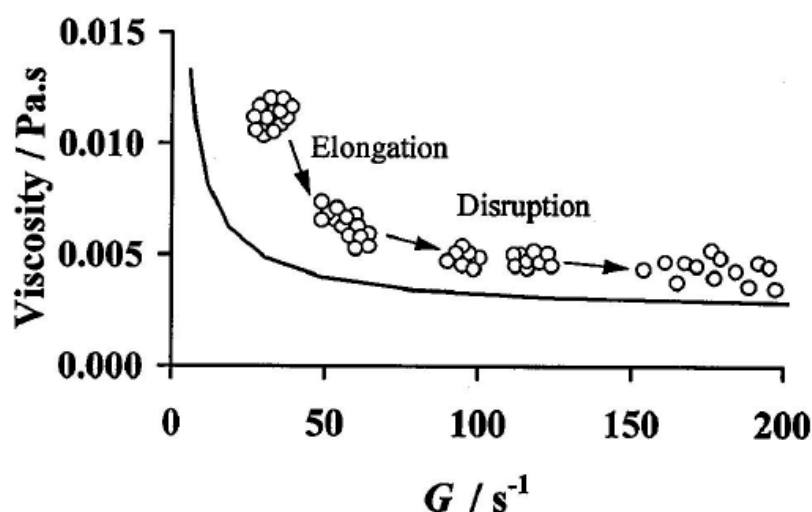


ภาพที่ 7 ลักษณะความไม่คงตัวของระบบอิมัลชัน

ที่มา: Lopetinsky และคณะ (2006)

2.6.1.2 การเกาะกันของดริอปเล็ต (flocculation)

Flocculation เป็นกระบวนการที่ดริอปเล็ตมารวมตัวกันเป็นกลุ่มหรือเกาะกันแต่จะไม่รวมกัน โดยแต่ละดริอปเล็ตจะยังคงลักษณะเดิมไว้ เกิดจากการที่ดริอปเล็ตเคลื่อนที่มาชนกัน ซึ่งการเคลื่อนที่นั้น อาจเป็นผลจากการเคลื่อนแบบเบราวน์เนียน แรงโน้มถ่วง หรือแรงทางกล จากการเคลื่อนที่ทำให้อนุภาคเกิดการปะทะระหว่างกัน ซึ่งมีผลให้ดริอปเล็ตเกาะตัวกันเป็นกลุ่มหรือแยกออกจากกัน (ดังภาพที่ 7(b)) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแรงที่มีอยู่บนผิวของดริอปเล็ตว่าเป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลัก การเกิด flocculation อาจเป็นผลดีหรือผลเสียต่อคุณภาพของอิมัลชันขึ้นกับลักษณะของอาหาร สำหรับในอิมัลชันแบบเจือจาง (diluted emulsions) ซึ่งมีความเข้มข้นของอนุภาคต่ำ การเกิด flocculation จะเป็นผลเสียกล่าวคือจะเร่งการแยกชั้นอันเป็นผลจากแรงโน้มถ่วง (McClements, 1999) แต่จะเป็นผลดีสำหรับอิมัลชันแบบความเข้มข้นสูง เช่น ผลิตภัณฑ์มายองเนส เพราะจะทำให้อิมัลชันมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีความคงตัวสูงขึ้น อันเนื่องมาจากความไม่คงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์ เมื่อมีแรงทางกลเกิดขึ้นแก่ระบบ กลุ่มดริอปเล็ตที่มีการเกาะกลุ่มกันจะแสดงพฤติกรรมของ shear-thinning ช่วยให้อิมัลชันไม่รวมตัวกันแล้วเกิดการแยกชั้น (McClements, 1999) ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กลไกการแตกตัวของกลุ่มดริอปเล็ตเมื่อได้รับแรงเฉือน

ที่มา: McClements (1999)

2.6.1.3 ออสวาลด์ไรเพนนิ่ง (Ostwald ripening)

Ostwald ripening เป็นกระบวนการที่อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น จะเกิดขึ้นในอิมัลชันที่มีขนาดดริอปเล็ตขนาดต่างๆ กัน ดริอปเล็ตที่มีขนาดเล็กจะมีแรงดันลาปลาซสูงกว่าดริอปเล็ตขนาดใหญ่

ส่งผลให้ครีโอลเล็กขนาดเล็กสามารถละลายได้มากกว่าขนาดใหญ่ และแพร่ผ่านวฏภาคต่อเนื่องไปรวมตัวกันกับครีโอลที่มีใหญ่ ทำให้ครีโอลเล็กมีขนาดใหญ่ขึ้น และครีโอลขนาดเล็กมีจำนวนลดลง คงเหลือแต่ครีโอลขนาดใหญ่ในระบบดังแสดงในภาพที่ 7(d) ostwald ripening มักเกิดขึ้นในระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน วิธีการลดการเกิด ostwald ripening คือการเพิ่มแรงดันออสโมติกให้แก่ครีโอลน้ำด้วยการเติมสารละลายน้ำตาลไปในครีโอลเล็ก ซึ่งจะทำให้ครีโอลขนาดเล็กนั้นหดตัวก็จะทำให้มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและแรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้นด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงขับส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในทิศทางตรงข้าม เป็นผลทำให้รักษารูปแบบการกระจายของขนาดครีโอลได้ (Rosano และคณะ, 1998)

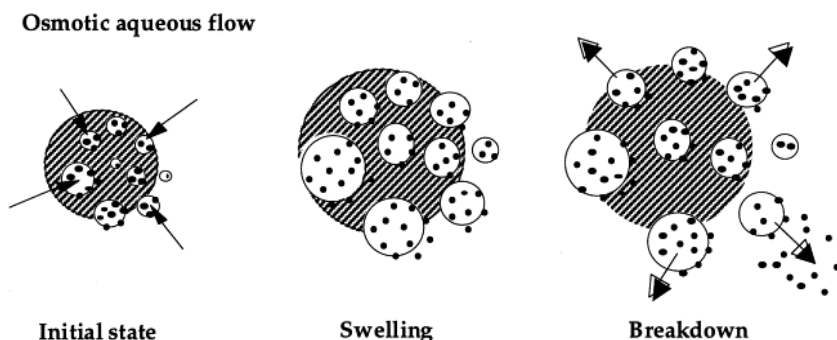
2.6.1.4 การรวมกันของครีโอล (coalescence)

ลักษณะความไม่คงตัวของอิมัลชันที่เกิดจากการรวมตัวกันของครีโอลทำให้ครีโอลมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการแตกของฟิล์มบางๆ (lamella) ระหว่างอนุภาคที่อยู่ใกล้กัน ถ้ามีรูเล็กๆ เกิดขึ้นในฟิล์ม อนุภาคจะเคลื่อนตัวเข้าหากันทันที การเกิด coalescence จะเกิดขึ้นได้เฉพาะกรณีที่อนุภาคอยู่ใกล้กัน และฟิล์มที่ผิวร่วมมีการแตกออกจากกัน (McClements, 1999) ในอาหารกลไกการแตกตัวของอิมัลชันแบบนี้มีความรุนแรงกว่าการเกิดครีม (creaming) เมื่ออนุภาค 2 อนุภาคอยู่ใกล้กัน ผิวที่หนูนโคงจะบิดทำให้ผิดรูปไปดังภาพที่ 7(e) การเกิด coalescence ทำให้อิมัลชันเกิดครีมหรือตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเพิ่มขนาดของครีโอล ดังนั้น coalescence จึงเป็นกระบวนการทำให้เกิดขึ้นของน้ำมันที่ส่วนบนที่เรียกว่า oiling off ในอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ และเป็นกระบวนการที่ไม่สามารถย้อนกลับ ส่วนอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันจะทำให้เกิดการสะสมของน้ำที่ด้านล่าง (McClements, 1999)

2.6.2 การรวมกัน (coalescence) ระหว่างครีโอลน้ำชั้นในและวฏภาคน้ำชั้นนอก

การรวมกันของครีโอลน้ำที่อยู่ภายในครีโอลน้ำมันที่เป็นวฏภาคชั้นในทำให้มีครีโอลน้ำลดลงและมีขนาดใหญ่ขึ้น และอาจทำให้มีการเคลื่อนที่ของครีโอลผ่านชั้นน้ำมันสู่วฏภาคน้ำภายนอกกลไกของการเกิด coalescence ระหว่างครีโอลน้ำ และวฏภาคน้ำชั้นนอกยังไม่เป็นที่แน่ชัดนัก โดย Mezzenga (2007) กล่าวว่าสาเหตุมาจากความไม่สมดุลของแรงดันลาปลาซ แม้ในระบบอิมัลชันนั้นไม่มีแรงดันออสโมติกอยู่ แรงดันลาปลาซก็จะเกิดขึ้นจากครีโอลน้ำเล็กๆ แพร่ผ่านมาจากวฏภาคชั้นในออกสู่วฏภาคชั้นนอก ซึ่งโดยปกติแล้วแรงดันลาปลาซเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความดันของครีโอลและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการมีแรงดันลาปลาซอาจเกิดจาก สารประกอบที่ยังไม่ละลายอยู่ในวฏภาคน้ำมันและวฏภาคน้ำชั้นใน เช่น เกลือ น้ำตาลหรือ สารพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งสามารถเพิ่มหรือเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันออสโมติกได้ ทำให้แรงดันที่ไม่สมดุลขึ้น ความแตกต่างของความดันออสโมติกก็จะมีผลต่อการรวมกันของ

น้ำชั้นในกับน้ำชั้นนอกที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง เป็นเหตุการเกิดการบวมหรือหดของครีโอลิต และนำไปสู่การแตกของครีโอลิตในที่สุด (Geiger และคณะ, 1998) แสดงดังภาพที่ 9



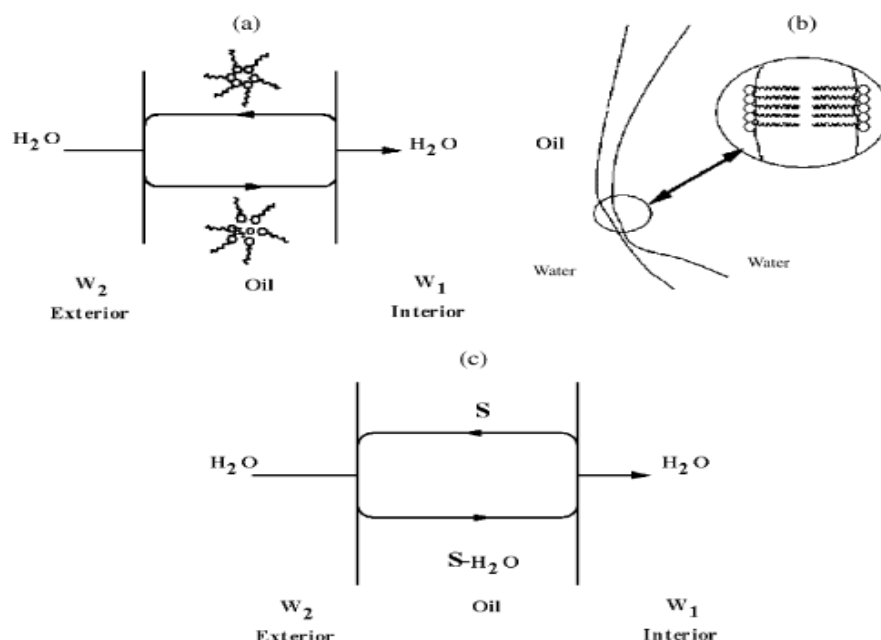
ภาพที่ 9 การแตกของครีโอลิตอันเนื่องมาจากแรงดันออสโมติก

ที่มา: Geiger และคณะ (1998)

2.6.3 การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านวัฏภาคน้ำมัน

การเกิด coalescence ของครีโอลิตที่อยู่ในวัฏภาคชั้นใน และการรั่วของชั้นน้ำมันจะเป็นสาเหตุของการเคลื่อนที่ของน้ำสู่วัฏภาคต่อเนื่อง หรือการแพร่ของน้ำชั้นในผ่านชั้นน้ำมันเป็นสาเหตุของการสูญเสียความคงตัวของระบบอิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W (Benichou และคณะ, 2004)

กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำอาจเกิดขึ้นได้หลายทางด้วยกัน กล่าวคือเกิดจากการเคลื่อนที่ผ่าน reverse micelles โดย reverse micelles ที่อยู่ระหว่าง interface โดยที่สามารถจับกับโมเลกุลน้ำไว้ภายใน และเมื่อ reverse micelles เคลื่อนที่ไปจับกับ interface อื่น ทำให้โมเลกุลน้ำสามารถข้ามมายังอีกด้านของ interface ทำให้โมเลกุลน้ำหลุดออกสู่วัฏภาคน้ำภายนอก ดังแสดงในภาพที่ 10(a) อีกทางหนึ่งคือการเคลื่อนที่ผ่านชั้น lamellar ที่เป็นส่วนบางมากๆ กล่าวคือ โมเลกุลน้ำเคลื่อนที่โดยอาศัยสารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารลดแรงตึงผิว ที่จับอยู่ใน interface ในชั้นบางมากๆ นั้น ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเคลื่อนผ่านได้ ดังแสดงในภาพที่ 10(b) และอีกวิธีหนึ่งคล้ายกับการกลไกผ่าน reverse micelles คือ ผ่านสารอิมัลซิไฟเออร์ที่จะจับโมเลกุลน้ำที่อีกด้านหนึ่งของชั้นน้ำมันแล้วเคลื่อนที่ไปจับกับอีก interface หนึ่ง ทำให้โมเลกุลน้ำหลุดสู่อีกด้านหนึ่งของชั้นน้ำมัน ดังแสดงในภาพที่ 10(c)



ภาพที่ 10 กลไกของการเคลื่อนผ่านชั้นน้ำมันของโมเลกุลน้ำในระบบอิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W โดย (a) วิธี reverse micelle และ (b) วิธี lamellar thinning (c) วิธี hydrated surfactant หรือ hydrated emulsifier ที่มา: Benichou และคณะ (2004)

2.6.4 การเคลื่อนที่ของสารอิเล็กโทรไลต์ผ่านชั้นน้ำมัน

อิเล็กโทรไลต์เป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่มีผลต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันเชิงซ้อน ทั้งนี้สารอิเล็กโทรไลต์มีบทบาทสำคัญต่อแรงดันออสโมติก การเคลื่อนที่ของสารไอออนผ่านชั้นน้ำมันที่กั้นไว้ภายในและภายนอกต่อเนื่องส่งผลต่อ osmotic gradient ซึ่ง Cheng และคณะ (2007) พบว่ากลไกของการเคลื่อนที่ของสารอิเล็กโทรไลต์นั้นเป็นในลักษณะของ “reverse micelle” โดย ไอออนนั้นจะถูกกักไว้ภายในของ reverse micelle จากนั้นผ่านชั้นน้ำมัน มาพร้อมกับโมเลกุลน้ำ รวมกับวิถีภายนอก เนื่องจากไอออนนั้นอยู่สถานะที่ละลายน้ำแล้ว ซึ่งไอออนที่มีขนาดเล็กก็จะผ่านออกมาได้เร็วกว่าไอออนที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากไอออนขนาดเล็กนั้นจะถูกกักไว้ในอนุภาคของ reverse micelles ได้ง่ายกว่า

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน

2.7.1 สารให้ความคงตัว

การรักษาความคงตัวของอิมัลชันในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมหนึ่งๆ จำเป็นต้องมีการใช้สารช่วยให้เกิดความคงตัว เช่น อิมัลซิไฟเออร์ ก่อนการผสมหรือการโฮโมจีไนซ์ อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่จะ

เกาะบริเวณพื้นผิวของอนุภาคที่กระจายอยู่เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคเข้ามาอยู่ใกล้กันจนเกิดการรวมตัวกัน (Coupland และ McClements, 1996) อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในอาหารจะต้องไม่เป็นพิษ (nontoxic) ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง (noncarcinogenic) และไม่เป็นสารที่ทำให้เกิดอาการแพ้ (nonallergenic)

การเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมนั้นสามารถพิจารณาด้วยค่าสัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน (hydrophile-lipophile balance, HLB) สารอิมัลซิไฟเออร์และสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดจะมีค่า HLB ตามโครงสร้างทางเคมี ค่า HLB มีค่าตั้งแต่ 0-20 โดย สารที่มีค่า HLB เท่ากับ 0 คือสารที่อยู่ในโมเลกุลไม่มีหมู่ที่ชอบน้ำแต่จะมีหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่ละลายน้ำ ค่า HLB สูงมากขึ้นจะมีอัตราส่วนของหมู่ที่ชอบน้ำต่อหมู่ที่ชอบน้ำมันสูง สามารถละลายหรือกระจายในน้ำได้ดีขึ้น หลักการเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์ในอิมัลชันจากกฎของ Bancroft ที่กล่าวว่า “วัฏภาคที่สารอิมัลซิไฟเออร์ละลายได้มากที่สุด จะเกิดเป็นวัฏภาคต่อเนื่องของอิมัลชัน” ดังนั้นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ละลายในน้ำควรจะใช้สำหรับอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water) ในขณะที่สารอิมัลซิไฟเออร์ที่ละลายในน้ำมันก็ควรจะใช้สำหรับอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (water-in-oil) โดยการอาศัยค่า HLB ของสารอิมัลซิไฟเออร์เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการละลายในน้ำมันหรือน้ำและสามารถใช้คาดคะเนถึงชนิดของอิมัลชันที่จะเกิดขึ้นได้ โดยสารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ต่ำ (3-6) จะมีลักษณะไม่ชอบน้ำและละลายได้ในน้ำมัน (hydrophobic) จึงสามารถให้ความคงตัวกับอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน และเกิดเป็น reverse micelle ในน้ำมัน สารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB สูง (8-18) จะมีลักษณะชอบน้ำ จึงละลายได้ในน้ำ (hydrophilic) ช่วยรักษาความคงตัวของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ และมีการจัดเรียงตัวแบบ micelle ในน้ำ สารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ปานกลาง (6-8) จะมีลักษณะที่ไม่ได้มีความชอบน้ำหรือน้ำมันเป็นการเฉพาะ ทำให้เมื่อนำมาใช้ในอิมัลชันแล้วจะไม่มี ความคงตัวจากการที่อนุภาคมารวมตัวกันเพราะเนื่องจากค่าแรงตึงผิวที่บริเวณผิวสัมผัสร่วมของน้ำมันและน้ำมีค่าต่ำ ทำให้ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยในการทำให้เมมเบรนของอนุภาคแตกออกเกิดการหลอมรวมกันจนขนาดใหญ่ขึ้น สารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ต่ำกว่า 3 และสูงกว่า 18 จะไม่มีคุณสมบัติเกาะติดที่ผิวของอนุภาค (surface active) และมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันในน้ำมันหรือในวัฏภาคน้ำมากกว่าที่จะเกิดการเรียงตัวที่บริเวณผิวสัมผัสร่วมของน้ำมันและน้ำ โดย สารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ในสองกรณีหลังนี้จะไม่สามารถให้ความคงตัวแก่ระบบอิมัลชันได้ อนุภาคของอิมัลชันจะมีแนวโน้มในการรวมตัวกันแบบ coalescence เมื่อมีการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่า HLB สูงหรือต่ำเกินไป เนื่องจากสารอิมัลซิไฟเออร์จะมีค่า surface activity ต่ำ ทำให้สารไม่เกาะติดที่ผิวอนุภาค จึงไม่สามารถป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคได้

ในการศึกษาวิธีการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิด W/O/W จะต้องใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ทั้ง 2 ประเภทคือทั้งที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และ ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ในช่วงแรกของการศึกษาการเตรียมอิมัลชัน W/O/W ด้วย อิมัลซิไฟเออร์ที่มีโมเลกุลเล็กหรือประเภท monomeric emulsifiers เช่น Span 80 และ Tween 80 พบว่าอิมัลชันที่ได้นั้นจะมีความคงตัวต่ำ (Apenten และ Zhu, 1996; Garti, 1997; Hou และ Papadopoulos, 1997; Pays และคณะ, 2001) จึงได้มีการนำสารอิมัลซิไฟเออร์มวลโมเลกุลใหญ่ เช่น PGPR และ โปรตีนจากนม เช่น โซเดียมเคซีนเนต มาใช้ในการเตรียม (Benichou และคณะ, 2004; Dickinson, 2011) พบว่าอิมัลชันเชิงซ้อนมีความคงตัวสูงขึ้น อันเนื่องมาจากความสามารถในการเชื่อมข้าม (cross-linked) ระหว่างผิวสัมผัสร่วมหลังจากการดูดซับที่ผิวครีโอล์

2.7.1.1 สารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน

พอลิกลีเซอรอล พอลิริซินโอเลต (Polyglycerol polyricinoleate, PGPR) ซึ่งเป็นพอลิกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดริซินโอเลอิกที่ถูกอินเตอร์เอสเทอร์ไฟด์ ผลิตมาจากการควบแน่น (condensation) สารกลีเซอรอล มากกว่า 2 โมเลกุล ให้เป็น พอลิกลีเซอรอลและกรดไขมันจากน้ำมันละหุ่ง (castor oil fatty acid) ซึ่งกรดไขมันส่วนใหญ่ที่พบคือ กรดไขมันริซินโอเลอิก นอกจากนั้นยังพบกรดไขมัน โอเลอิก, ลิโนเลอิก และ สเตียริก นำมาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ที่อุณหภูมิสูงได้เป็นอินเตอร์เอสเทอร์ไฟด์กรดไขมันริซินโอเลอิก จากนั้นจึงนำไปผสมกับพอลิกลีเซอรอล ได้เป็นพอลิกลีเซอรอล-พอลิริซินโอเลต มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์โดยมีส่วนที่ชอบน้ำคือ พอลิกลีเซอรอล และเอสเทอร์ของกรดริซินโอเลอิก เป็นหมู่ที่ชอบน้ำมัน สามารถกระจายตัวในน้ำได้เพียงเล็กน้อย แต่สามารถละลายได้ดีในน้ำมัน มีค่า HLB ต่ำกว่า 4 ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำในน้ำมัน นิยมใช้ PGPR ในการลดแรงเสียดทาน หรือ yield value ในการผลิตผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตและไขมันเคลือบจากพืช (Wilson และคณะ, 1998; Taki, 2008)

เลซิธิน (Lecithin) คือสารประกอบของไขมันและฟอสฟอรัส เรียกว่า ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) มีสารสำคัญคือ ฟอสฟาติล คอลีน (phosphatidyl choline) ฟอสฟาติล เอทานอลามีน (phosphatidyl ethanolamine) ฟอสฟาติล อินอซิทอล (phosphatidyl inositol) และกรดฟอสฟาติก (phosphatidic acid) ผลิตภัณฑ์ของเลซิธินมีลักษณะทั้งที่เป็นของเหลว ชัน เหนียว และเป็นของแข็ง ซึ่งขึ้นกับปริมาณสารสำคัญทั้ง 4 ชนิดดังกล่าวข้างต้น เลซิธินในธรรมชาติพบมากในไข่แดง นม สมอ คับ ไต ถั่วเปลือกแข็ง ปลา ธัญพืช น้ำมันพืช และสัตว์ต่างๆ เลซิธินเพื่อการค้าจะผลิตจากถั่วเหลือง เลซิธินนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อิมัลชันทั้งชนิดน้ำมันในน้ำและชนิดน้ำในน้ำมัน อันเนื่องจากเลซิธินมีค่า HLB ในช่วงกว้าง ทำให้สามารถใช้ได้ในอิมัลชันทั้งสองชนิด แต่โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะละลายได้ดีในน้ำมันจึงเหมาะสำหรับอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Schmidts และคณะ, 2009)

โมโนและไดกลีเซอไรด์ (mono - and diglycerides) สารทั้งสองประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ชอบน้ำมัน ทำให้ละลายได้บางส่วนทั้งในน้ำและน้ำมัน โดยจะถูกดูดซับที่บริเวณผิวร่วมระหว่างไตรกลีเซอไรด์และน้ำ และเกิดเป็นผลึกหุ้มอนุภาคไว้ โมโนกลีเซอไรด์จะลดแรงตึงผิวที่บริเวณผิวร่วมจึงรักษาความคงตัวของอิมัลชันได้ โมโนและไดกลีเซอไรด์มักใช้รักษาความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน โดยนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ มاکารีน และสารให้ความขาวในกาแฟ (coffee whitener) (Garti, 2001)

เอสเทอร์ของโมโนและไดกลีเซอไรด์ มักจะประกอบด้วยกรดเช่น อะซิติก กรดทาร์ทาริก และกรดซิตริก อิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากกรดทาร์ทาริก ได้แก่ ไดอะเซทิล ทาร์ทาริก เอสเทอร์ของโมโนกลีเซอไรด์ (DATEM) นิยมใช้ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ส่วนอิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากกรดซิตริก ได้แก่ ซิตริกแอซิด เอสเทอร์ของโมโนกลีเซอไรด์ซิตเรท (CITREM) จะใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกและมาคารีน (Garti, 2001)

2.7.1.2 สารอิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ

ไข่แดง ไข่แดงสามารถนำมาแยกองค์ประกอบโดยการเหวี่ยงแยก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ พลาสมา (plasma) และ แกรนูล (granules) ส่วนประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่ในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์นั้นอยู่ในพลาสมา ซึ่งประกอบไปด้วย ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) และโปรตีน (livetins) Le Denmat (2000) พบว่าแรง steric repulsion จากโปรตีนในไข่แดงเป็นแรงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่สำคัญในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของไข่แดง Franco และคณะ, 1995 พบว่าการใช้ไข่แดงผสมกับซูโครสเดี่ยวจะช่วยให้เพิ่มคงตัวให้กับมายองเนส ตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของซูโครสเดี่ยว

ซูโครสเอสเทอร์ หรือน้ำตาลซูโครสในรูปเอสเทอร์ของกรดไขมัน (sucrose fatty acid esters) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ชนิดไม่มีประจุ ประกอบด้วยซูโครสที่มีลักษณะเป็นสารที่มีขั้ว (hydrophilic group) และกรดไขมันที่มีลักษณะเป็นสาร ที่ไม่มีขั้ว (lipophilic group) มีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์และมีความสามารถในการลดแรงตึงผิว เป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดใหม่ที่ FDA อนุญาต ให้ใช้เป็นสารปรุงแต่งในอาหารได้ สารในกลุ่มนี้เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ทำให้ผิวหนังระคายเคือง และร่างกายสามารถย่อยได้ง่าย สามารถนำไปใช้ได้หลากหลายผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ อุตสาหกรรมผลิตไอศกรีม อุตสาหกรรมเบเกอรี่ อุตสาหกรรมนม อุตสาหกรรมช็อกโกแลต และลูกกวาด อันเนื่องจาก ซูโครสเอสเทอร์มีความสามารถในการจับกับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต (Nelen และ Cooper, 2004)

2.7.2 สัดส่วนของปริมาตรวัฏภาค (phase volume ratio)

สัดส่วนของปริมาตรแต่ละวัฏภาคในระบบอิมัลชันเชิงซ้อน w/o/w ทั้งปริมาตรวัฏภาคอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o emulsion) ที่เป็นอิมัลชันชั้นใน และปริมาตรวัฏภาคของद्रोปลีที่น้ำในอิมัลชันเชิงเดี่ยว W/O emulsion และปริมาตรวัฏภาคน้ำภายนอกที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่องของระบบอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ ล้วนส่งผลต่อการเกิดอิมัลชัน และความคงตัวของระบบ การมีปริมาตรวัฏภาคน้ำเพิ่มมากขึ้นจนข้ามจุดกลับวัฏภาคก็จะทำให้ระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันกลายเป็นระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ และในทางกลับกันหากระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำมีปริมาณน้ำมันเพิ่มมากขึ้นจนข้ามจุดกลับวัฏภาคก็จะทำให้ระบบอิมัลชันกลายเป็นชนิดน้ำในน้ำมัน (Thakur และคณะ, 2008) อัตราส่วนของปริมาตรวัฏภาคนั้นยังส่งผลต่อขนาดอนุภาค ความหนืดและพฤติกรรมการไหลของระบบอิมัลชัน การมีปริมาตรอิมัลชันชั้นใน มากขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคมากขึ้น และมีความหนืดมากขึ้น (Pal, 2008; Thakur และคณะ, 2008; Taki, 2008) ระบบอิมัลชันที่มีสัดส่วนปริมาตรอิมัลชันชั้นในสูงจะมีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบ shear-thinning เนื่องจากมี แรงเฉือนไม่พอเพียงในการทำลายพันธะระหว่างอนุภาคหรือเพื่อใช้ในการลดขนาดอนุภาค อนุภาคที่เกาะกัน (flocs) สามารถมีพฤติกรรมเสมือนเป็นอนุภาคหนึ่งที่มีขนาดและรูปร่างคงที่ ซึ่งทำให้อิมัลชันนั้นมีความหนืดคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อเพิ่มแรงเฉือนมากขึ้นจนทำให้อนุภาคที่เกาะกันนั้นแตกออกความหนืดของอิมัลชันจึงลดลง

2.7.3 ความดันออสโมติก

วัฏภาคน้ำมันที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่องของอิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W เปรียบเหมือน semipermeable membrane ที่กั้นระหว่างวัฏภาคน้ำ ภายใต้อิทธิพลของความแตกต่างของ osmotic gradient นั้น ผลความต่างของความเข้มข้นของสารเป็นเหตุให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านวัฏภาคน้ำมัน ซึ่งจะทำให้เกิดการบวมหรือเกิดการหดของ ดร้อปเล็ตที่อยู๋ภายในดร้อปเล็ตเชิงซ้อนนั้น หากแรงดันออสโมติกของวัฏภาคชั้นนอกสูงกว่าชั้นใน ก็จะทำให้ดร้อปเล็ตที่อยู๋ภายในนั้นหด หรือทำให้ชั้นน้ำมันนั้นแตกออกได้ ในทางกลับกัน หากแรงดันออสโมติกของวัฏภาคน้ำชั้นในสูงกว่า น้ำจากชั้นนอกก็จะเคลื่อนผ่านชั้นน้ำมันเป็นเหตุให้เกิดการบวมของดร้อปเล็ตด้านใน ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการแตกของดร้อปเล็ตน้ำ ซึ่งวิธีการแก้ปัญหานี้ทำได้ด้วยการปรับแรงดันออสโมติกให้เท่ากัน ด้วยการเติมเกลือหรือกลูโคส (Su, 2008)

2.7.4 ขนาดของดร้อปเล็ต (droplets size)

ดร้อปเล็ตเป็นวัฏภาคกระจายของระบบอิมัลชัน ดร้อปเล็ตของระบบอิมัลชันเชิงซ้อนชนิด W/O/W นั้น ประกอบด้วยดร้อปเล็ต 2 ชนิด คือ ดร้อปเล็ตน้ำ (วัฏภาคกระจายของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน) และดร้อปเล็ตเชิงซ้อน (วัฏภาคกระจายของอิมัลชันเชิงซ้อนหรือดร้อปเล็ตน้ำมันที่มีดร้อปเล็ตน้ำ

กระจายอยู่ภายใน) ความคงตัวของอิมัลชันน้ำในน้ำมัน ส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน การเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันน้ำในน้ำมัน สามารถทำได้โดยการลดขนาดของครีโอลีตน้ำให้มีขนาดเล็ก และหรือการเพิ่มความหนืดให้แก่วัฏภาคน้ำให้เพิ่มสูงขึ้น (Garti และ Aserin, 1996) และครีโอลีตน้ำที่มีขนาดเล็กนั้นยังสามารถเข้าไปแทนที่ในครีโอลีตน้ำมันได้มากซึ่งจะส่งผลให้ครีโอลีตเชิงซ้อนมีแนวโน้มที่มีความคงตัวสูงกว่าครีโอลีตเชิงซ้อนที่มีครีโอลีตน้ำแทนที่ในปริมาณน้อยและมีขนาดใหญ่ (Su, 2008) และนอกจากนี้การกระจายตัวของขนาดครีโอลีตยังส่งผลต่อความคงตัวอีกด้วย ระบบอิมัลชันที่มีการกระจายตัวของครีโอลีตอย่างสม่ำเสมอและครีโอลีตมีรูปร่างเป็นทรงกลมจะมีความคงตัวของระบบสูงกว่าระบบอิมัลชันที่มีการกระจายตัวของครีโอลีตเป็นแบบหลายช่วงขนาดหรือไม่สม่ำเสมอและมีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม ทั้งนี้การกระจายตัวของครีโอลีตนั้นส่งผลต่อลักษณะของการจัดเรียงโครงสร้างอิมัลชัน

2.7.5 วิธีการเตรียมอิมัลชัน

การเตรียมอิมัลชันคือผสมของเหลวซึ่งปกติไม่สามารถรวมตัวกันไว้ให้รวมกันไว้ได้ จากการนำส่วนผสมมาตีปั่นให้ของเหลวชนิดหนึ่งกลายเป็นอนุภาคขนาดเล็ก (droplets) กระจายอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นส่วนต่อเนื่อง ของเหลวมีขนาดอนุภาคเล็กลงได้โดยใช้แรงโดยกระบวนการโฮโมจีไนเซชัน (homogenization) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความจำเป็นในการเตรียมอิมัลชัน เครื่องมือที่นำมาใช้นั้นส่งผลต่อความคงตัวของระบบอิมัลชัน ซึ่งการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำมันนั้นจะต้องเตรียมอิมัลชัน 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกการเตรียมอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน จะต้องทำให้ครีโอลีตมีขนาดเล็กมากจะต้องใช้พลังงานสูง เครื่องมือที่นิยมใช้จึงเป็นโฮโมจีไนเซอร์ที่มีความดันสูง และสำหรับขั้นตอนที่สอง ในการนำอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันมาผสมกับวัฏภาคต่อเนื่องอีกครั้ง ให้เป็นอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำมัน จะต้องใช้พลังงานต่ำอันเพื่อป้องกันมิให้ครีโอลีตในอิมัลชันเชิงเดี่ยวนั้นแตกออกมาผสมกับวัฏภาคนอกได้ (Garti และ Aserin, 1996; Leal-Calderon และ Bibette, 2004; Su, 2008)

2.8 การรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชัน

2.8.1 การใช้สารอิมัลซิไฟเออร์

ความคงตัวของระบบคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งสามารถเกิดพันธะต่อกันได้ พันธะที่เกี่ยวข้องนี้เป็นพันธะในกลุ่มของแรงประจุบนพื้นผิวของอนุภาค กำหนดโดยปฏิกิริยาของแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างประจุของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งแรงกระทำระหว่างอนุภาคในอิมัลชัน ได้แก่

แรงแวน เดอ วาลส์ (van der waals) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาแวน เดอ วาลส์ระหว่างโมเลกุล ซึ่งเกิดจากการแกว่งไปมา ของขั้วไฟฟ้าคู่อย่างรวดเร็วของอะตอมที่ไม่มีประจุ ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้อะตอมใกล้เคียง เกิดขั้ว และก่อให้เกิดแรงดึงดูดขึ้น

แรงทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) แรงทางไฟฟ้าสถิตเป็นแรงระหว่างชั้นประจุไฟฟ้าคู่ (electrical double layers) เกิดจากอิมัลชันซีฟิเออร์ที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวอนุภาคของเหลว ทำให้ผิวโดยรอบของอนุภาคของเหลวมีประจุและเกิดความสัมพันธ์ของประจุระหว่างประจุตรงข้ามกันการเกิดความสัมพันธ์ของประจุรอบผิวอนุภาคของเหลวนี้ทำให้เกิดเป็นชั้นประจุไฟฟ้าคู่ เมื่ออนุภาคของเหลวเข้าใกล้กันปฏิกิริยาทางไฟฟ้าสถิตระหว่างชั้นประจุไฟฟ้าคู่จะทำให้เกิดแรงผลักหรือแรงดึงดูดซึ่งกันและกันขึ้นอยู่กับชนิดของประจุไฟฟ้า ผลรวมของแรงดึงดูดและแรงผลักซึ่งแสดงออกเป็นศักย์เคมี เมื่อศักย์เคมีเป็นลบ คือแรงดึงดูดมากกว่าแรงผลัก ทำให้อนุภาคเกิดการรวมกลุ่มกัน แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างและความหนาแน่นของอนุภาคในระบบด้วย หากผลรวมของแรงผลักมากกว่าแรงดึงดูด อนุภาคจะไม่เกิดการรวมกลุ่มกัน การเติมสารไอออนลงไปในระบบ ทำให้ประจุไฟฟ้าของไอออน ไปเปลี่ยนศักย์เคมีของระบบ ดังนั้นเมื่อศักย์เคมีที่ระยะห่างระหว่างอนุภาคสั้นๆ เปลี่ยนไป ส่งผลให้แรงผลักลดลง ผลคือทำให้อนุภาคเกาะตัวกันเป็นกลุ่ม ผลคือการเพิ่มความหนืดให้แก่ระบบที่มีอนุภาคคอลลอยด์เข้มข้น หรืออาจทำให้เกิดการรวมกันโดยสมบูรณ์ของอนุภาคหรือปฏิกิริยาในที่สุด (McClements, 1999)

การรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชันโดยโมเลกุลที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคจากสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่หรือโมเลกุลที่มีหางยาว ซึ่งมีส่วนหัวที่ละลายได้ในฟาสของน้ำและส่วนหางที่ละลายได้ในวัฏภาคของน้ำมันโดยเมื่ออนุภาคของเหลวเข้ามาใกล้กัน จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างหางของโมเลกุลและก่อให้เกิด Steric force ทำหน้าที่กีดขวางไม่ให้อนุภาครวมกันแบบเกาะกลุ่มได้

นอกจากนี้ยังมีการรักษาความคงตัวโดยใช้สาร particle ที่ผิวสัมผัสร่วม ในระบบอิมัลชันชนิดความเข้มข้นของครีโอล์สูงนั้น ผิวสัมผัสร่วมระหว่างอินเทอร์เฟสนั้น แคบมาก ดังนั้น หากมี particle แทรกตัวหรือจัดเรียงตัวอยู่ก็จะทำให้เกิดคาปิลารีขึ้น ทำให้อนุภาคมีแรงดึงดูดสูงมากก่อให้เกิดจับตัวกันเป็นกลุ่มอนุภาคหรือ กลุ่ม floccules ทำให้ระบบอิมัลชันมีความหนืดสูงขึ้นและไม่เกิดการรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ (McClements, 1999)

ในช่วงปี 1970-1985 นั้น การศึกษาการเตรียมอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำ ส่วนใหญ่แล้วนักวิจัยจะเน้นทำการศึกษาอิมัลชันซีฟิเออร์โมเลกุลเล็ก เช่น การใช้ span 80 และ tween 80 ซึ่งผลปรากฏว่าความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อนที่ได้มีต่ำ ซึ่งสาเหตุนี้มาจากการสามารถย้ายไปมาระหว่างผิวสัมผัสร่วมระหว่าง

น้ำมันและน้ำไปผิวสัมผัสระหว่างน้ำและน้ำมันได้ จึงก่อให้เกิดการสลายตัวของระบบในที่สุด (Garti, 1998)

ในปัจจุบันนี้ การศึกษาระบบอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น เน้นมาใช้ สารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีมวลโมเลกุลใหญ่ หรือชนิดสารพอลิเมอร์ ทั้งที่ได้จากธรรมชาติ และกึ่งสังเคราะห์ เช่น การใช้สาร PGPR เวย์โปรตีน หรือ โซเดียมเคซิเนต (Benichou และคณะ, 2004; Musiolik, 2007; Su, 2008; Dickinson, 2011)

Macierzanka และ Halina Szelag (2006) ทำการศึกษาความคงตัวของอิมัลชันน้ำในน้ำมันโดยการใส่สาร PGMS ซึ่งจะสามารถเพิ่มความคงตัวด้วยการสร้างชั้นผลึกด้วยพันธะแอลฟาที่ระหว่างชั้นอินเตอร์เฟสห่อหุ้มเอาครีโอลีตน้ำไว้ภายในชั้นน้ำมันที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่องซึ่งให้ผลในด้านความคงตัวสูง

2.8.2 การควบคุมขนาดของครีโอลีตน้ำและครีโอลีตเชิงซ้อน

การเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำนั้นสามารถทำได้ด้วยการรักษาความคงตัวให้แก่อิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันซึ่งเป็นอิมัลชันชั้นใน ซึ่งวิธีหนึ่งคือการลดขนาดของครีโอลีตน้ำที่เป็นวัฏภาคกระจายของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน ให้มีขนาดเล็กมากๆ (Garti และ Aserin, 1996) ซึ่งควรมีขนาดไม่เกิน 1 ไมโครเมตร (Musiolik, 2007) ซึ่งการที่ครีโอลีตน้ำมีขนาดเล็กนั้นทำให้สามารถแทรกอยู่ครีโอลีตเชิงซ้อนได้มาก ครีโอลีตเชิงซ้อนที่มีครีโอลีตน้ำบรรจุอยู่มากนั้นก่อให้เกิดความคงตัวสูงกว่าครีโอลีตน้ำที่มีครีโอลีตน้ำบรรจุอยู่น้อยหรือเพียงครีโอลีตเดียว

Mezzenga และคณะ (2004) เสนอวิธีการควบคุมขนาดของครีโอลีตเชิงซ้อนด้วยวิธีการปรับสมดุลของแรงดันออสโมติกระหว่างสองวัฏภาค

2.8.3 การรักษาความคงตัวของครีโอลีตเชิงซ้อน

เนื่องจากการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนนั้นจะต้องทำการเตรียมแบบ สองขั้นตอน โดยการนำอิมัลชันน้ำในน้ำมันมาทำการผสมเป็นอิมัลชันอีกครั้ง ในขั้นตอนที่ สองนี้ จะต้องทำโดยการให้พลังงานต่ำเพื่อป้องกันการแตกหรือสลายตัวของครีโอลีตน้ำ (Musiolik, 2007) ซึ่งความดันของไฮโดรเจนในเซอร์ที่เหมาะสมนั้นอยู่ระหว่าง 100-400 บาร์ (Leal Calderon และ Bibette, 2004)

นอกจากนี้การเพิ่มความหนืดของวัฏภาคต่อเนื่องของอิมัลชันเชิงซ้อนด้วยการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารให้ความหนืดยังสามารถให้ความคงตัวของระบบอิมัลชันเชิงซ้อนน้ำในน้ำมันในน้ำสูงขึ้น (Benichou และคณะ, 2004)

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

- 3.1.1 น้ำมันถั่วเหลืองตราอรุณ (บริษัทน้ำมันพืชไทยจำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.2 น้ำส้มสายชู ตราทิพรส (บริษัทไฟโรจน์ (ทั้งชงฮะ) จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.3 เกลือ ตราปรุททิพ (บริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.4 น้ำตาลทรายตรามิตรผล (บริษัทน้ำตาลมิตรผลจำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.5 ไข่แดง(พาสเจอร์ไรส์ที่ 65 °C 3 นาที (ภาคผนวก ก3.1) ตราชีพี (บริษัทชีพีเอฟจำกัด)
- 3.1.6 พอลิกลีเซอรอล พอลิรีซินโอเลเอต (Palsgaard® PGPR 4125, ประเทศเดนมาร์ก) จากบริษัทดีพีโอ (ประเทศไทย) จำกัด)
- 3.1.7 เลซิทิน (LECICO F600+F200, LECICO Gmb, ประเทศเยอรมนี, จากบริษัท นิวทรีชั่น เอสซี จำกัด)
- 3.1.8 CITREM (Palsgaard® CITREM 4201, ประเทศเดนมาร์ก, จากบริษัทดีพีโอ (ประเทศไทย) จำกัด)
- 3.1.9 PGMS (Grindsted® PGMS 90, Danisco , ประเทศมาเลเซีย, จากบริษัทเบอร์ลี่ ยุคเกอร์ สเปเชียลตี้ส์ จำกัด)
- 3.1.10 DMG (DIMODAN® HP-M Distilled monoglyceride, Danisco, ประเทศมาเลเซีย, จากบริษัท เบอร์ลี่ ยุคเกอร์ สเปเชียลตี้ส์ จำกัด)
- 3.1.11 mineral oil (cosmetic grade, G-bioscience, ประเทศสหรัฐอเมริกา, จากบริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.2.1 เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ความดันสูงแบบ 2 stage (APV, LAB 2000, ประเทศเดนมาร์ก)
- 3.2.2 เครื่องปั่นนอเนกประสงค์ (Philips, HR 2061, ประเทศอินโดนีเซีย)
- 3.2.3 เครื่องปั่นเหวี่ยงแยกสารความเร็วสูง (Sorval Centrifuge, RC 6, สหรัฐอเมริกา)

- 3.2.4 เครื่องปั่นผสมด้วยมือ (Hand mixer, Sharp, EMS-51, ประเทศมาเลเซีย)
- 3.2.5 เครื่องวัดขนาดอนุภาค Laser light scattering (Coulter, LS 1000, สหรัฐอเมริกา)
- 3.2.6 เตาให้ความร้อนพร้อมกวนสารด้วยแม่เหล็ก (Hot plate with magnetic stirrer) (CAT, M 6, ประเทศเยอรมนี)
- 3.2.7 กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน (Light optical microscope) (Olympus Microscope, CH-2, ประเทศญี่ปุ่น) และกล้องดิจิทัลบันทึกภาพ (Olympus, C-7070, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.2.8 เครื่อง Rheometer (Physica MCR 300, Anton Paar, ประเทศเยอรมนี)
- 3.2.9 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง (AND, FX 2000i, A&D company limited, สหรัฐอเมริกา)
- 3.2.10 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Mettmert, IPP800, ประเทศเยอรมนี)
- 3.2.11 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล (FUJIFILM, Finepix s2950, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.2.12 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Aw) ของอาหาร (Novasina, Thermoconstanter TH200, ประเทศสวีเดน)
- 3.2.13 เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH meter) ของอาหาร (Mettler-Toledo, FiveEasy™, pH glass Electrode รุ่น LE 409, จากบริษัท เมทเลอร์-โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด)
- 3.2.14 เครื่องแก้วและอุปกรณ์เครื่องครัวที่จำเป็นในการทดลอง

3.3. วิธีการทดลอง

3.3.1 การคัดเลือกสูตรมายองเนสไขมันเต็มเพื่อใช้เป็นสูตรควบคุม

ทำการดัดแปลงสูตรมายองเนสไขมันเต็มจาก Mun และคณะ (2009) ได้สูตรมายองเนสไขมันเต็ม เป็นสูตร 1 และสูตร 2 (แสดงสูตรต้นแบบ และสูตรดัดแปลงในภาคผนวก ก1 และ ก2) โดยกรรมวิธีการเตรียมดังแสดงใน ภาคผนวก ก4 ทำการคัดเลือกสูตรมายองเนสไขมันเต็มเพื่อใช้เป็นสูตรควบคุมด้วยการทดสอบความชอบโดยใช้สเกลความชอบ 9 จุด (9-point hedonic scaling) โดยทดสอบความชอบโดยรวมเปรียบเทียบกับมายองเนสสูตรไขมันเต็มที่ทำนายทางการค้า จำนวน 2 ยี่ห้อ คือ ยี่ห้อ A และ B ทดสอบโดยใช้ผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน เสนอดตัวอย่างละ 8 กรัม เสริฟพร้อมขนมปังแซนวิช ขนาด 3.5 X 5.5 เซนติเมตร ทำการเสิร์ฟทีละตัวอย่าง (ให้ผู้ทดสอบกลืนปากด้วยน้ำเปล่า และพัก 30 วินาที ก่อนทดสอบตัวอย่างต่อไป) ทำการประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความมัน ความ

ชนิด ความเรียบเนียนของเนื้อมายองเนส และความชอบโดยรวม ทำการทดสอบโดยใช้โปรแกรมการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสำร็จรูป SU Sense Version 2012.08.30

3.3.2 การเตรียมอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันที่เป็นอิมัลชันชั้นใน (primary emulsion)

3.3.2.1 ผลของชนิดอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน

ทำการศึกษาการเตรียมอิมัลชันโดยใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ 5 ชนิด ได้แก่ PGPR, PGMS, DMG, Lecithin และ CITREM โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดในปริมาณ 1 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม (ภาคผนวก ก3.2-3.6) โดยการผสมส่วนผสมของอิมัลชันดังแสดงในตารางที่ 1 และตามกรรมวิธีการเตรียมอิมัลชันดังแสดงในภาคผนวก ก5 จากนั้นทำการตรวจสอบความคงตัว โดยการชั่งอิมัลชันหนัก 15.0 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วใสฝาเกลียว ขนาด 20 ml เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สังเกตการแยกชั้นของครีโอล์เปลี่ยนทุกๆ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
น้ำมันถั่วเหลือง	50
สารละลายปรูรงรส (วัฏภาคน้ำ)	50
น้ำส้มสายชูร้อยละ 11.8	
เกลือร้อยละ 2.2	
น้ำตาลทรายร้อยละ 12.0	
น้ำร้อยละ 74.0	
อิมัลซิไฟเออร์	1

3.3.2.2 ผลของความเข้มข้นอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน

ทำการศึกษาการเตรียมอิมัลชันโดยใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ที่คัดเลือกจากข้อ 3.3.2.1 ที่ปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม โดยการผสมส่วนผสมของอิมัลชันดังแสดงในตารางที่ 1 และตามกรรมวิธีการเตรียมดังแสดงในภาคผนวก ก5 ตรวจสอบลักษณะปรากฏ จากนั้นเก็บอิมัลชันไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

3.3.2.2.1. การแยกชั้นของครีโอล์เปลี่ยน ทำตามวิธีในข้อ 3.3.2.1

3.3.2.2.2. ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของอนุภาค

วัดขนาดของครีโอล์ในอิมัลชันด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค coulter LS 1000 โดยทำการเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นร้อยละ 8 ด้วย mineral oil (ความหนืดที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.038 Pa*s และค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับ 1.476) วิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ยจากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวเฉลี่ยของอนุภาค (surface-area-average diameter; $d_{3,2}$) ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ

$$d_{3,2} = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2}$$

โดย n_i คือจำนวนของครีโอล์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d_i

3.3.2.2.3. โครงสร้างระดับจุลภาคของอิมัลชัน

ตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของอิมัลชัน โดยการนำตัวอย่างอิมัลชันมาทำการเจือจาง 100 เท่า ด้วย mineral oil จากนั้นหยดอิมัลชันลงบนแผ่นสไลด์และปิดทับด้วยแผ่นกระจกปิดสไลด์ (cover glass) แล้วส่องดูโครงสร้างของอิมัลชันโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน (light optical microscope) โดยใช้เลนส์วัตถุที่มีกำลังขยาย 40 เท่า (กำลังขยายภาพ 400 เท่า) และบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

3.3.3 การเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ

3.3.3.1 ผลของสัดส่วนปริมาตรวัฏภาคอิมัลชันชั้นในต่อความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ

ทำการศึกษาการเตรียมอิมัลชันโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50-80 กับสารละลายปรุงรส ร้อยละ 43-13 และไข่แดงร้อยละ 7 โดยน้ำหนักอิมัลชันเชิงซ้อนดังแสดงในตารางที่ 2 และตามกรรมวิธีการเตรียมดังแสดงในภาคผนวก ก6 เก็บอิมัลชันไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

3.3.3.1.1. การวัดการแยกชั้นน้ำในอิมัลชันเชิงซ้อนน้ำในน้ำมันในน้ำ (W/O/W) (ดัดแปลงจาก Le Denmat และคณะ, 2000)

ชั่งอิมัลชันเชิงซ้อน 12 กรัม ใส่ลงในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาดปริมาตร 15 ml เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นสุ่มตัวอย่างนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Sorval Centrifuge) ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการวัดความสูงทั้งหมดและความสูงของชั้นน้ำ รายงานเป็นร้อยละของการแยกชั้นน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละของการแยกชั้น} = \frac{\text{ความสูงของชั้นน้ำ}}{\text{ความสูงทั้งหมด}} \times 100$$

3.3.3.1.2. การวัดขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของอนุภาคเฉลี่ย

ทำตามวิธีในข้อ 3.3.2.2.2 แต่ทำการเจือจางตัวอย่างอิมัลชันเชิงซ้อนด้วยน้ำกลั่น (ค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับ 1.332)

3.3.3.1.3. การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของอิมัลชัน

ทำตามวิธีในข้อ 3.3.2.2.3 แต่ทำการเจือจางตัวอย่างอิมัลชันเชิงซ้อนด้วยน้ำกลั่น

3.3.3.1.4. พฤติกรรมทางวิทยากระแส

วัดพฤติกรรมการไหล โดยการวัดแบบ Rotation ด้วยเครื่อง Rheometer หัววัด parallel plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ระยะ gap ที่ 1 มิลลิเมตร และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กำหนดอัตราเฉือน (shear rate) ที่ 0.1-300 วินาที⁻¹

3.3.3.1.5. ทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ทำตามวิธีในข้อ 3.3.1

ตารางที่ 2 ส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ

การทดลองที่	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักของอิมัลชันเชิงซ้อน)					
	1	2	3	4	5	6
อิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O)	50	60	65	70	77	80
สารละลายปรุงรส	50					
(น้ำตาลร้อยละ 12, เกลือร้อยละ 2.2, น้ำส้มสายชูร้อยละ 11.8, น้ำร้อยละ 74 โดยน้ำหนัก)						
วัฏภาน้ำมัน	50					
อิมัลซิไฟเออร์	X					
วัฏภาน้ำชั้นนอก (W)	50	40	35	30	23	20
สารละลายปรุงรส	43	33	28	23	16	13
ไข่แดงพาสเจอร์ไรซ์	7	7	7	7	7	7

หมายเหตุ: X คือปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากผลการทดลองข้อ 3.3.2

3.3.3.2 การศึกษาความคงตัวโดยการเปรียบเทียบมายของเนสไขมันเต็มและมายของเนสลดไขมันด้วยกรรมวิธีอิมัลชันเชิงซ้อนระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เตรียมมายของเนสไขมันเต็มที่ได้จากการคัดเลือกจากข้อ 3.3.1 และมายของเนสลดไขมันด้วยระบบอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำที่คัดเลือกจากข้อที่ 3.3.3 จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ เป็นช่วงเวลาคือ 1 วัน 5 วัน 15 วัน 30 วัน 45 วัน และ 60 วัน ตรวจสอบสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Aw) ด้วยเครื่องวัด Aw และวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (ภาคผนวก ข1) และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

3.3.3.2.1. คำนวณความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion Stability Index) (ดัดแปลงจาก Mirhosseini และคณะ, 2008)

ตามวิธีในข้อ 3.3.3.1.1 แล้วทำการวัดความสูงทั้งหมด ความสูงของชั้นน้ำ และความสูงของชั้นน้ำมัน รายงานเป็นดัชนีความคงตัว ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{ดัชนีความคงตัว} = \frac{\text{ความสูงทั้งหมด} - (\text{ความสูงของชั้นน้ำ} + \text{ความสูงของชั้นน้ำมัน})}{\text{ความสูงทั้งหมด}} \times 100$$

3.3.3.2.2. การวัดขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของอนุภาคเฉลี่ยตามวิธีในข้อ 3.3.3.1.2

3.3.3.2.3. การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของอิมัลชันตามวิธีในข้อ 3.3.3.1.3

3.3.3.2.4. พฤติกรรมทางวิทยากระแส

วัดพฤติกรรมการไหล แบบ Rotation ด้วยเครื่อง Rheometer หัววัด parallel plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ระยะ gap ที่ 1 มิลลิเมตร และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กำหนดอัตราเฉือน (shear rate) ทั่วไป 0.1–1000 วินาที⁻¹ และขากลับ 1000–0.1 วินาที⁻¹

วัดสมบัติเชิงวิสโคอิลาสติก แบบ Oscillation โดยการวัด frequency sweep กำหนดให้ความถี่แปรผันในช่วง 0.1 – 100 เฮิรตซ์ และกำหนดค่า strain เท่ากับ 1 มิลลิเรเดียน (mrad)

3.3.3.3 การทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์มายของเนสลดไขมันด้วยกรรมวิธีอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำเปรียบเทียบกับมายของเนสไขมันเต็ม

เตรียมมายของเนสไขมันเต็มที่ได้จากการคัดเลือกจากข้อ 3.3.1 และมายของเนสลดไขมันด้วยระบบอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำที่คัดเลือกจากข้อที่ 3.3.3 เก็บมายของเนสไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้สเกลความชอบ 9 จุด (9-point hedonic scaling) ตามวิธีในข้อ 3.3.1 พร้อมกับให้ผู้ชิมทำการประเมินคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับความชอบโดยรวมโดยใช้สเกลความพอดี (Just-about-right scale, JAR scale)

3.4 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) และการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้การวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ XLSTAT เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์สหสัมพันธ์และจำแนกองค์ประกอบปัจจัยของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วย principal component analysis (PCA)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการคัดเลือกสูตรมายองเนสไขมันเต็ม

จากการคัดเลือกสูตรมายองเนสไขมันเต็มดัดแปลง สูตร 1 และ สูตร 2 เปรียบเทียบกับมายองเนสสูตรไขมันเต็มที่กำหนดขายทางการค้าจำนวน 2 ยี่ห้อ คือ ยี่ห้อ A และ B ด้วยการทดสอบความชอบโดยใช้สเกลความชอบ 9 จุด (9-point hedonic scaling) โดยทดสอบคุณลักษณะความชอบโดยรวมโดยใช้ผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 51 คน

ผลการทดสอบความชอบโดยรวมพบว่า สูตร 2 ได้รับความชอบโดยรวมสูงสุดคือ 6.67 และมีความชอบโดยรวมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับสูตรการค้า ยี่ห้อ A (ตารางที่ 3) ดังนั้นจึงทำการเลือกสูตรที่ 2 เป็นสูตรควบคุม ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความชอบโดยรวมของมายองเนสสูตรต่างๆ

ตัวอย่าง	คะแนนความชอบโดยรวม
สูตร 2	6.67 ^a
ยี่ห้อ A	6.65 ^a
ยี่ห้อ B	3.57 ^b
สูตร 1	3.33 ^b

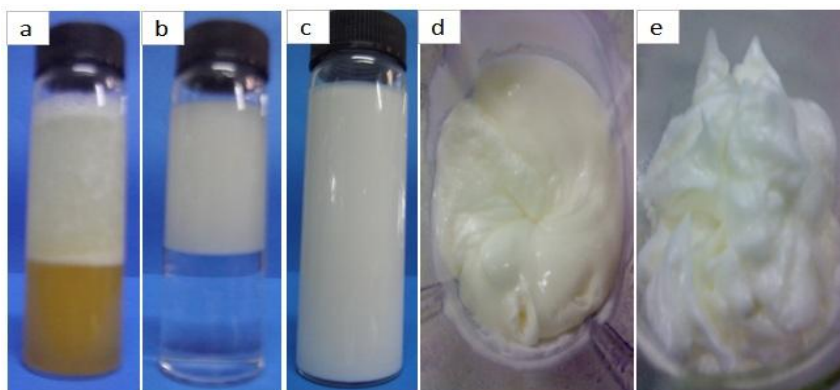
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

4.2 ผลการเตรียมอิมัลชันเชิงเดียวนิคน้ำมันน้ำมันที่เป็นอิมัลชันชั้นใน (primary emulsion)

4.2.1 ผลของชนิดอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันเชิงเดียวนิคน้ำมันน้ำมัน

จากกฎของ Bancroft ที่กล่าวว่า “วัฏภาคที่สารอิมัลซิไฟเออร์ละลายได้มากที่สุด จะเกิดเป็นวัฏภาคต่อเนื่องของอิมัลชัน” (McClement, 1999) ดังนั้นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ควรเลือกใช้สำหรับอิมัลชันชนิดน้ำมันน้ำมัน โดยการอาศัยค่า HLB ของสารอิมัลซิไฟเออร์เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการละลายในน้ำมันหรือน้ำ การทดลองนี้ต้องการเตรียมอิมัลชันชนิดน้ำมันน้ำมันซึ่งมีน้ำมันเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ดังนั้นอิมัลซิไฟเออร์ที่นำมาศึกษาจึงควรละลายในน้ำมันได้ดีกว่าน้ำ การทดลองนี้จึงศึกษาผลของชนิดอิมัลซิไฟเออร์ คือ เลซิธิน, พอลิกลีเซอรอล พอลิรีซินโนเลเอต (PGPR), โพรพิลีนไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

(PGMS), คิสทิลโมโนกลีเซอไรด์ (DMG), ซิตริกแอซิดเอสเทอร์ของโมโนกลีเซอไรด์ (CITREM) ซึ่งมีค่า HLB 3, 4.7, 3.4, 4.3, ≈ 8 ตามลำดับ โดยใช้ปริมาณ 1 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม พบว่า อิมัลชันที่เตรียมโดยเลซิธินไม่มีความคงตัวโดยเกิดการแยกชั้นอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 11 (a)) และอิมัลชันที่ได้มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ และเมื่อทำการทดสอบชนิดของอิมัลชันโดยทำการทดสอบการกระจายตัวในน้ำพบว่าอิมัลชันที่เตรียมโดยเลซิธินสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าอิมัลชันที่ได้เป็นชนิดน้ำมันในน้ำ ขณะที่อิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่นๆ นั้นไม่สามารถกระจายตัวได้ในน้ำแต่สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำมันพืช ดังนั้นจึงเป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน แต่พบว่าอิมัลชันที่เตรียมได้นั้นไม่มีความคงตัวเมื่อตั้งทิ้งไว้ โดย PGMS นั้นแยกชั้นภายใน 10 นาที (ภาพที่ 11 (b)) ส่วน DMG และ CITREM นั้น เมื่อทำการปั่นผสมได้เพียง 1 นาที พบว่ามีลักษณะของเนื้ออิมัลชันที่ข้นมาก ดังแสดงในภาพที่ 11 (d) และ ภาพที่ 11 (e) ตามลำดับ และไม่สามารถทำการปั่นผสมต่อไปได้ อิมัลชันจะเกิดการแตก สูญเสียระบบของอิมัลชัน เกิดการแยกส่วนเป็นน้ำและน้ำมัน ขณะที่ PGPR จะให้อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันที่มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีขาว เป็นเนื้อเดียวกัน มีความคงตัว ไม่แยกชั้น (ภาพที่ 11 (c)) สามารถนำไปทำอิมัลชันละเอียดโดยใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ได้



ภาพที่ 11 ลักษณะของอิมัลชันเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้ (a) เลซิธิน และ (b) PGMS 90 (c) PGPR (d) DMG และ (e) CITREM

จากผลการทดลองพบว่าแม้ว่าเลซิธินที่นำมาใช้จะละลายได้ดีในน้ำมัน แต่ระบบอิมัลชันที่ได้กลับไม่เป็นไปตามหลักของ Bancroft กล่าวคือ ได้ผลเป็นอิมัลชันในระบบน้ำมันในน้ำ ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากการเหนี่ยวนำโดยการเพิ่มปริมาณสัดส่วนของวัฏภาคชั้นใน โดยการค่อยๆ เติมน้ำลงในสารผสมของน้ำมันและสาร lecithin จนเกิดทำให้เกิดการกลับวัฏภาคขึ้นเมื่อมีปริมาณสัดส่วนของน้ำมากจนข้ามจุด ที่เรียกว่า “emulsion inversion point” (Thakur และคณะ, 2008)

สำหรับ PGMS จากการศึกษาด้านโครงสร้างของระบบอิมัลชันน้ำในน้ำมัน ของ Macierzanka และ Szelag (2006) รายงานว่า PGMS สามารถสร้างฟลิกซันดแอลฟาขึ้นบริเวณผิวสัมผัสร่วมเมื่ออุณหภูมิของระบบต่ำลงประมาณ 40 องศาเซลเซียส ทำให้มีโครงสร้างเป็นฟลิกห่อหุ้มหรือเปลือกน้ำไว้ภายใน ทำให้เกิดเป็นระบบอิมัลชันน้ำในน้ำมันขึ้น ซึ่งในการทดลองนั้น พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงอาจทำให้โครงสร้างของฟลิกอิมัลซิไฟเออร์นั้นเกิดการละลาย อิมัลชันที่เกิดขึ้นจึงไม่มีความคงตัวและเกิดการแยกชั้นภายหลังการเตรียม ส่วน DMG และ CITREM นั้น เมื่อทำการเติมส่วนน้ำลงในเครื่องปั่นจะเกิดการเกาะกลุ่มของครีโอลเป็นกลุ่ม flocs และเกิดฟลิกห่อหุ้มหรือเปลือกน้ำไว้ แต่โครงสร้างของอิมัลชันที่เกิดขึ้นสามารถถูกทำลายได้ง่ายด้วยแรงเฉือนที่เกิดจากเครื่องมือผสมและความร้อนที่เกิดขึ้น ทำให้ระบบของอิมัลชัน เกิดการแยกส่วนเป็นน้ำและน้ำมัน (Johansson และคณะ, 1995)

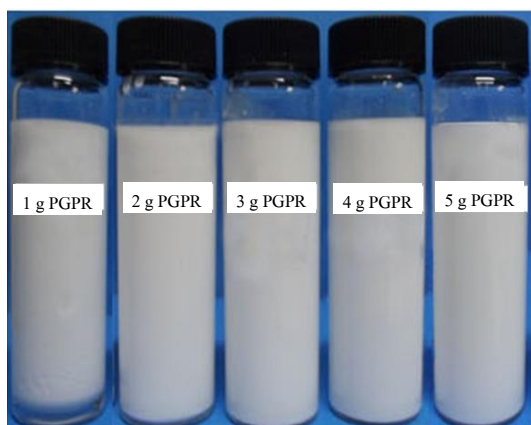
PGPR เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เป็นพอลิเมอร์ชนิด amphiphiles ที่ประกอบด้วย พอลิกลีเซอรอลที่เป็นส่วนหัว และส่วนหางเป็นพอลิรีซินโอเลต เนื่องจาก PGPR เป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดไม่มีประจุ และไม่มีคุณสมบัติในการลดแรงตึงผิวระหว่างผิวสัมผัส แต่จะจับตัวกันเป็นชั้นฟิล์มที่บริเวณผิวสัมผัสและเชื่อมจับกันระหว่างผิวสัมผัสก่อให้เกิดโครงสร้างร่างแห ให้ชั้นผิวสัมผัสที่มีความหนาทำให้ทนต่อแรงดันลาปลาซได้ดี จึงเป็นเหตุให้เกิดเป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันที่มีความคงตัวได้ (Benichou และคณะ, 2004; Muschiolik, 2007) อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้พบว่าอิมัลชันที่ใช้ PGPR เป็นอิมัลซิไฟเออร์จะเกิดการตกตะกอนของครีโอลที่ก้นหลอดเมื่อทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ซึ่งการตกตะกอนของครีโอลที่ก้นหลอดนั้นเกิดจากการรวมกันของครีโอล ซึ่งอาจเกิดจากออกสวาล์วรีเพนนิ่ง หรือเกิด flocculation ทำให้ครีโอลมีขนาดใหญ่ขึ้น ตกตะกอนลงสู่ด้านล่าง นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากมีปริมาณสาร PGPR ไม่เพียงพอในการเข้าไปห่อหุ้มพื้นที่ผิวของครีโอลขณะทำการโฮโมจีไนซ์ จึงทำให้เกิดการรวมกันเป็นครีโอลขนาดใหญ่ โดยการตกตะกอนของวัฏภาคน้ำนี้เป็นลักษณะเช่นเดียวกันกับการเกิด creaming ในอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมต่อไป

4.2.2 ผลของความเข้มข้นอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน

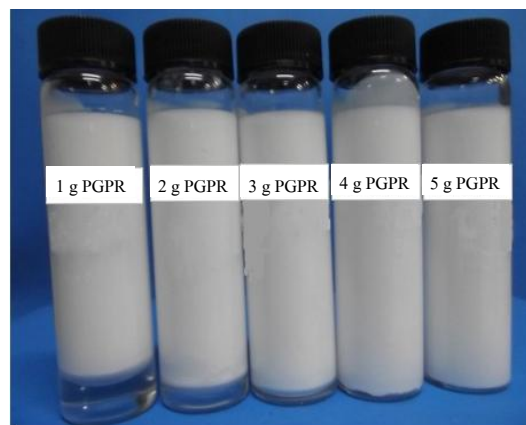
จากผลการทดลองข้างต้นได้ทำการคัดเลือก PGPR เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้เตรียมอิมัลชันเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน โดยทำการเตรียมอิมัลชัน โดยการผสมสารละลายปรงร้อยละ 50 กับ น้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 50 โดยการผสม PGPR กับ น้ำมันถั่วเหลือง ที่ปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม ทำการตรวจสอบความคงตัวโดยวัด

การตกตะกอนของครีโอล์น้ำ วัตถุประสงค์การกระจายตัวและขนาดของอนุภาคและวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค

ผลการทดสอบความคงตัวพบว่าอิมัลชันที่เตรียมโดยใช้ PGPR ที่ปริมาณ 2, 3, 4 และ 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม หลังจากเก็บไว้นาน 24 ชั่วโมง มีความคงตัวไม่มีการแยกชั้นหรือตกตะกอนของ ครีโอล์น้ำ ยกเว้นที่ปริมาณ 1 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม เกิดการตกตะกอนของครีโอล์น้ำ เมื่อเก็บอิมัลชันไว้นาน 15 วัน พบว่าที่ปริมาณ 2 – 4 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม ไม่มีความคงตัว ยกเว้น ที่ปริมาณ 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม (ภาพที่ 12) ซึ่งการตกตะกอนของครีโอล์น้ำนั้นเกิดขึ้นมากเรียงตามลำดับของความเข้มข้นของ PGPR จากความเข้มข้นต่ำไปสูง โดยอิมัลชันที่ใช้ PGPR ปริมาณ 3 และ 4 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม นั้น เริ่มมีหยดครีโอล์ของน้ำเกาะที่ด้านข้างของหลอดและในที่สุดจะตกตะกอนสู่ก้นหลอดเมื่อระยะเวลา 5 วัน และ 15 วัน ตามลำดับ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 12 อิมัลชันน้ำในน้ำมันที่ทำให้คงตัวด้วย PGPR ปริมาณ 1- 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม หลังเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 1 วัน และ (ข) 15 วัน

ผลของความเข้มข้นของ PGPR ต่อขนาดของครีโอล์น้ำพบว่า ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยเล็กลงเมื่อความเข้มข้นของ PGPR เพิ่มขึ้น ดังแสดงผลในตารางที่ 4 สอดคล้องกับการศึกษาของ Su (2008) ที่ทำการศึกษาผลของ PGPR ต่อขนาดครีโอล์ในอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันที่ใช้ไขมันถั่วเหลืองร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ซึ่งรายงานไว้ว่า ความเข้มข้นของ PGPR ที่ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก สามารถให้ขนาดอนุภาคครีโอล์ที่ต่ำกว่า $1\ \mu\text{m}$ และให้ประสิทธิภาพของความคงตัวสูงสุดเมื่อผลิตเป็นอิมัลชันเชิงซ้อน ในการทดลองนี้ทำการผลิตอิมัลชันน้ำในน้ำมันที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 50 พบว่า ปริมาณของ PGPR 4 และ 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม สามารถให้อนุภาคครีโอล์ที่ต่ำกว่า $1\ \mu\text{m}$ ($0.90\ \mu\text{m}$ และ $0.85\ \mu\text{m}$ ตามลำดับ)

ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับลักษณะ โครงสร้างของอิมัลชันที่วิเคราะห์ได้จากกล้องจุลทรรศน์ (ภาพที่ 14) โดยพบว่าที่ปริมาณของ PGPR 1, 2 และ 3 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม นั้น จะมีครีโอลีที่ขนาดใหญ่ปนอยู่มาก และเมื่อพิจารณาการกระจายของขนาดอนุภาค (ภาพที่ 13) แล้วพบว่ามิลักษณะการกระจายตัวของ ขนาดครีโอลีที่เป็นแบบ polymodal distribution และมีขนาดครีโอลีที่มีขนาดหลากหลายไม่สม่ำเสมอหรือเป็นรูปแบบของ polydispersion ในขณะที่ปริมาณของ PGPR 4 และ 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม มีลักษณะการกระจายตัวของขนาดครีโอลีที่เป็นแบบ monomodal distribution และมีการกระจายตัวของขนาดครีโอลีที่ต่ำกว่าและมี polydispersion ต่ำกว่า ทำให้มีความสม่ำเสมอของขนาดครีโอลีมากกว่า การที่มีการกระจายของขนาดครีโอลีที่มาก ซึ่งการมีลักษณะการกระจายตัวของขนาดครีโอลีแบบ polydispersion สูงนั้นจะทำให้อิมัลชันมีความคงตัวต่ำกว่าการกระจายของครีโอลีแบบ monodispersion (McClement, 1999) และเมื่อพิจารณาการกระจายขนาดของครีโอลีของอิมัลชันที่ใช้ PGPR เพิ่มขึ้น 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม โดยน้ำหนักจะพบว่ามีปริมาณของขนาดครีโอลีที่ต่ำกว่า $1\mu\text{m}$ อยู่มากกว่าที่ 4 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม และนอกจากนี้ยังมีความเป็น monodispersion มากกว่า ดังนั้นจึงพบว่าปริมาณของ PGPR ที่ 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม สามารถให้ความคงตัวสูงกว่า 4 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม

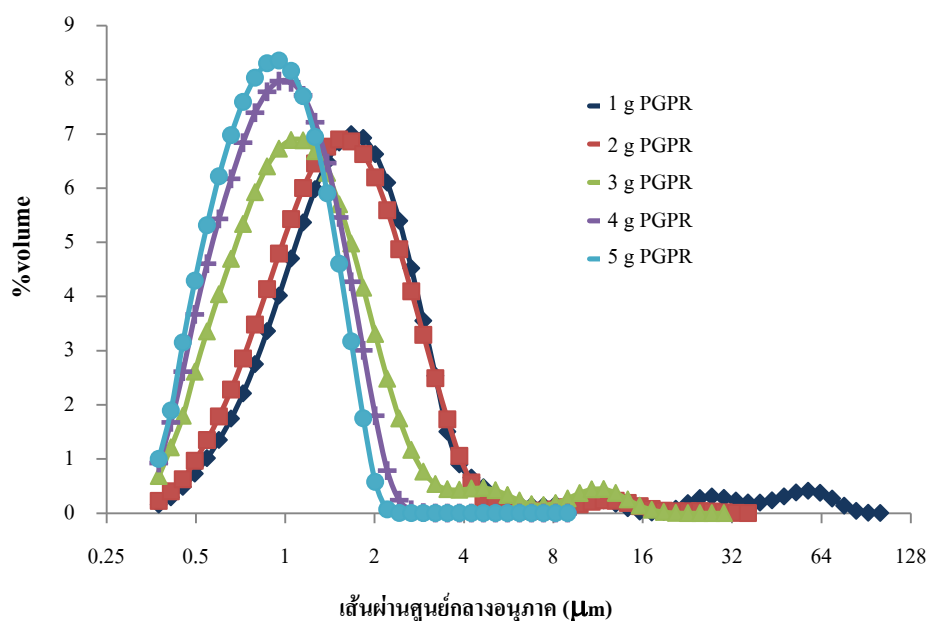
โดยทั่วไปการเตรียมอิมัลชันละเอียดด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์นั้นจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ที่มีความสำคัญคือ (1) การแตกตัวของออกเป็นครีโอลีเล็กๆ ที่โดยทั่วไปจะมีขนาดเท่าๆ กัน (Su, 2008) และ (2) เกิดการรวมกันของครีโอลีที่แตกออกโดยอาจเกิดจาก oswald ripening, flocculation หรือ coalescence ทั้งสองขั้นตอนจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันระหว่างกระบวนการโฮโมจิไนซ์ ขนาดของครีโอลีในระบบอิมัลชันจึงเป็นตัวบ่งชี้ความสมดุลระหว่างการแตกตัวและการรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน (Jafari และคณะ, 2007) สารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารให้ความคงตัวจะมีบทบาทสำคัญในระหว่างกระบวนการโฮโมจิไนซ์ กล่าวคือสารดังกล่าวจะไปดูดซับบนผิวครีโอลีใหม่ที่เกิดขึ้น สารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารให้ความคงตัวเป็นตัวกำหนดขนาดของครีโอลีและความคงตัวของอิมัลชัน หากความเข้มข้นของสารอิมัลซิไฟเออร์มีเพียงพอต่อการห่อหุ้มครีโอลีที่เกิดใหม่ ก็จะทำให้ครีโอลีมีขนาดเล็ก ลดการหลอมรวมกันของครีโอลี และการที่มีความเข้มข้นของสารอิมัลซิไฟเออร์ในปริมาณที่เพียงพอ ทำให้อิมัลชันมีความคงตัว ซึ่งการทดลองพบว่าเมื่อใช้ปริมาณของ PGPR ที่ 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม ให้ความคงตัวต่อระบบอิมัลชันที่ยาวนานกว่า 15 วัน โดยไม่พบการเกิดการตกตะกอนของครีโอลีน้ำ

ตารางที่ 4 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($D_{3,2}$) ของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันที่เตรียมโดยใช้ PGPR เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ปริมาณ 1-5 กรัม ต่ออิมัลชัน 100 กรัม

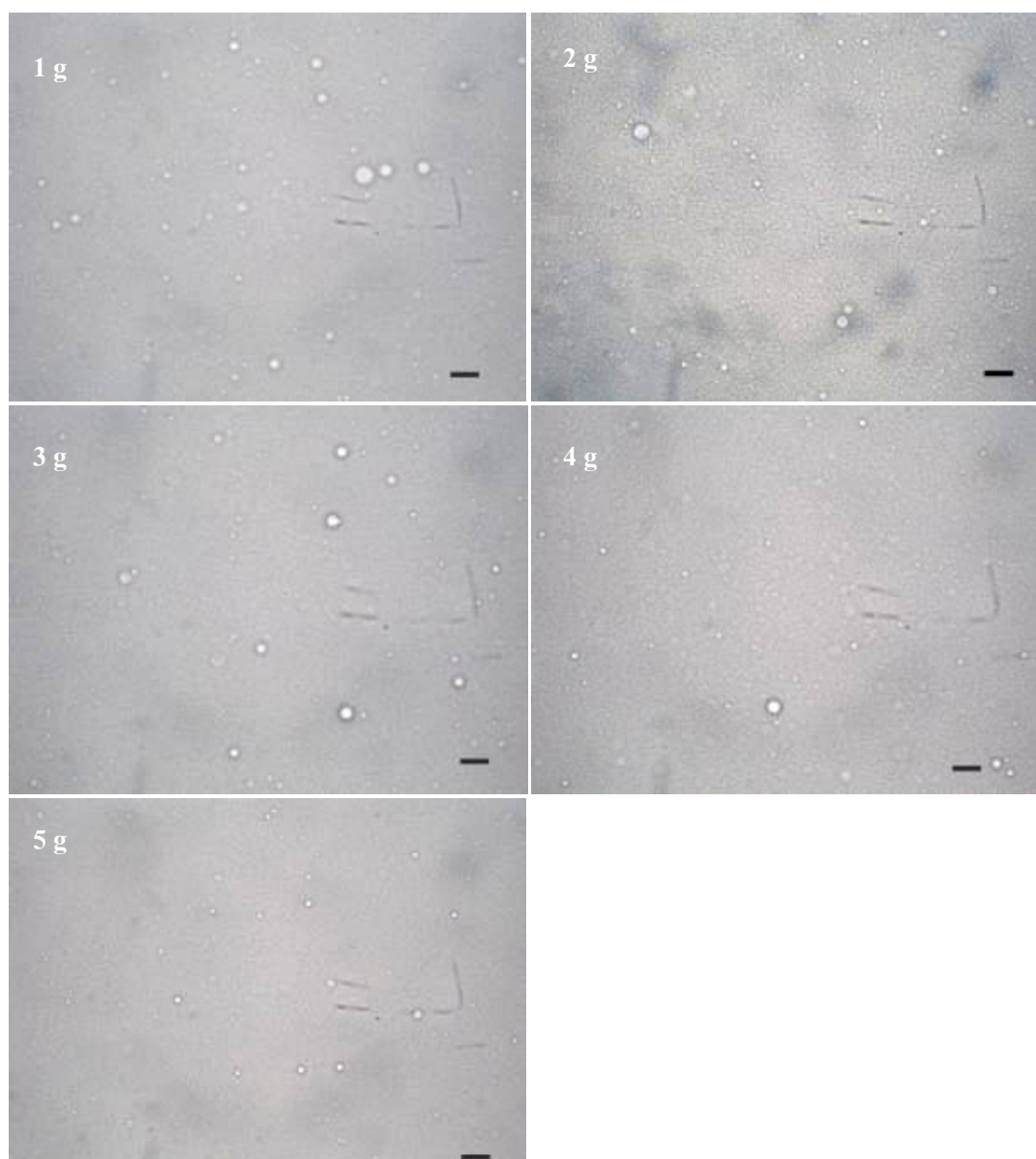
ปริมาณ (กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย $D_{3,2}$ (μm)
1	1.69 ± 0.29^a
2	1.38 ± 0.02^b
3	1.04 ± 0.05^c
4	0.90 ± 0.01^c
5	0.85 ± 0.01^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวเลขหลังเครื่องหมาย แสดงค่า Standard deviation จากการทดลอง 3 ซ้ำการทดลอง



ภาพที่ 13 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่รูปเล็ทน้ำของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันที่เตรียมโดยใช้ PGPR เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ปริมาณ 1-5 กรัม ต่ออิมัลชัน 100 กรัม เมื่อเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



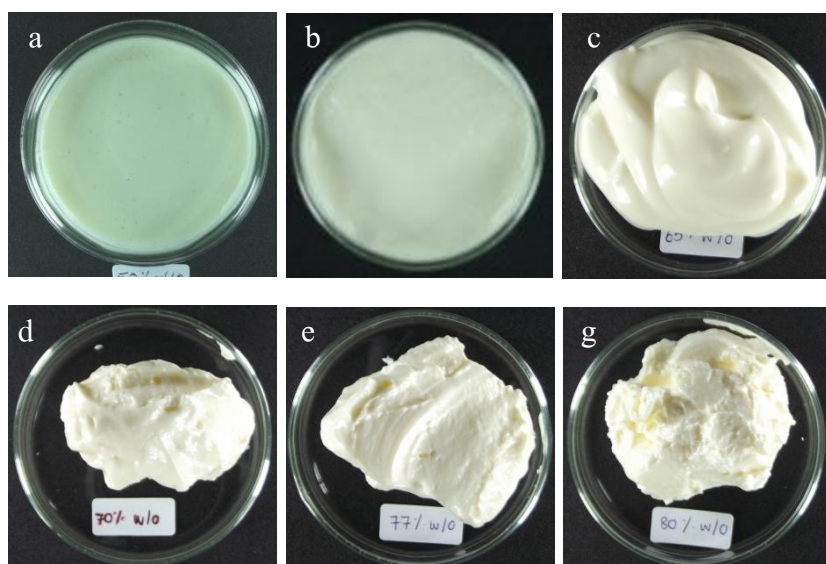
ภาพที่ 14 ลักษณะโครงสร้างของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า และเจือจางด้วย mineral oil 100 เท่า ที่เตรียมโดยใช้ PGPR เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ปริมาณ 1-5 กรัม ต่ออิมัลชัน 100 กรัม เมื่อเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สเกลบาร์เท่ากับ 10 μm

4.3 ผลการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ

4.3.1 ผลของสัดส่วนปริมาตรวัฏภาคอิมัลชันชั้นใน (primary emulsion) ต่อความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ

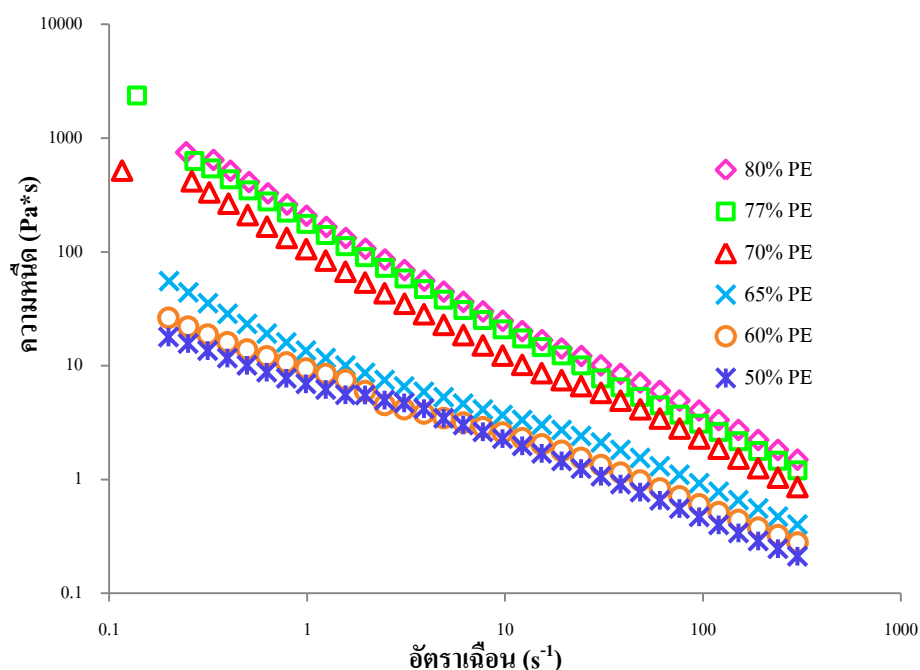
การทดลองนี้ทำการศึกษาโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน (PGPR 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม และน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก) ร้อยละ 50-80 โดยน้ำหนัก ต่อความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน และเพื่อคัดเลือกปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวในการผลิตเป็นมายองเนส โดยการใช้ไข่แดงพาสเจอร์ไรซ์ร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำการตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชัน วัดการกระจายตัวและขนาดของอนุภาค วิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค ค่าความหนืด จากนั้นทำการคัดเลือกปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวที่ทำให้ได้มายองเนสมีคุณภาพที่ได้รับการยอมรับด้านประสาทสัมผัส ด้วยการให้สเกลความชอบ 9 จุด (9-point hedonic scaling) ประเมินความชอบด้าน ลักษณะปรากฏ (appearance) กลิ่น (aroma) รสชาติ (taste) ความมัน (creaminess) ความหนืด ความเรียบเนียนของเนื้อมายองเนส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

เมื่อทำการเตรียมมายองเนสอิมัลชันเชิงซ้อนด้วยปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50, 60, 65, 70, 77 และ 80 โดยน้ำหนัก เก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพเบื้องต้น พบว่า มายองเนสที่เตรียมโดยใช้อิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50 และร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก มีลักษณะของเนื้ออิมัลชันเชิงซ้อนที่เป็นของเหลว มีความข้นหนืดต่ำ ไม่สามารถตักแล้วอยู่ตัวบนช้อนได้ ซึ่งไม่ตรงกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มายองเนส และที่อิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 65-80 โดยน้ำหนัก พบว่า เนื้อของอิมัลชันเชิงซ้อนที่ได้ มีความข้น อยู่ตัว สามารถตักแล้วอยู่ตัวบนช้อนได้ แต่พบว่าหากมีปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวสูงมากเช่น ร้อยละ 77 และร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก เนื้อของอิมัลชันที่ได้จะมีลักษณะหยาบ เหนอะ ไม่เรียบเนียนและไม่มีความวาว (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ลักษณะปรากฏและความอยู่ตัวของเนื้ออิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำเมื่อเตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ (a) 50 (b) 60 (c) 65 (d) 70 (e) 77 (f) 80 โดยน้ำหนัก

ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบพฤติกรรมการไหล (ภาพที่ 16) ที่พบว่า ความหนืดของมายองเนส จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อสัดส่วนของอิมัลชันเชิงเดี่ยวเพิ่มขึ้น และยังพบว่าค่าความหนืดนั้นเป็นฟังก์ชันของอัตราเฉือน มีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นการแสดงออกของสมบัติของไหลที่เรียกว่า shear-thinning ซึ่งของไหลที่มีคุณสมบัติการไหลดังกล่าวนี้เรียกว่าเป็นของไหลประเภท ชูโดพลาสติก (McClements, 1999; Rao, 1999) และพบว่าอิมัลชันเชิงซ้อนนั้นมีพฤติกรรมการไหลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความหนืดสูงมาก ประกอบด้วย อิมัลชันที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 70, 77 และ 80 โดยน้ำหนัก และกลุ่มที่มีความหนืดต่ำ ที่ประกอบด้วยอิมัลชันที่เตรียมโดยใช้ปริมาณ อิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50, 60 และร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก ซึ่งกลุ่มที่มีความหนืดสูงนั้นจะมีลักษณะปรากฏที่มีเนื้อของมายองเนสเป็นครีมข้นและความอยู่ตัวสูง (ดังแสดงในภาพที่ 15) และจากรายงานความหนืดโดยทั่วไปของมายองเนสนั้นอยู่ที่ประมาณ 5000 – 40,000 cP (5 – 40 Pa*s) ที่อุณหภูมิ 70 องศาฟาเรนไฮต์ (OEC Fluid Handling, 2008) ดังนั้นอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 70, 77 และ 80 โดยน้ำหนัก จึงเหมาะสมสำหรับการนำไปเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์มายองเนส

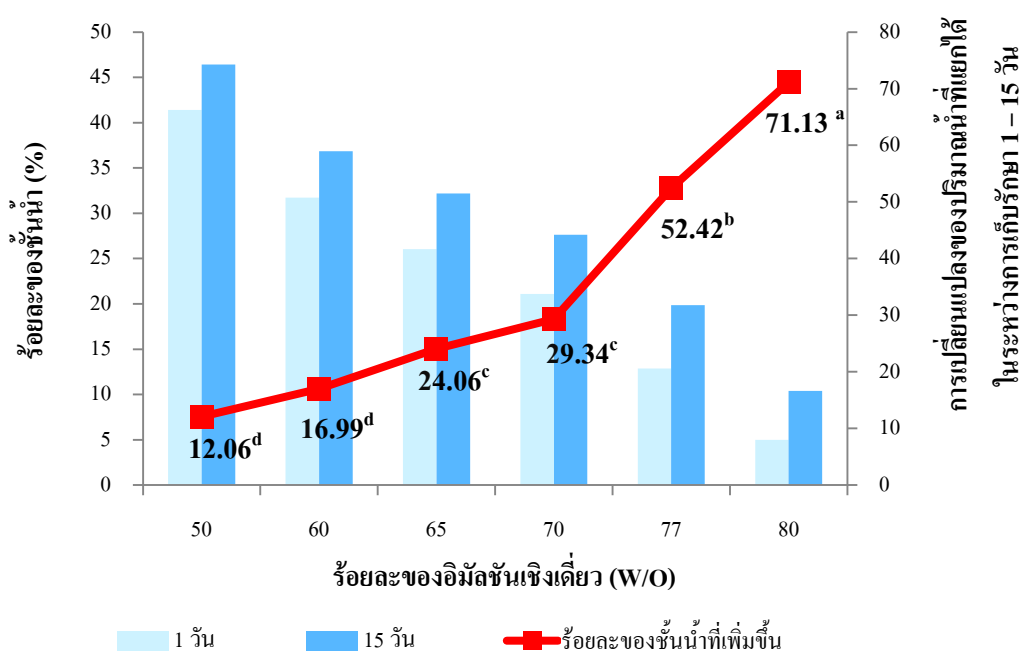


ภาพที่ 16 ความหนืดของมาของเนสลดไขมันที่เตรียมโดยปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยว ร้อยละ 50-80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดย %PE หมายถึงร้อยละของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิด W/O ที่อยู่ชั้นในของอิมัลชันเชิงซ้อน

การเป็นครีมชั้นของเนื้อมาของเนสอิมัลชันเชิงซ้อนนั้นเกิดจากการมีส่วนประกอบของครีโอลีทเชิงซ้อน (อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันที่แตกตัวเป็น globule ซึ่งภายในนั้นจะมีครีโอลีทน้ำเป็นวัฏภาคกระจาย) จำนวนมาก ยังมีปริมาณครีโอลีทเชิงซ้อนมากจะทำให้ครีโอลีทแต่ละครีโอลีทนั้นอยู่ใกล้กันมาก ทำให้จัดเรียงตัวได้ชิดกัน (closely packed) มากขึ้นและมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันโดยรอบครีโอลีทเชิงซ้อน ด้วยการผสมผสานระหว่างปฏิสัมพันธ์คอลลอยด์ (colloidal interactions) และ hydrodynamic เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ ทำให้ความหนืดนั้นเพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนของปริมาณครีโอลีทที่เพิ่มมากขึ้น (McClement, 1999; Pal, 2011) ดังนั้นเหตุที่อิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดยปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวที่ร้อยละ 50, 60 และ 65 โดยน้ำหนักนั้น มีความเป็นครีมชั้นต่ำอาจเนื่องจาก มีสัดส่วนของปริมาณของครีโอลีทเชิงซ้อน ต่ำกว่าค่าวิกฤตของการจัดเรียงอนุภาคแบบ close packing จึงไม่เกิดโครงสร้างของร่างแห ลักษณะเนื้ออิมัลชันที่ได้จึงมีความเป็นครีมชั้นต่ำ

เมื่อพิจารณาผลด้านความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดยใช้อิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมัน ที่ความเข้มข้นต่างๆ (ภาพที่ 17) จะเห็นได้ว่าเมื่อเก็บอิมัลชันเชิงซ้อนไว้เป็นเวลา 15 วัน ที่ อุณหภูมิ

30 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำที่ได้จากการแยกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงจะเพิ่มสูงขึ้นจาก 1 วัน หลังจากการเตรียม และการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่แยกได้นั้น พบว่า อิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวสูงมาก (ร้อยละ 77 และ 80 โดยน้ำหนัก) จะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำเร็วกว่าอิมัลชันที่เตรียมโดยใช้ปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวต่ำ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในระหว่างการเก็บรักษา 15 วันนั้น เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยว จึงอาจสรุปได้ว่าอิมัลชันเชิงซ้อนที่ใช้สัดส่วนของอิมัลชันเชิงเดี่ยวสูงมากในการเตรียมนั้น จะมีความคงตัวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Csóka และ Erős (1997) ที่รายงานว่าเมื่อปริมาณของอิมัลชันชั้นในเพิ่มขึ้นจะทำให้ความคงตัวในระบบของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากครีโอล์ที่เชิงซ้อนจะแตกตัวเร็วขึ้น



ภาพที่ 17 ร้อยละของการแยกชั้นและร้อยละของการเพิ่มขึ้นของชั้นน้ำ ในอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50 – 80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บไว้ 1 วัน และ 15 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เหตุที่อิมัลชันเชิงซ้อนมีความคงตัวต่ำลงเมื่อสัดส่วนของอิมัลชันเชิงเดี่ยวเพิ่มมากขึ้นอาจเกิดจากการมีขนาดครีโอล์ที่เชิงซ้อนที่ใหญ่ขึ้นตามปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวที่เพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 5) ทั้งนี้เนื่องจากการที่ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวที่สูงขึ้น ปริมาณของไข่แดงที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์เพียงชนิดเดียวอาจมีไม่มากพอที่จะหุ้มและสร้างชั้นผิวสัมผัสร่วมที่แข็งแรงรอบอนุภาคน้ำมัน จึงทำให้เกิดการรวมกันของครีโอล์ที่เชิงซ้อนได้เป็นอนุภาคนาขนาดใหญ่ขึ้นและมีลักษณะการกระจายตัวของขนาดครีโอล์ที่เชิงซ้อน

เป็นแบบ polymodal distribution ทำให้ครีโอลีตมีขนาดหลากหลายไม่สม่ำเสมอ ดังภาพที่ 18 นอกจากนี้ อาจเกิดจากการแตกของครีโอลีตเชิงซ้อนที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของอิมัลชันเชิงเดี่ยวสูงมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการมีชั้นของน้ำมันที่บางมากกว่าอันเนื่องมาจากมีปริมาณของครีโอลีตน้ำที่บรรจุอยู่ภายในมาก จนเกินไปทำให้มีขนาดครีโอลีตใหญ่และมีผนังบางทำให้เกิดการแตกของครีโอลีตได้ง่ายกว่า ซึ่งเมื่อพิจารณาประกอบกับลักษณะของโครงสร้างอนุภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (ภาพที่ 19) จะเห็นได้ว่าอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดยปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 77 และ 80 โดยน้ำหนักมีการแตกของผนังน้ำมัน ทำให้ครีโอลีตน้ำรั่วออกสู่ภายนอก และเกิดการรวมกันของครีโอลีตน้ำมัน ซึ่งสังเกตได้จากการมีครีโอลีตน้ำมันกระจายอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่องในปริมาณสูงมากกว่าในอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมใช้โดยปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวต่ำกว่า

ตารางที่ 5 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย $D_{3,2}$ ของอิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W ที่เตรียมโดยใช้ ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยว ชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O emulsion) ร้อยละ 50 – 80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

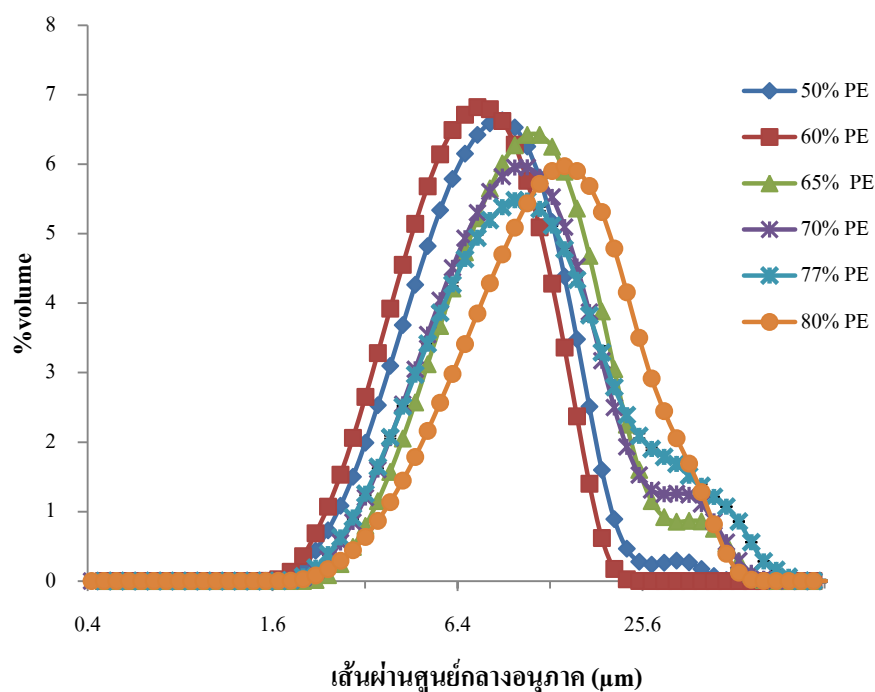
ความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ขนาดอนุภาค $D_{3,2}$ (μm)
50	5.54 ± 0.08^a
60	5.57 ± 0.11^a
65	7.10 ± 0.99^b
70	7.28 ± 0.79^b
77	9.03 ± 0.43^c
80	9.25 ± 0.32^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

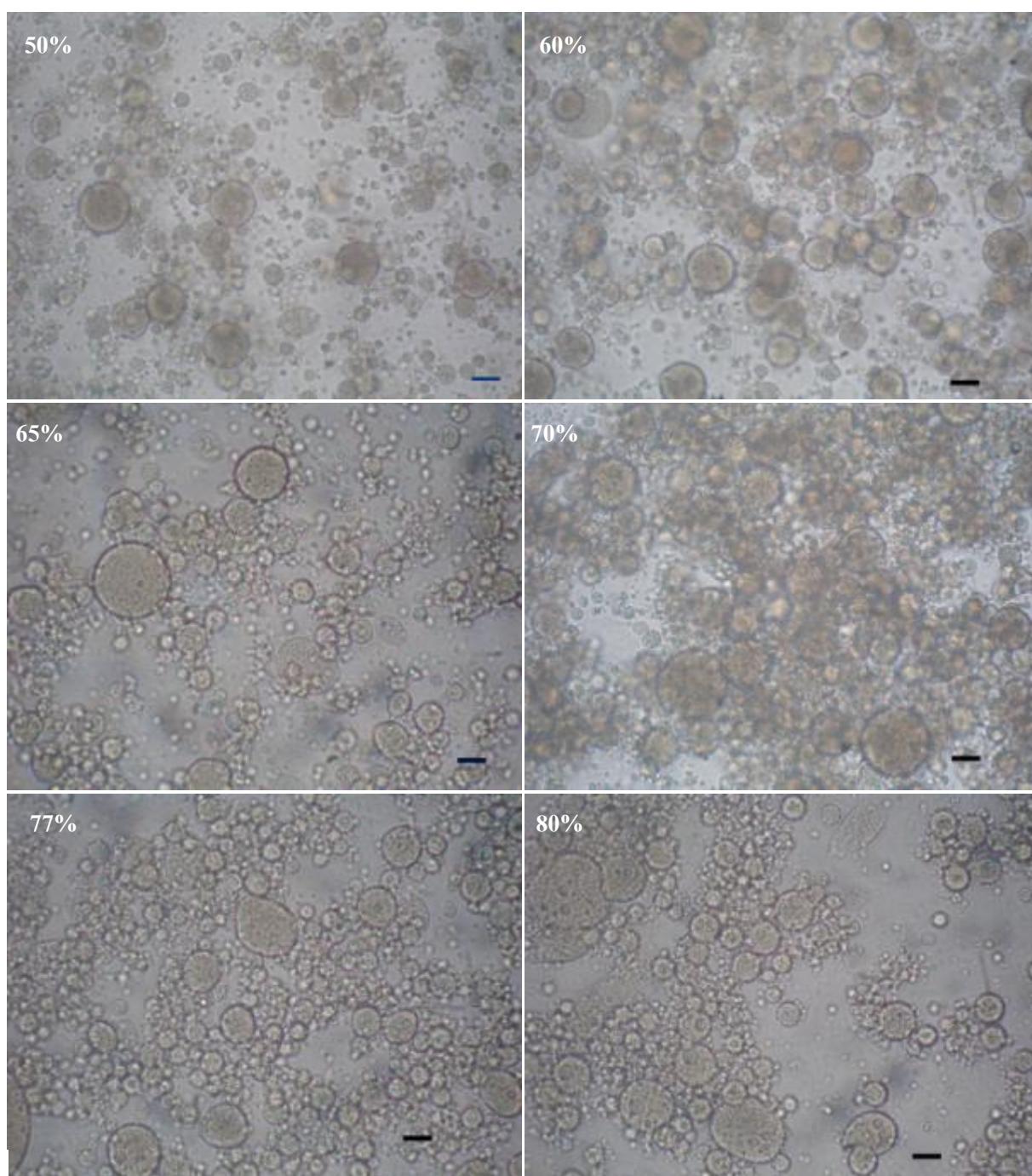
ตัวเลขหลังเครื่องหมาย แสดงค่า Standard deviation จากการทดลอง 3 ซ้ำการทดลอง

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือน (ภาพที่ 16) ยังพบว่าอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดยใช้ปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวสูงนั้นมีการลดลงของความหนืดอย่างรวดเร็วที่อัตราเฉือนต่ำ นั่นอาจเป็นเพราะว่าขนาดครีโอลีตเชิงซ้อนมีขนาดใหญ่ขึ้น การเพิ่มขึ้นของขนาดครีโอลีตมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของครีโอลีตได้มากขึ้น (Derkach, 2009) เนื่องจากการมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น

ส่งผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่มากขึ้นตามกฎของสโตกส์ (Stoke's law) หากครีโอลีที่มีการเคลื่อนที่ได้มากขึ้นจะทำให้ความคงตัวของระบบอิมัลชันต่ำลงอันเนื่องมาจากการเพิ่มโอกาสของการรวมกันและการแยกชั้นในที่สุด



ภาพที่ 18 การกระจายตัวของขนาดครีโอลีที่แข็งตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W ที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50-80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดย %PE หมายถึงร้อยละของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิด W/O ที่อยู่ชั้นในของอิมัลชันเชิงซ้อน



ภาพที่ 19 ลักษณะโครงสร้างของอิมัลชันเชิงซ้อนที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า เจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า ที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50-80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สเกลบาร์เท่ากับ 10 μm

ดังนั้นจากการทดสอบทางกายภาพ พฤติกรรมการไหลและความหนืด การวิเคราะห์โครงสร้าง และความคงตัว สรุปได้ว่า การเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดเข้มข้นของผลิตภัณฑ์มายองเนส ควรเตรียมโดยใช้ปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยว ร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก จึงจะได้เนื้ออิมัลชันที่เป็นครีมข้นและความคงตัวสูง แต่ทั้งนี้ ควรพิจารณาคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสมาใช้ในการคัดเลือกสัดส่วนของปริมาณวัตถุดิบอิมัลชันชั้นในด้วย

4.3.2 ผลต่อคุณภาพประสาทสัมผัสของสัดส่วนปริมาณวัตถุดิบอิมัลชันชั้นใน

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้คัดเลือกเฉพาะสูตรที่ทำให้ได้มายองเนสที่สามารถตักปาดบนชิ้นอาหารได้ ได้แก่สูตรที่มีปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยว ร้อยละ 65, 70, 77 และ 80 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวมีผลต่อคะแนนความชอบโดยรวม โดยเมื่อปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวมากเกินไปส่งผลให้คะแนนความชอบลดลง ดังแสดงในตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวสูงมาก (ร้อยละ 80) มายองเนสได้รับคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ต่ำกว่า ที่ร้อยละ 65, 70 และ 77 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นคุณลักษณะด้านกลิ่น ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวที่ร้อยละ 65 และร้อยละ 70 พบว่ามายองเนสได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยและคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้นคุณลักษณะด้านความข้นหนืด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลคะแนนความชอบด้านคุณลักษณะต่างๆ (ตารางที่ 6) จะเห็นว่ามายองเนส ที่มีปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ได้รับคะแนนความชอบด้านความข้นหนืดสูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากความข้นหนืดส่งผลต่อการรับรู้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสภายในปาก ทำให้รับรู้กลิ่นรส และรสชาติของอาหารได้น้อยลง ทำให้ความรวดเร็วของการแตกกระจายตัวของอาหารภายในปากลดน้อยลง (Arancibia และคณะ, 2011) นอกจากนี้ความข้นหนืดของอิมัลชันยังส่งผลต่อการรับรู้คุณลักษณะความมันของอิมัลชันได้มากขึ้น (Akhtar และคณะ, 2005) การรับรู้ความมันที่มากเกินไปนั้นส่งผลต่อความรู้สึกในปาก (Arancibia และคณะ, 2011) ความรู้สึกความเป็นไขมันตกค้างภายในปาก (mouth coating) ที่มากเกินไปอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้คะแนนความชอบมายองเนสที่มีปริมาณของอิมัลชันเชิงเดี่ยวที่มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก นั้นลดน้อยลง

ตารางที่ 6 คะแนนความชอบด้านต่างๆ ของอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 65 – 80 โดยน้ำหนัก หลังจากเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยว (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)			
	65	70	77	80
ความชอบโดยรวม	5.98 ^{ab}	6.34 ^a	5.64 ^b	4.30 ^c
ลักษณะปรากฏ	6.16 ^{ab}	6.38 ^a	5.70 ^b	4.10 ^c
ความข้นหนืด	5.78 ^b	6.56 ^a	5.86 ^b	4.32 ^c
ความเรียบเนียน	6.66 ^a	6.36 ^a	6.36 ^a	4.62 ^b
ความมัน	6.24 ^a	6.44 ^a	5.60 ^b	4.82 ^c
กลิ่น	5.84 ^a	6.06 ^a	5.32 ^b	5.38 ^b
รสชาติ	5.98 ^{ab}	6.26 ^a	5.54 ^b	4.60 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเดียวกันในแนวนอน

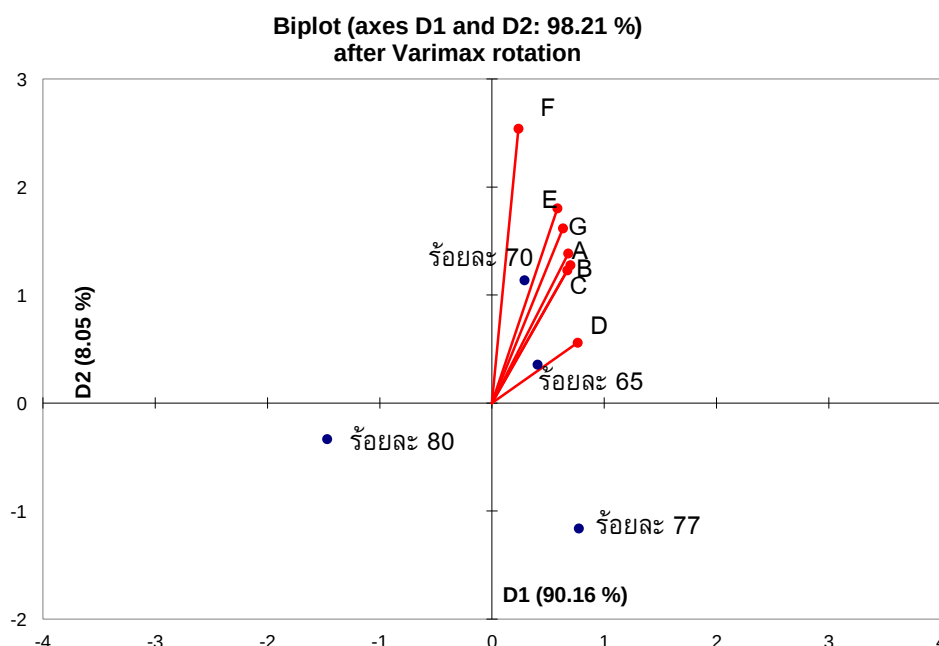
จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของมายองเนสลดไขมัน (ตารางที่ 7) พบว่า คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ส่งผลต่อคะแนนความชอบโดยรวมได้แก่ ความชอบด้านคุณลักษณะปรากฏ ความข้นหนืด ความมันและรสชาติ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณลักษณะของมายองเนสลดไขมัน

คุณลักษณะ	ความชอบโดยรวม	ลักษณะปรากฏ	ความข้นหนืด	ความเรียบเนียน	ความมัน	กลิ่น	รสชาติ
ความชอบโดยรวม	1						
ลักษณะปรากฏ	0.996	1					
ความข้นหนืด	0.973	0.953	1				
ความเรียบเนียน	0.917	0.947	0.852	1			
ความมัน	0.972	0.969	0.908	0.859	1		
กลิ่น	0.746	0.718	0.675	0.494	0.867	1	
รสชาติ	0.993	0.988	0.951	0.888	0.992	0.814	1

หมายเหตุ: ค่าสหสัมพันธ์ที่แสดงเป็นตัวหนาหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบปัจจัย (principal component analysis) เพื่อจำแนกกลุ่มของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆกับสัดส่วนของอิมัลชันเชิงเดี่ยว (ร้อยละ 65–80 โดยน้ำหนัก) ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 20 จะเห็นว่ากลุ่มของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ความชอบโดยรวม คุณลักษณะปรากฏ ความขื่นหนืด ความมัน ความเรียบเนียนและรสชาติ มีความสัมพันธ์กับตัวอย่างมาของเนสที่มีสัดส่วนของอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ซึ่งได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ดังนั้นปริมาณสัดส่วนของวิทยาศาสตร์ในหรืออิมัลชันเชิงเดี่ยวในน้ำมันที่ร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์มาของเนสลดไขมันด้วยระบบอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำ



ภาพที่ 20 แผนภาพจากการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย PCA โดยค่าสังเกตคือปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 65–80 โดยน้ำหนัก อักษรย่อแทนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ โดย (A) คือ ความชอบโดยรวม (B) คือ ลักษณะปรากฏ (C) คือ ความขื่นหนืด (D) คือ ความเรียบเนียน (E) คือ ความมัน (F) คือ กลิ่น และ (F) คือ รสชาติ

4.4 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ต่อความคงตัวของมายองเนสโดยการเปรียบเทียบมายองเนสไขมันเต็มและมายองเนสลดไขมันด้วยอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ

การทดลองศึกษาผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะ 30 องศาเซลเซียส ของ มายองเนสลดไขมันที่เตรียมโดยอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีปริมาตรวัตถุดิบอิมัลชันชั้นในร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก และทำการศึกษาเปรียบเทียบกับมายองเนสสูตรที่มีไขมันปกติ (ร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก) ทำการวิเคราะห์ค่าทางเคมีเบื้องต้นได้แก่ ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) และค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (Aw) ความคงตัวของอิมัลชัน วัดการกระจายตัวและขนาดของอนุภาค วิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค ค่าความหนืดและพฤติกรรมทางวิทยากระแส

จากข้อมูลทางเคมีเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า มายองเนสลดไขมันด้วยอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ มีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถลดไขมันจากมายองเนสไขมันเต็มได้ประมาณร้อยละ 49 และมีคุณสมบัติเคมีด้านค่า pH และค่า Aw ที่อยู่ในช่วงเดียวกันกับมายองเนสไขมันเต็ม ซึ่งตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1402-2540 ที่กล่าว มายองเนสควรมีสภาวะ pH ไม่เกิน 4.1 โดยพบว่ามายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน (Reduced Fat, RF) มีค่า pH ต่ำกว่า มายองเนสสูตรไขมันเต็ม และมีค่า Aw สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการมีองค์ประกอบของปริมาณน้ำในส่วนผสมที่มากกว่า ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระสูงกว่า จึงทำให้ค่า Aw มีค่าสูงกว่า รวมถึงการมีน้ำอิสระที่มากกว่าทำให้ระบบมีความสามารถในการแตกตัวให้โปรตอนสูงกว่า จึงทำให้มีค่า pH ต่ำ (สุมนธา, 2545) ซึ่งสภาวะ pH และ Aw ของมายองเนสนั้น มีผลทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในมายองเนสได้ อาหารที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4.1 และค่า Aw ต่ำกว่า 0.8 นั้นมีสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้หรือเติบโตได้ช้า (วิลโล, 2547) ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ (total plate count, TPC) และการเจริญของยีสต์และเชื้อรา (yeast and mold count) พบว่า ไม่มีการเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา ในมายองเนสทั้งสองชนิด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 8 สมบัติทางเคมีของมายองเนสไขมันเต็มและมายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน

ทริทเมนต์	ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (Aw)	ร้อยละของ ไขมัน (%w/w)
มายองเนสไขมันเต็ม	3.88±0.10	0.70±0.01	78.83±0.06
มายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน	3.80±0.10	0.78±0.01	40.17±0.19

หมายเหตุ: ตัวเลขหลังเครื่องหมาย แสดงค่า Standard deviation จากการวิเคราะห์ข้อมูล 3 ซ้ำ

เมื่อทำการทดสอบความคงตัว พบว่าดัชนีความคงตัวของมายองเนสลดไขมันมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากกว่า 15 วัน ขณะที่มายองเนสไขมันเต็มนั้นมีการลดลงของค่าดัชนีความคงตัวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานาน 45 และ 60 วัน ดังแสดงในตารางที่ 9 ทั้งนี้การลดลงของค่าดัชนีความคงตัวของมายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแยกน้ำด้วยการเหวี่ยงที่ 14,000 รอบต่อนาที ได้ปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการแตกของครีโอลีทเชิงซ้อนที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่ครีโอลีทเชิงซ้อนทำให้ครีโอลีทพวมเต่งและแตกง่าย ไม่ทนต่อแรงเหวี่ยงแยก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (ตารางที่ 10) ที่พบว่า ขนาดของอนุภาคเชิงซ้อนมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานมากกว่า 15 วัน

ตารางที่ 9 ดัชนีความคงตัวต่อการเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 14,000 รอบต่อนาทีของมายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน (RF) และมายองเนสไขมันเต็ม (FF) ระหว่างการเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บ รักษา	ดัชนีความคงตัวต่อการเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องปั่น เหวี่ยงที่ 14,000 รอบต่อนาที	
	RF	FF
1 วัน	78.14±0.75 ^a	88.00±1.14 ^a
5 วัน	77.63±1.63 ^a	87.82±1.24 ^a
15 วัน	73.06±0.90 ^b	88.02±0.61 ^a
30 วัน	61.15±1.33 ^c	86.82±3.29 ^a
45 วัน	56.80±1.42 ^d	83.83±1.04 ^b
60 วัน	56.02±0.72 ^d	80.93±1.84 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

ตัวเลขหลังเครื่องหมาย แสดงค่า Standard deviation จากการทดลอง 3 ซ้ำการทดลอง

การเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาคเชิงซ้อนนั้นอาจเกิดจากหลายสาเหตุด้วยกัน Geiger และคณะ (1998) ศึกษาการแตกของครีโอลีทอิมัลชันเชิงซ้อน พบว่า ในสภาวะที่ความดันออสโมติกของภูมิภาคต่อเนื่องต่ำกว่าครีโอลีทเชิงซ้อนจะเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่ครีโอลีท แสดงให้เห็นว่า อิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำของมายองเนสลดไขมัน มีการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายนอกเข้าสู่

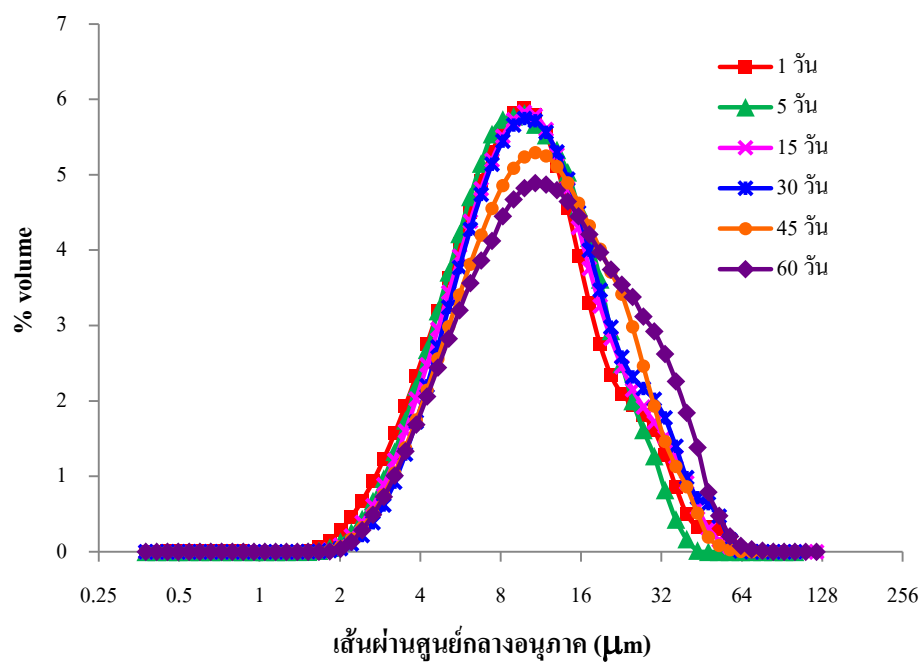
ภายในครีโอลีทเชิงซ้อน ก่อให้เกิดการรวม ส่งผลให้มีครีโอลีทเชิงซ้อนมีขนาดใหญ่ขึ้นและนอกจากนี้อาจเกิดจากการรวมกันของครีโอลีทเชิงซ้อนผ่านกลไก coalescence จึงทำให้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่สูงขึ้น (Vasiljević และคณะ, 2009) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกันทั้งในมายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อนและมายองเนสไขมัน ดังผลการทดลองในตารางที่ 10 และสอดคล้องลักษณะการกระจายของขนาดอนุภาค (แสดงในภาพที่ 21 และ 22) โดยขนาดอนุภาคเฉลี่ยจะมีการกระจายแบบเบ้ซ้าย เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคนั้นเพิ่มขึ้นและมีการกระจายของขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่มากขึ้นเป็นหลายช่วงขนาด

ตารางที่ 10 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($D_{3,2}$) ของมายองเนสลดไขมัน (RF) และมายองเนสไขมันเต็ม (FF) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ

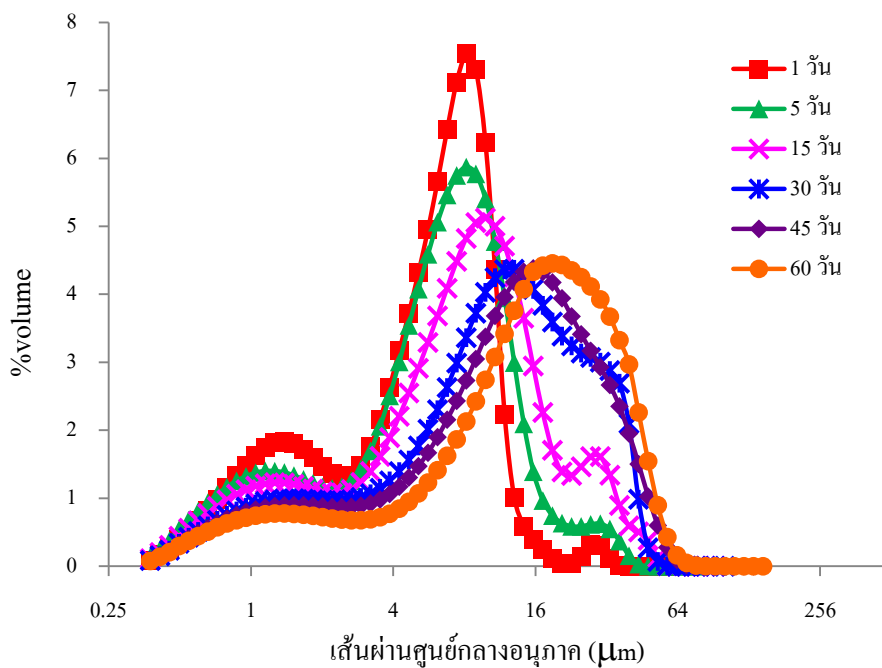
เวลาการเก็บรักษา	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย $D_{3,2}$ (μm)	
	RF	FF
1 วัน	8.072±0.47 ^a	3.095±0.41 ^a
5 วัน	8.435±0.34 ^{ab}	3.250±0.54 ^a
15 วัน	8.850±0.12 ^b	3.717±0.35 ^a
30 วัน	9.418±0.25 ^c	4.606±0.30 ^b
45 วัน	9.619±0.30 ^{cd}	5.026±0.46 ^{bc}
60 วัน	10.073±0.06 ^d	5.657±0.52 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวเลขหลังเครื่องหมาย แสดงค่า Standard deviation จากการทดลอง 3 ซ้ำการทดลอง

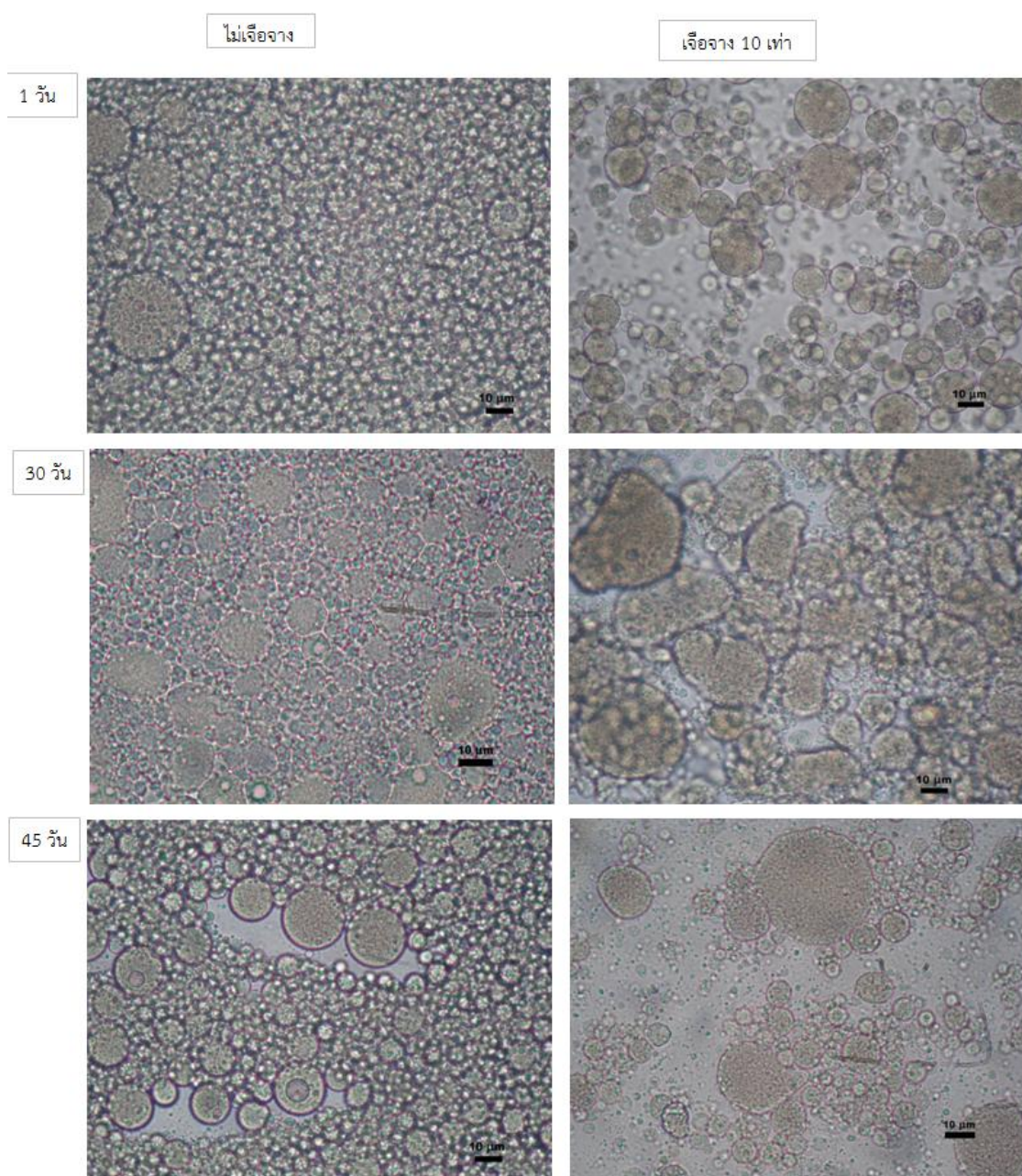


ภาพที่ 21 การกระจายของขนาดอนุภาคร็อบเล็ทเชิงซ้อนของมายองเนสลดไขมันด้วยอิมัลชันเชิงซ้อนชนิด W/O/W ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ

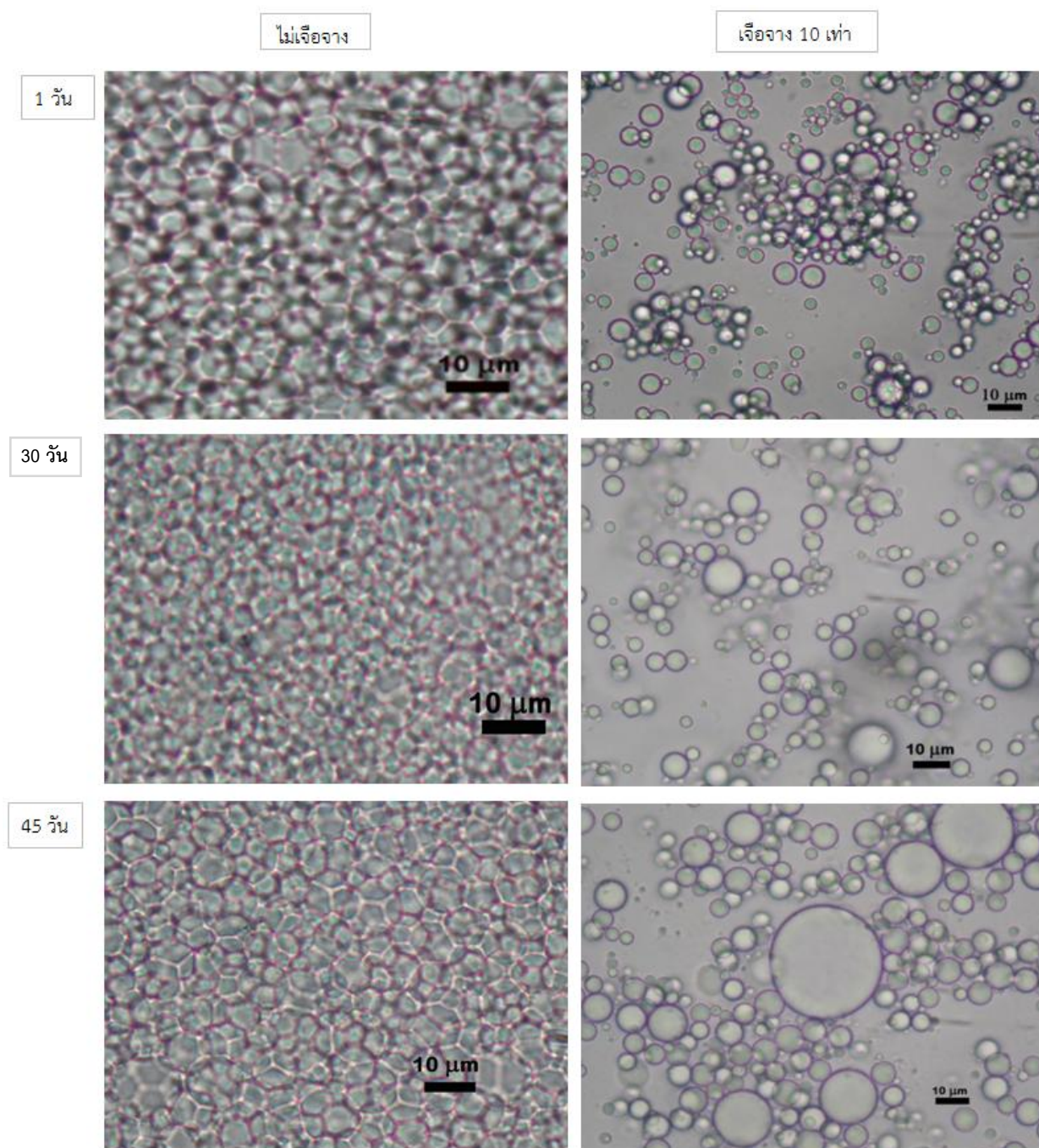


ภาพที่ 22 การกระจายของขนาดอนุภาคร็อบเล็ทน้ำมันของมายองเนสเต็ม ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ

เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของอิมัลชันจากกล้องจุลทรรศน์ (แสดงในภาพที่ 23 และ 24) พบว่าตัวอย่างมาของเนสเชิงซ้อนนั้นมีลักษณะคือรูปเล็ทเรียงตัวอัดแน่นเป็นโครงข่ายร่างแหสามมิติแต่น้อยกว่าในมาของเนสไขมันเต็มที่อัดแน่นจนคล้ายรูปหกเหลี่ยม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกว่าสัดส่วนของปริมาตรวัฏภาคต่อเนื่องของอิมัลชันเชิงซ้อนนั้นมากกว่ามาของเนสไขมันเต็ม ทำให้รูปเล็ทแต่ละรูปเล็ทของอิมัลชันเชิงซ้อนนั้นอยู่ห่างกันมากกว่า และรูปเล็ทมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยมีการกระจายหลายช่วงขนาดทำมีขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ จึงไม่เกิดการเรียงตัวอัดแน่นจนโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม ซึ่งเป็นลักษณะการจัดเรียงตัวของรูปเล็ทที่พบในอิมัลชันชนิดเข้มข้นมาก (ดังภาพที่ 24 แบบไม่เจือจาง) (Princen, 2004; Masalova, 2011) เมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้น พบว่าอิมัลชันเชิงซ้อนมีช่องว่างระหว่างรูปเล็ทเพิ่มมากขึ้น (สังเกตได้จากภาพที่ 23 แบบไม่เจือจาง) แสดงถึงการมีปริมาณน้ำที่สูงขึ้น และนอกจากนี้รูปร่างของรูปเล็ทจะเปลี่ยนแปลง สูญเสียความเป็นทรงกลม มีขนาดใหญ่ขึ้นมากและมีหลายช่วงขนาด และนอกจากนี้ยังมีรูปเล็ทน้ำมันที่ไม่มีรูปเล็ทน้ำแทรกตัวอยู่ภายในเพิ่มมากขึ้นโดยเห็นชัดเจนที่ระยะเวลาการเก็บนาน 45 วัน แสดงถึงการสูญเสียรูปเล็ทเชิงซ้อนทำให้มีปริมาณรูปเล็ทเชิงซ้อนน้อยลงและมีปริมาณน้ำในระบบอิมัลชันมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับดัชนีความคงตัวและการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายของขนาดอนุภาค และเมื่อทำการตรวจสอบความหนืดด้วยการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหล พบว่า ความหนืดลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 25 ข)

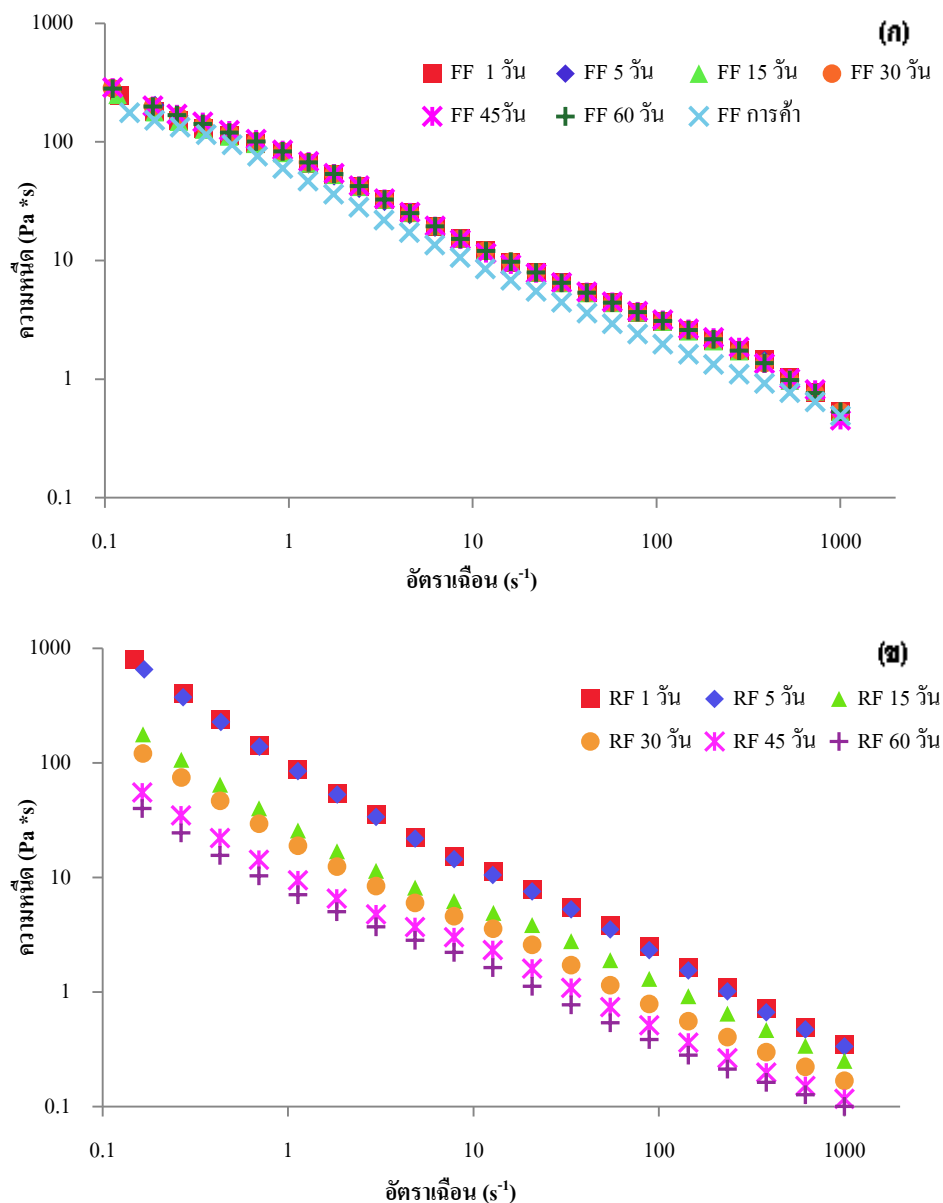


ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับจุลภาคของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำของมาของเนสลดไขมัน ที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า ระหว่างทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับจุลภาคของอิมัลชันน้ำมันในน้ำของมาของเนสไขมันเต็มที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ

จากกราฟความหนืด ดังแสดงในภาพที่ 25 พบว่า อิมัลชันทั้งสองชนิดมีคุณลักษณะเป็นแบบ shear thinning คือ เมื่อให้อัตราเฉือนสูงขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่ามายองเนสไขมันเต็มนั้นมีความหนืดเปลี่ยนแปลงตามเวลาเก็บรักษาเพียงเล็กน้อย ขณะที่มายองเนสอิมัลชันเชิงซ้อนนั้นมีความหนืดลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น แสดงให้เห็นว่ามายองเนสอิมัลชันเชิงซ้อนนั้นมีความคงตัวต่อเวลาการเก็บรักษาดำกว่ามายองเนสไขมันเต็ม



ภาพที่ 25 พฤติกรรมความหนืดของมายองเนสไขมันเต็ม (ก) และมายองเนสอิมัลชันเชิงซ้อน (ข) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ

จากนั้นนำข้อมูลการทดลองที่ได้จากการวัดพฤติกรรมการไหล (จากการวัดแบบ rotation) มาทำการ fit กับ Hershel-Bulkley model (Rao,1999; Santipanichwong และ Suphantharika, 2009) เพื่ออธิบายคุณลักษณะ พฤติกรรมการไหลของตัวอย่างมาของเนสทั้งสองชนิด โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\sigma = \sigma_0 + K \dot{\gamma}^{n-1}$$

เมื่อ σ คือ shear stress (Pa)

σ_0 คือ yield stress (Pa)

K คือ consistency index (Pa sⁿ)

$\dot{\gamma}$ คือ shear rate (s⁻¹)

n คือ flow behavior index

ค่า yield stress เป็นการบ่งชี้ถึงการมีการเกาะกลุ่มของครีโอลแบบ flocculation เรียกว่า กลุ่ม floc ทำให้ต้องใช้แรงเค้นสูงขึ้นในการเอาชนะโครงสร้างของกลุ่ม floc ก่อนที่อิมัลชันจะแสดงสมบัติการไหล ส่วน ค่า K (consistency index) แสดงสมบัติการอยู่ตัวของอิมัลชัน และค่า n แสดง flow behavior index ของของไหล ถ้าค่า n<1 ของไหลจะแสดงพฤติกรรมเป็นแบบ shear thinning non-Newtonian fluid และถ้า n=1 แสดงว่ามีพฤติกรรมเป็นแบบ Newtonian fluid ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการ fit สมการแสดงดังตารางที่ 11 พบว่า ค่า n ของอิมัลชันมาของเนสทั้งสองชนิดจะมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่ามาของเนสมีพฤติกรรมเป็นแบบ shear thinning non-Newtonian fluid โดยมาของเนสลดไขมันจะมีความเป็น shear thinning ลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ด้านค่า yield stress พบว่า มาของเนสลดไขมันแสดงคุณลักษณะของ yield stress สูงกว่ามาของเนสไขมันเต็ม ทั้งนี้สมบัติ yield stress ของมาของเนสนั้น อาจขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของอิมัลชันและชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ Ma และ Barbosa – Cánovas (1995) ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของมาของเนสที่มีความเข้มข้นของน้ำมันพืชแตกต่างกัน พบว่าการแสดง yield stress ของมาของเนส ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันและความเข้มข้นของแซนแทนกัม เมื่อทำการเพิ่มปริมาณแซนแทนกัมจะทำให้มาของเนสมีความหนืดเพิ่มขึ้นและแสดงสมบัติ yield stress เพิ่มขึ้น ซึ่งมาของเนสไขมันเต็มสูตรควบคุมที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่มีการเติมสารเพิ่มความหนืดและมีความหนืดต่ำกว่ามาของเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 25 การมีค่า yield stress ปรากฏบอถึงการเกิดการเกาะกลุ่มเป็นกลุ่ม floc การเกิดกลุ่ม floc มาก ส่งผลให้ค่า yield stress สูงขึ้น ซึ่งหมายถึงต้องใช้แรงในการทำลายแรงดึงดูดระหว่างครีโอลมาก (McClements, 1999) โดย yield stress ของมาของเนสทั้งสองชนิด

ลดลงตามเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเนื่องจากการมีครีโอลีทที่ใหญ่ขึ้นตามเวลาการเก็บรักษาและเกิดการสลายตัวของครีโอลีทเชิงซ้อนทำให้โครงสร้างของระบบเปลี่ยนไป แต่มาของเนสไขมันเต็มนี้เป็นมีความคงตัวสูงกว่าทั้งนี้อาจเป็นเพราะการจัดเรียงอนุภาคใกล้ชิดกันมากกว่าโครงสร้างของอิมัลชันเชิงซ้อน (สังเกตได้จากโครงสร้างระดับจุลภาคภาพที่ 23 และ 24) ทำให้การเคลื่อนที่ของครีโอลีทนั้นช้าลงเป็นเหตุให้มีความคงตัวมากกว่า 60 วัน เมื่อพิจารณาค่า K พบว่าจะมีค่าลดลงเมื่อตามเวลาการเก็บรักษานานขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานกว่า 15 วันและเมื่อเวลาการเก็บรักษามากกว่า 1 เดือน มาของเนสลดไขมันเชิงซ้อนจะมีสภาพเป็นของไหลได้ง่ายมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คงที่ ซึ่งแสดงพฤติกรรมไหลดังภาพที่ 26

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและอัตราเฉือนของมาของเนสดังภาพที่ 26 พบว่ามาของเนสแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning และมีความเป็น thixotropy โดยเมื่อทำการเพิ่มอัตราเฉือนทำให้ความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเส้นตรงและเมื่อทำการลดอัตราเฉือนพบว่าความเค้นเฉือนมีค่าลดลง ณ ที่อัตราเฉือนเดียวกัน ทำให้เส้นกราฟไม่ซ้อนทับกัน ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียโครงสร้างของอิมัลชัน (Rao, 1999; Sahin และ Sumnu, 2006.) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้นคุณสมบัติการไหลแบบ shear thinning และ thixotropy ของมาของเนสลดไขมันเชิงซ้อนนั้นลดลง สังเกตได้จากการมีพื้นที่ระหว่างเส้นกราฟขาขึ้นและขาลงนั้นลดลงตามเวลาการเก็บรักษา ทำให้มีแนวโน้มเป็นของไหลที่มีพฤติกรรมเข้าสู่ความเป็น Newtonian มากขึ้น

เมื่อทำการศึกษาพฤติกรรม viscoelastic ด้วยการวัดการตอบสนองต่อการสั่น ทำการวิเคราะห์ค่า storage modulus (G') ซึ่งแสดงถึงพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในโครงสร้างของตัวอย่างในระหว่างการให้ความเค้น และค่า loss modulus (G'') ซึ่งแสดงถึงพลังงานที่ถูกใช้ไปส่วนของการเคลื่อนที่ (Rao, 1999) พบว่า ค่า storage modulus (G') และค่า loss modulus (G'') ในตัวอย่างมาของเนสลดไขมันเชิงซ้อนสูงกว่าในตัวอย่างมาของเนสไขมันเต็มดังแสดงในภาพที่ 27 และ 28 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในตัวอย่างมาของเนสลดไขมันเชิงซ้อนมี yield stress สูง ทำให้มีค่า storage modulus (G') และค่า loss modulus (G'') มีสูงกว่าในตัวอย่างมาของเนสไขมันเต็มที่มี yield stress ต่ำ

ในช่วงแรกของการเก็บรักษานั้น มาของเนสทั้งสองชนิดจะมีค่า storage modulus (G') มีค่าคงที่ตลอดช่วงความถี่ในการวัด แต่เมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่า storage modulus (G') จะมีค่าลดลงเมื่อแปรผันค่าความถี่สูงขึ้น แสดงว่ามาของเนสมีโครงสร้างที่ทนต่อความถี่ได้ต่ำดังแสดงในภาพที่ 27 แต่ในตัวอย่างมาของเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อนจะสามารถทนต่อความถี่ได้สูงกว่ามาของเนสไขมันเต็ม ทั้งนี้เนื่องจากมีการเกาะกลุ่มของครีโอลีททำให้มีโครงสร้างที่ทนต่อความถี่ได้มากกว่ามาของเนสไขมันเต็ม

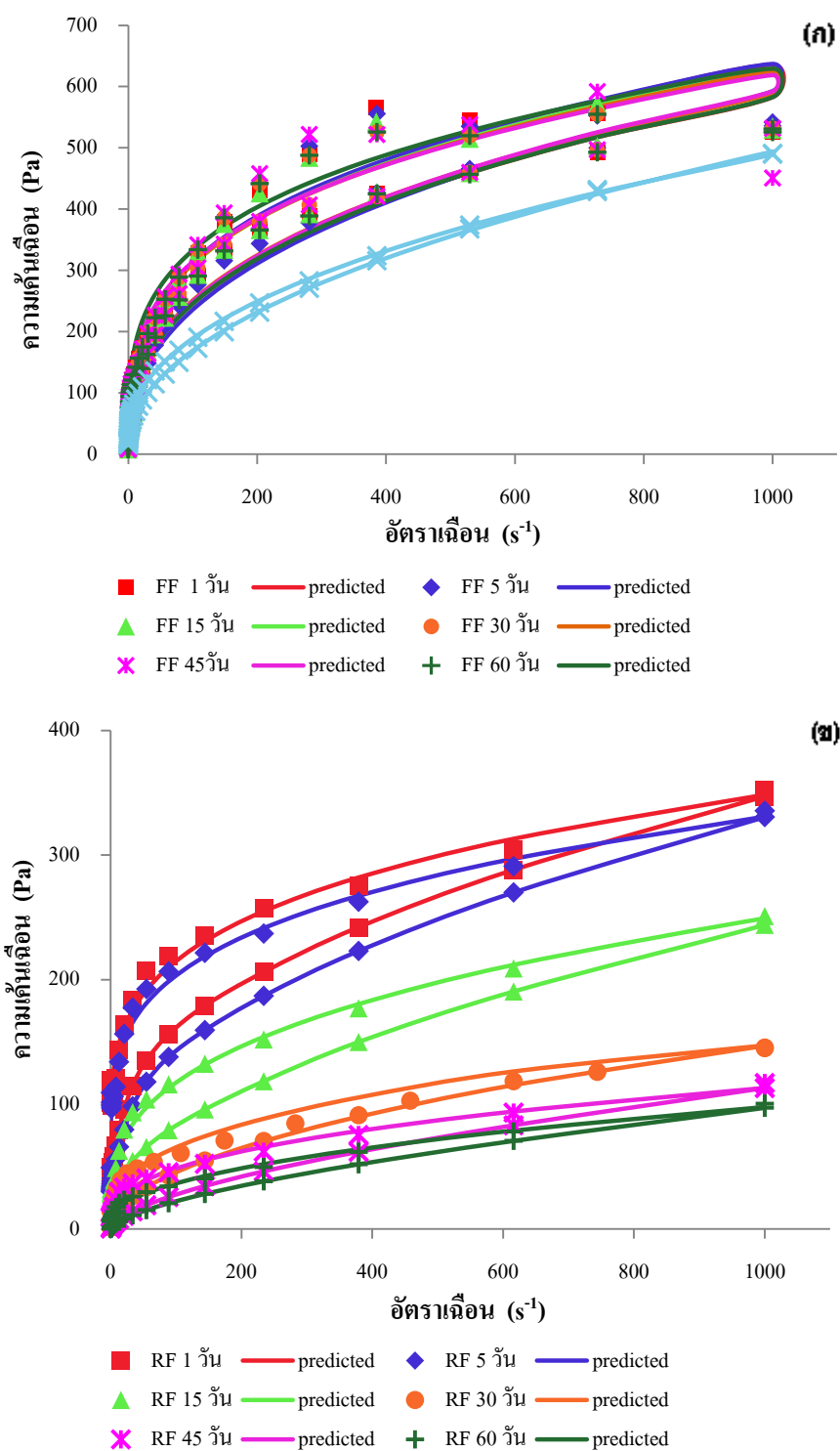
แต่เมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่า storage modulus (G') มีค่าลดลง อาจเนื่องจากการมีขนาดครีโอล์ใหญ่ขึ้นหรือมีการสูญเสียครีโอล์ทำให้มีปริมาณของครีโอล์ที่ลดลง ทำให้ครีโอล์ที่อยู่ห่างกันมากขึ้น ความแรงของพันธะต่างๆ ลดลง จึงทนต่อความถี่ได้ต่ำลง (Pal, 1997; Pal, 2007; Derkach, 2009) ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของ Vasiljević และคณะ (2009) ที่ศึกษาสมบัติทางกระแสวิทยาและขนาดอนุภาคของอิมัลชันเชิงซ้อนของอิมัลชันน้ำในน้ำมันในน้ำที่ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดพอลิเมอร์ ความเข้มข้นต่ำซึ่งพบว่า ค่า storage modulus (G') มีแนวโน้มลดลงและอิมัลชันมีขนาดของอนุภาคเชิงซ้อนใหญ่ขึ้น เมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

ค่า loss modulus (G'') มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงของความถี่ต่ำแต่จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น (มากกว่า 50 Hz) (ภาพที่ 28) ซึ่งสอดคล้องกับ Pal (2007) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 30 ทั้งนี้อาจมาจากการที่อิมัลชันมีขนาดอนุภาคขึ้น Pal (1997) ศึกษา loss modulus (G'') และ ค่า storage modulus (G') ในอิมัลชันชนิดเข้มข้นของอิมัลชันที่มีครีโอล์ขนาดเล็ก ($6.5 \mu\text{m}$) ผสมกับ อิมัลชันชนิดที่มีครีโอล์ขนาดใหญ่ ($32 \mu\text{m}$) พบว่า การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนของอิมัลชันที่มีครีโอล์ขนาดเล็กทำให้ค่า loss modulus (G'') และ ค่า storage modulus (G') เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในระบบอิมัลชันที่มีครีโอล์ขนาดใหญ่ป็นอยู่มากกว่าจะมีค่า loss modulus (G'') และ ค่า storage modulus (G') ลดลง

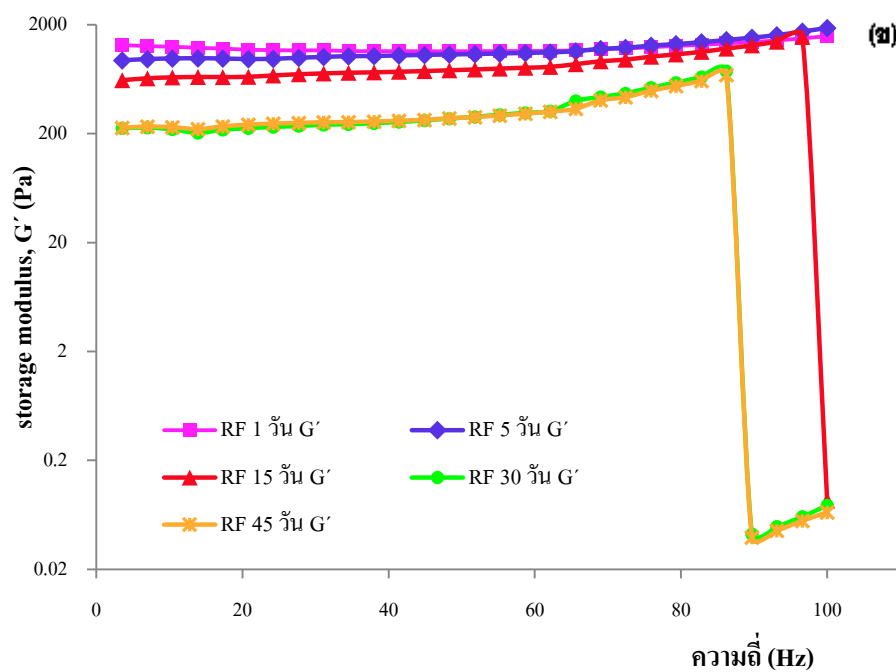
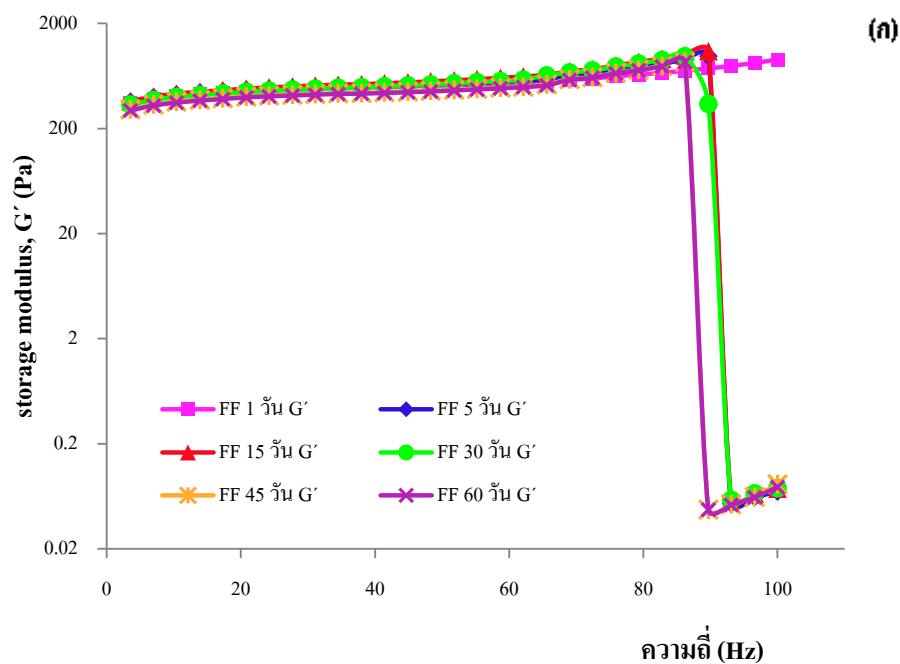
การแสดงออกของสมบัติ elastic หรือ viscous ของมายองเนสทั้งสองตัวอย่างพบว่า มายองเนสทั้งสองชนิดแสดงถึงการเป็น elastic เนื่องจากมีค่า storage modulus มากกว่า ค่า loss modulus ($G' > G''$) โดยมายองเนสอิมัลชันเชิงซ้อนจะแสดงความเป็น elastic สูงกว่ามายองเนสไขมันเต็ม ทั้งนี้อาจเนื่องจากการมีกลุ่ม flocs โมเลกุลอยู่ในโครงสร้างของอิมัลชันเชิงซ้อน การเกิด flocculation ของอิมัลชันนั้นมาจากการเกิด depletion ของโพลิเมอร์ที่ไม่ถูกดูดซับบนผิวของครีโอล์ (Benichou และคณะ, 2004) ในช่วงแรกของการเก็บรักษานั้น ตัวอย่างมายองเนสทั้งสองตัวอย่างจะมีค่า storage modulus (G') มากกว่า loss modulus (G'') มากกว่า ตลอดช่วงความถี่ในการวัด แต่เมื่อเวลาเก็บรักษานานขึ้น ค่าโครงสร้างของมายองเนสทั้งสองตัวอย่างจะทนต่อความถี่ได้ในช่วงน้อยลง โดยความเป็น elastic ของตัวอย่างมายองเนสไขมันเชิงซ้อนนั้น จะลดลงอย่างรวดเร็วมากกว่าตัวอย่างมายองเนสไขมันเต็ม แสดงให้เห็นความคงตัวที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสมบัติวิสโคอิลาสติกของมายองเนสไขมันเชิงซ้อนจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานกว่า 15 วัน

ตารางที่ 11 ค่าพารามิเตอร์ของการ fit สมการของ Herschel-Bulkley ของมายองเนสไขมันเต็ม (FF) และมายองเนสลดไขมันเชิงซ้อน (RF)

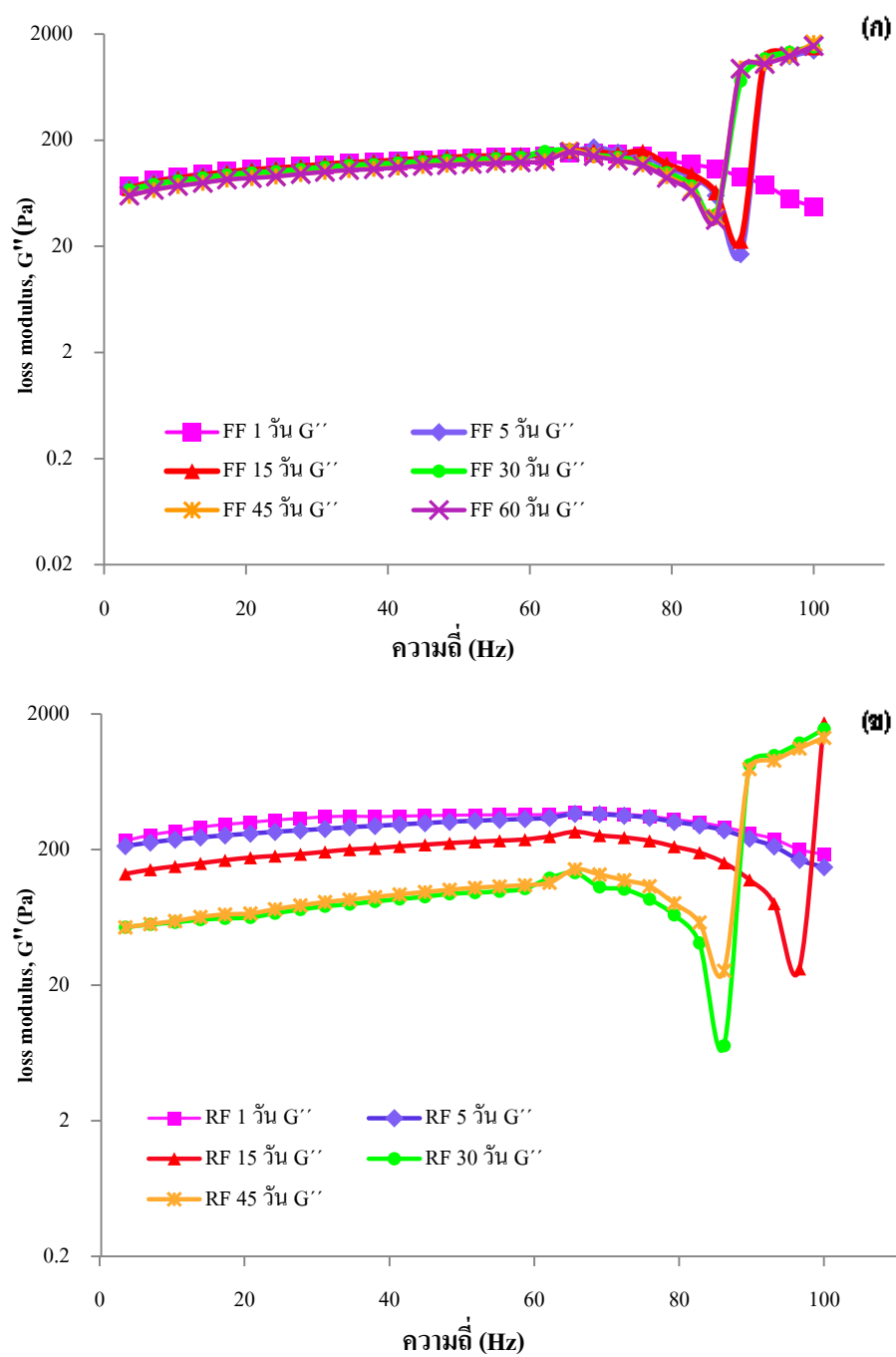
อายุการเก็บ รักษา	ค่าพารามิเตอร์							
	σ_0		K		n		R^2	
	FF	RF	FF	RF	FF	RF	FF	RF
1 วัน	2.88	59.18	87.58	45.09	0.28	0.27	0.984	0.987
5 วัน	2.78	57.12	88.01	41.72	0.29	0.27	0.984	0.989
15 วัน	0	13.59	75.33	20.15	0.31	0.36	0.987	0.997
30 วัน	0	9.54	77.31	8.02	0.30	0.40	0.987	0.997
45 วัน	0	5.72	80.87	6.75	0.29	0.40	0.971	0.996
60 วัน	0	5.65	77.31	3.49	0.30	0.47	0.987	0.998
การคั่ว	25.72		20.31		0.45		0.999	



ภาพที่ 26 พฤติกรรมการไหลของมายองเนสไขมันเต็ม (FF) (ก) และมายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน (RF) (ข) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 27 ค่า storage modulus (G') ของมายองเนสไขมันเต็ม (FF) (ก) และมายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน (RF) (ข) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 28 ค่า loss modulus (G'') ของมายองเนสไขมันเต็ม (FF) (ก) และมายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน (RF) (ข) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ

จากผลการศึกษาทั้งหมดดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า มาของเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อนมีความคงตัวต่ำกว่ามาของเนสไขมันเต็ม และจากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ชี้ให้เห็นว่ามาของเนสลดไขมันเชิงซ้อนนั้นมียอายุการเก็บรักษาได้เพียง 15 วัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการสลายตัวของดริอปเล็ตเชิงซ้อน ระบบสูญเสียดริอปเล็ตเชิงซ้อน เป็นเหตุให้ลักษณะ โครงสร้างและคุณสมบัติต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป แม้ว่าการศึกษานี้ได้ทำการควบคุมความแตกต่างของความเข้มข้นของสารปรุงรสเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pawlik และคณะ (2010) ที่พบว่าแม้จะทำการสมดุลความดันออสโมติกด้วยกลูโคสแล้ว ก็ยังพบว่ามีไอออนของเกลือหลุดออกมาสู่ภาชนะต่อเนื่อง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่กลูโคสไปแย่งจับน้ำทำให้ความแข็งแรงของผิวสัมผัสระหว่าง น้ำมันและน้ำ ลดลง เป็นเหตุทำให้ไอออนเกลือที่จับอยู่กับน้ำและอิมัลซิไฟเออร์แทรกผ่านออกสู่ภายนอกได้ และนอกจากนี้ การเคลื่อนผ่านชั้นน้ำมันของไอออนของเกลือยังสามารถกระตุ้นให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกได้ในระหว่างการเก็บรักษา (Mezzenga, 2007) และยังมีกลไกการเคลื่อนผ่านชั้นน้ำมันของน้ำอื่นๆ เช่น ผ่านสารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีการเคลื่อนที่ไปมาระหว่างผิวสัมผัสของน้ำและน้ำมัน (Benichou และคณะ, 2004) กลไกเหล่านี้เป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้น ดังนั้นแนวทางในการควบคุมน้ำในการเคลื่อนผ่านชั้นน้ำมันนั้น อาจทำการเติมสาร macromolecules เช่น CMC กัมอะราบิก หรือ BSA (Benichou และคณะ, 2004; Su, 2008 Murillo-Martínez, 2011) ซึ่งสาร macromolecules นี้ช่วยเสริมประสิทธิภาพของอิมัลซิไฟเออร์และเพิ่มความหนืดให้แก่ระบบอิมัลชันทำให้ช่วยชะลอความเร็วในการเคลื่อนที่ของดริอปเล็ต (Su และคณะ, 2006)

ดังนั้นการศึกษากการผลิิตมาของเนสลดไขมันด้วยระบบอิมัลชันเชิงซ้อนน้ำในน้ำมันน้ำนี้จึงเป็นแนวทางในการปรับปรุงความคงตัวต่อไป

4.5 การทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์มาของเนสลดไขมันที่เตรียมด้วยกรรมวิธีอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำเปรียบเทียบกับมาของเนสไขมันเต็มสูตร 2

การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์มาของเนสลดไขมันที่เตรียมด้วยกรรมวิธีอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำในการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยใช้สเกลความชอบ 9 จุด (9-point hedonic scale) พร้อมกับให้ผู้ชิมทำการประเมินสเกลความพอดี (Just-about-right scale, JAR scale) เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาความชอบของผู้ทดสอบให้สูงขึ้น โดยใช้ผู้ทดสอบที่เป็นผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน เสรีพร้อมขนมปังแซนวิช โดยการประเมินความชอบโดยใช้สเกลความชอบ 9 จุด นั้นทำการประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความมัน ความข้นหนืด ความเรียบเนียนของเนื้อมาของเนสและความชอบโดยรวม ร่วมกับการประเมินสเกลความพอดี นั้นทำการประเมินคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะความชอบโดยรวมคือ คุณลักษณะความชอบด้านคุณลักษณะความข้นหนืด

ความมันและรสชาติ (รสเปรี้ยว รสเค็มและรสหวาน) ผลการประเมินความชอบโดยใช้สเกลความชอบ 9 จุด แสดงดังตารางที่ 9 ซึ่งพบว่า มายองเนสลดไขมันเชิงซ้อนนั้นมีคะแนนความชอบด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ คือ ลักษณะปรากฏ ความข้นหนืด ความเรียบเนียนของเนื้อมายองเนสและความชอบโดยรวมของผู้ชิม ไม่แตกต่างจาก มายองเนสไขมันเต็มอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 12 คะแนนความชอบด้านต่างๆ ของมายองเนสไขมันเต็มสูตร 2 และมายองเนสลดไขมันด้วย อิมัลชันเชิงซ้อน หลังจากการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อน นำมาทดสอบ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	มายองเนสไขมันเต็ม	มายองเนสลดไขมัน
ความชอบโดยรวม ^{ns}	6.12	5.62
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	5.74	6.16
ความข้นหนืด ^{ns}	5.82	6.18
ความเรียบเนียน ^{ns}	6.14	6.48
ความมัน ^{ns}	5.60	5.08
กลิ่น ^{ns}	5.38	5.38
รสชาติ ^{ns}	5.84	5.30

หมายเหตุ: *ns* แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเดียวกันใน แนวนอน

เมื่อพิจารณาผลคะแนนความชอบด้านคุณลักษณะต่างๆ ดังตารางที่ 12 แล้วพบว่ามายองเนสทั้งสองชนิดมีคะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในช่วงชอบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการทดสอบความชอบร่วมกับสเกลความพอดี (Just About Right, JAR scale) นั้นสามารถบอกแนวทางการปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคะแนนความชอบจากผู้บริโภคให้สูงขึ้น หรือให้ผลิตภัณฑ์มีความเข้มของแต่ละคุณลักษณะที่พอดีมากขึ้น ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยการใช้ mean drop/ penalty analysis (Lawless และ Heymann, 2010) ถ้าค่า total penalty ของคุณลักษณะใด มากกว่า 0.50 แสดงว่า เป็นคุณลักษณะที่มีผลกระทบสูงต่อการยอมรับของผู้บริโภคสูงมาก ซึ่งควรปรับปรุง และ ถ้าค่า total penalty มากกว่า 0.25 แสดงว่า เป็นคุณลักษณะที่ควรพิจารณา (Cadot และคณะ, 1997) ผลการทดสอบความชอบร่วมกับสเกลความพอดีของมายองเนสลดไขมัน อิมัลชันเชิงซ้อนและมายองเนสไขมันเต็มสูตร 2 ทำการวิเคราะห์ค่า mean drop และ total penalty ผลแสดงดังตารางที่ 13 พบว่า คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของมายองเนสไขมันเต็มมีความข้นหนืดน้อยเกินไป

และคุณลักษณะที่ควรพิจารณาคือคุณลักษณะด้านรสชาติ พบว่ามีรสเปรี้ยวมากเกินไป และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับสมบัติของมายองเนสด้านความหนืดที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง rheology พบว่ามีความสอดคล้องกัน นั่นคือมายองเนสไขมันเต็มมีค่าความหนืดต่ำกว่า มายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่รู้สึกว่าคุณลักษณะความหนืดของมายองเนสไขมันเต็มน้อยเกินไป โดยทั่วไปคุณลักษณะความข้นหนืดนั้นส่งผลต่อการรับรส และคุณลักษณะด้านความมัน ดังนั้นการที่มายองเนสไขมันเต็มมีความหนืดน้อยเกินไปส่งผลให้ผู้ทดสอบรับรสเปรี้ยวได้มากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่สารให้รสเปรี้ยวสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ปุ่มรับรสบนลิ้นได้เร็วขึ้น (Arancibia และคณะ, 2011)

สำหรับมายองเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อนพบว่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยส่วนใหญ่แล้วไม่ต้องทำการปรับปรุงยกเว้นคุณลักษณะความมันที่ผู้ชิมรู้สึกว่ามีค่าความมันมากเกินไป โดยมีค่า total penalty สูงมากกว่า 0.25 ซึ่งผู้บริโภคจำนวนร้อยละ 48 บอกว่าต้องทำการพัฒนา แต่หากทำการพัฒนาแล้วบริโภคอีกจำนวนร้อยละ 58 อาจให้คะแนนความชอบลดลง ทำให้ต้องพิจารณาให้รอบคอบ อาจต้องให้คุณสมบัติด้านอื่นๆ เป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจร่วมด้วย เช่น ด้านความคงตัว หรือลักษณะปรากฏของมายองเนส เป็นต้น

จากการที่มายองเนสลดไขมันเชิงซ้อนให้สมบัติความหนืดสูงกว่ามายองเนสไขมันเต็มแม้ว่ามีปริมาณวัตถุภาคชั้นในต่ำกว่า (มายองเนสลดไขมันเชิงซ้อนมีวัตถุภาคชั้นในร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก และมายองเนสไขมันเต็มมีวัตถุภาคชั้นในร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก) แต่มีค่าความพอดีของคุณลักษณะความหนืดทางประสาทสัมผัสมากกว่ามายองเนสไขมันเต็มทำให้เป็นข้อสรุปย้ำให้เห็นชัดว่า การลดไขมันในมายองเนสด้วยอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำนั้น ไม่ส่งผลต่อการรับรู้ด้านไขมันที่ลดลงไปอย่างมากของน้ำมันพืช และทำให้ทราบว่าอาจสามารถลดปริมาณไขมันลงไปได้อีก ซึ่งต้องศึกษาพัฒนาต่อไป

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์ meandrop/ total penalty ของการทดสอบความชอบด้วยสเกลความพอดี (JAR test) ในมายองเนสสดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน และมายองเนสไขมันเต็ม

คุณลักษณะ	ความเข้ม	มายองเนสสดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อน			มายองเนสไขมันเต็ม		
		%ความถี่	mean drop	total penalty	% ความถี่	mean drop	total penalty
ความข้นหนืด	น้อยเกินไป	12	-0.47	-0.06	54	1.25	0.67
	พอดี	52	0	0	44	0	0
	มากเกินไป	36	0.19	0.07	2	2.54	0.05
ความมัน	น้อยเกินไป	10	0.83	0.08	12	-0.20	-0.02
	พอดี	42	0	0	52	0	0
	มากเกินไป	48	0.55	0.27	36	-0.31	-0.11
รสหวาน	น้อยเกินไป	66	0.009	0.006	36	0.48	0.17
	พอดี	32	0	0	60	0	0
	มากเกินไป	2	0.31	0.006	4	0.53	0.02
รสเค็ม	น้อยเกินไป	40	-0.49	-0.20	20	0.24	0.05
	พอดี	56	0	0	62	0	0
	มากเกินไป	4	0.11	0.004	18	-0.27	-0.049
รสเปรี้ยว	น้อยเกินไป	10	-0.46	-0.05	12	0.44	0.053
	พอดี	34	0	0	44	0	0
	มากเกินไป	56	-0.27	-0.15	44	0.86	0.38

หมายเหตุ: ตัวหนาหมายถึง ค่า $total\ penalty > |0.50|$ แสดงว่า เป็นปัจจัยที่ควรปรับปรุงเนื่องจากมีผลกระทบต่อกรยอมรับของผู้บริโภค (*high impact*) และค่า $total\ penalty > |0.25|$ แสดงว่า เป็นคุณลักษณะที่ควรพิจารณา (*noteworthy*) (Cadot และคณะ, 1997)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการเตรียมมาของเนสลดไขมันด้วยระบบอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำในน้ำมัน พบว่าชนิดของอิมัลซิไฟเออร์มีผลต่อการช่วยการก่อตัว (Formation) เป็นอิมัลชันระบบน้ำในน้ำมันและต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำในน้ำมันที่เป็นวัฏภาคชั้นใน โดยสารพอลิกลีเซอรอล พอลิรีซิโนเลเอต (PGPR) เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่นๆ ที่ใช้การทดลองนี้ และโดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 5 กรัมต่ออิมัลชัน 100 กรัม และเมื่อนำไปเตรียมเป็นอิมัลชันเชิงซ้อนพบว่าสัดส่วนปริมาตรวัฏภาคอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันมีผลต่อความคงตัวและการยอมรับเชิงประสาทสัมผัส โดยสัดส่วนที่เหมาะสมคือร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถลดปริมาณไขมันได้ร้อยละ 49 เมื่อเปรียบเทียบกับมาของเนสสูตรไขมันเต็ม

จากการศึกษาสมบัติพฤติกรรมวิทยากระแสมายของเนสลดไขมันเชิงซ้อน พบว่ามาของเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อนมีคุณสมบัติด้านพฤติกรรมการไหลเป็นแบบ thixotropic-shear thinning และมีสมบัติเป็นวัสดุวิสโคอิลาสติก มีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งเหลว และเมื่อทำการศึกษาความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา พบว่ามาของเนสลดไขมันอิมัลชันเชิงซ้อนมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยใหญ่ขึ้น ตามเวลาการเก็บรักษา มีดัชนีความคงตัว ความหนืด คุณสมบัติ shear thinning ความเป็น elastic ลดลง เมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ อย่างรวดเร็วเมื่อเวลาการเก็บรักษานานกว่า 15 วัน และเมื่อทำการประเมินความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่ามีความชอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความมัน ความหนืด ความเรียบเนียนของเนื้อมาของเนสและความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างจากมาของเนสไขมันเต็มอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เอกสารอ้างอิง

- นิธิยา รัตนพานนท์. 2539. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.
- มอก. 1402-2540. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของผลิตภัณฑ์มายองเนสและสลัดครีม. ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป, เล่มที่ 114, ตอนที่ 52 ง. Available: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2540/D/052/7.PDF>. (12 /08/2011)
- วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ. หน้า 44-46.
- Akhtar, M., Stenze, J., Murray, B.S. and Dickinson, E. 2005. Factors affecting the perception of creaminess of oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*. 19: 521-526.
- Apenten, R.K.O. and Zhu, Q-H. 1996. Interfacial parameters for spans and tweens in relation to water-in-oil-in-water multiple emulsion stability. *Food Hydrocolloids*. 10(2): 245-250.
- AOAC. method 950. 54. 1998. Official Methods of Analysis. 16th ed. 4th Revision, Gaithersburg
- Arancibia, C., Jublot, L., Costell, E. and Bayarri, S. 2011. Flavor release and sensory characteristics of o/w emulsions. Influence of composition, microstructure and rheological behavior. *Food Research International*. 44: 1632-1641.
- Benichou, A., Aserin, A., Garti, N. 2004. Double emulsions stabilized with hybrids of natural polymers for entrapment and slow release of active matters. *Advances in Colloid and Interface Science*. 108-109: 29-41
- Bonnans, S. and Noble, A.C. 1993. (Abstract of “Effect of sweetener type and of sweetener and acid levels on temporal perception of sweetness, sourness and fruitiness.” *Chemical Senses*. 18, 273-283) (Electronic), Available: [Oxford journals/http://chemse.oxfordjournals.org/content/18/3/273](http://chemse.oxfordjournals.org/content/18/3/273) (06/05/2013)
- Cadot, Y., Caillé, S., Samson, A., Barbeau, G. and Cheynier, V. 2010. Sensory dimension of wine typicality related to a terroir by Quantitative Descriptive Analysis, Just About Right analysis and typicality assessment. *Analytica Chimica Acta*. 660: 53-62.

- Cheng, J., Chen, J-F., Zhao, M., Luo, Q., Wen, L-X. and Papadopoulos K. D. 2007. Transport of ions through the oil phase of $W_1/O/W_2$ double emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*. 305(1):175-182.
- Coupland, J.N. and McClements, D.J. 1996. Lipid oxidation in food emulsions. *Trends in Food Science & Technology*. 7(3): 83-91.
- Csóka, I. and Erős, I. 1997. Stability of multiple emulsion I. Determination of factors influencing multiple drop breakdown. *International Journal of Pharmaceutics* 156: 119- 123.
- Derkach, S. R. 2009. Rheology of emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*. 151: 1-23.
- Dickinson, E. 2011. Double emulsions stabilized by food biopolymers. *Food Biophysics*. 6(1): 1-11.
- Drewnowski, A. and Almiron-Roig, E. 2010. Chapter 11: Human perceptions and preferences for fat-rich foods. In: Montmayeur, JP. and Le Coutre, J. eds. *Fat Detection: Taste, Texture, and Post Ingestive Effects*. Boca Raton (FL), CRC Press. (Online) Available: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/ NBK53528/\(06/05/2013\)](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/ NBK53528/(06/05/2013)).
- Folmer, B., Michel, M., Gehin-delval, C., Acquistapace, S., Leser, M., Syrbe, A. and Marze, S. 2010. Stable double emulsions. Unites States Patent Application Publication. Pub. NO.: US 2010/0233221 A1.
- Gallarate, M., Carlotti, M. E., Trotta, M. and Bovo, S. 1999. On the stability of ascorbic acid in emulsified systems for topical and cosmetic use. *International Journal of Pharmaceutics* 188(2):233 -241.
- Garti N. 1997. Double emulsions-scope, limitations and new achievements. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 123-124: 233-246.
- Garti, N. 2001. Food emulsifiers and stabilizers. In Eskin, N.A.M. and Robinson, D.S. eds. *Food Shelf Life Stability: Chemical, Biochemical, and Microbiological Changes*. CRC Press LLC., Boca Raton. Florida.
- Garti, N. and Aserin, A. 1996. Double emulsions stabilized by macromolecular surfactants. *Advances in Colloid and Interface Science*. 65: 37-69.
- Geiger, S., Tokgoz, S., Fructus, A., Jager-Lezer, N., Seiller, M., Lacombe, C. and Grossiord, J.L. 1998. Kinetics of swelling-breakdown of a W/O/W multiple emulsions: possible mechanisms for the lipophilic surfactant effect. *Journal of Controlled Release*. 52: 99-107.

- Guilmineau, F. and Kulozik, U. 2007. Influence of a thermal treatment on the functionality of hen's egg yolk in mayonnaise. *Journal of Food Engineering*. 78: 648-654.
- Hamilton, R. 1993. Structure and general properties of mineral and vegetable oils used as spray adjuvants. *Journal of Pesticide Science*. 37: 141-146.
- Hou, W. and Papadopoulos, K.D. 1997. $W_1/O/W_2$ and $O_1/W/O_2$ globules stabilized with Span 80 and Tween 80. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 125(2-3):181-187.
- Jafari, S. M., He, Y., and Bhundari, B. 2007. Effectiveness of encapsulating biopolymers to produce sub-micron emulsions by high energy emulsification techniques. *Food Research International*. 40: 862-873.
- Johansson, D., Bergenstahl, B., Lundgren, E. 1995. Water-in-triglyceride oil emulsions: Effect of fat crystals on stability. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 72: 939-950.
- Kanouni, M., Rosano, H. L. and Naouli, N. 2002. Preparation of a stable double emulsion ($W_1/O/W_2$): role of the interfacial films on the stability of the system. *Advances in Colloid and Interface Science* 99(3):229-254.
- Kiosseoglou, V. 2003. Egg yolk protein gels and emulsions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 8: 365-370.
- Lawless, H.T., Heymann, H. 2010. *Sensory Evaluation of Food Principles and Practices*. 2nd ed. Springer Science+Business Media, LLC. New York. p. 339
- Leal-Calderon, F. and Bibette, J.M.J. 2004. Method for preparing a monodispersed double emulsion. Unites States Patent Application Publication. Pub. NO.: US 2004/0116541 A1.
- Leal-Calderon, F., Homer, S., Goh, A. and Lundin, L. 2012. W/O/W emulsions with high internal droplet volume fraction. *Food Hydrocolloids*. 27: 30-41.
- Le Denmat, M., Anton, M. and Beaumal, V. 2000. Characterisation of emulsion properties and of interface composition in O/W emulsions prepared with hen egg yolk, plasma and granules. *Food Hydrocolloids*. 14: 539-549.
- Levi, G. 2004. Reduced sourness emulsion. Unites States Patent Application Publication. Pub. NO.: US 2004/0101613 A1.

- Lopetinsky, R.J.G., Masliyah, J.H. and Xu, Z. 2006. Solids-stabilized emulsions: A review. p.189 In Binks, B.P. and Horozoy, T.S. eds. *Colloidal Particles at Liquid Interfaces*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Macierzanka, A., Szelag, H. 2006. Microstructural behavior of water-in-oil emulsions stabilized by fatty acid esters of propylene glycol and zinc fatty acid salts. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 281: 125 – 137.
- Malone, M.E., Appelqvist, I.A.M. and Norton, I.T. 2003. Oral behaviour of food hydrocolloids and emulsions, part 2 taste and aroma release. *Food Hydrocolloids*. 17: 775-784.
- Masalova, I., Foudazi, R. and Malkin, A.Y. 2011. The rheology of highly concentrated emulsions stabilized with different surfactants. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 375: 76-86.
- Mezzenga, R. 2007. Equilibrium and non-equilibrium structures in complex food systems. *Food Hydrocolloids*. 21(5-6): 674-682.
- Mine, Y., Shimizu, M. and Nakashima, T. 1996. Preparation and stabilization of simple and multiple emulsions using a microporous glass membrane. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 6: 261-268.
- Mirhosseini, H., Tan, C.P., Aghlara, A., Hamid, N.S.A., Yusof, S. and Chern, B.H. 2008. Influence of pectin and CMC on physical stability, turbidity loss rate, cloudiness and flavor release of orange beverage emulsion during storage. *Carbohydrate Polymers*. 73: 83-91.
- Mun, S., Kim, Y.-L., Kang, C.-G., Park, K.-H., Shim, J.-Y. and Kim, Y.-R. 2009. Development of reduced-fat mayonnaise using 4 α GTase-modified rice starch and xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*. 44: 400-407.
- Murillo-Martínez, M.M., Pedroza-Islas, R., Lobato-Calleros, C., Martínez-Ferez, A. and Vernon-Carter, E.J. 2011. Designing $W_1/O/W_2$ double emulsions stabilized by protein polysaccharide complexes for producing edible films: Rheological, mechanical and water vapour properties. *Food Hydrocolloids*. 25: 577-585.
- Muschollik, G. 2007. Multiple emulsions for food use. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 12: 213-220.

- Nelen, B.A.P. and Cooper, J.M. 2004. Sucrose esters. pp. 131-161. In Whitehurst, R.J.ed.. Emulsifiers in Food Technology. Blackwell Publishing Ltd. Great Britain.
- OEC Fluid Handling. 2008. Fluid handling equipment, engineering data: general viscosity information Available: <http://www.oecfh.com/downloads/viscosity-information.pdf>. (04/04.2013)
- Pal, R. 1997. Viscosity and storage/loss moduli for mixtures of fine and coarse emulsions. Chemical Engineering Journal. 67: 37-44.
- Pal, R. 2007. On the viscoelastic behavior of multiple emulsions. Journal of Colloid and Interface Science. 313: 751-756.
- Pal, R. 2008. Viscosity models for multiple emulsions. Food Hydrocolloids. 22: 428-438.
- Pal, R. 2011. Rheology of simple and multiple emulsions. Current Opinion in Colloid and Interface Science. 16(1): 41-60.
- Pawlik, A., Cox, P.W. and Norton, I.T. 2010. Food grade duplex emulsions designed and stabilised with different osmotic pressures. Journal of Colloid and Interface Science. 352: 59-67.
- Pays, K., Giermanska-Kahn, J., Pouligny, B., Bibette, J. and Leal-Calderon, F. 2001. Coalescence in surfactant-stabilized double emulsions. Langmuir. 17(25): 7758-7769.
- Pérez-Gago, M.B. and Krochta, J.M. 1999. Water vapor permeability of whey protein emulsion films as affected by pH. Journal of Food Science. 64(4): 695-698.
- Princen, H.M. 2004. Structure, mechanics, and rheology of concentrated emulsions and fluid foams. In: Friberg, S.E., Larsson, K. and Sjöblom, J. eds. Food Emulsions: Fourth Edition, Revised and Expanded. 4th ed. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Rao, M.A 1999. Rheology of fluid and semisolid foods: Principles and applications. A Chapman & Hall Food Science Book. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg. Maryland. 441:7-9.
- Rosano, H.L., Gandolfo, F.G. and Hidrot, J.-D. P. 1998. Stability of $W_1/O/W_2$ multiple emulsions: Influence of ripening and interfacial interactions. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 138: 109-121.
- Sahin, S. and Sumnu, S.G. 2006. Physical Properties of Food. Springer Science + Business Media, LLC. New York. pp. 42-49

- Santipanichwong, R. and Supphantharika, M. 2009. Influence of different β -glucans on the physical and rheological properties of egg yolk stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*. 23: 1279-1287.
- Sapei, L., Naqvi, M.A. and Rousseau, D. 2012. Stability and release properties of double emulsions for food applications. *Food Hydrocolloids*. 27: 316 -323.
- Schmidts, T., Dobler, D., Nissing, C. and Runkel, F. 2009. Influence of hydrophilic surfactants on the properties of multiple W/O/W emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*. 338: 184-192.
- Su, J. 2008. Formation and stability of food-grade water-in-oil-in-water emulsions (Doctor' s degree, Massey University, Palmerston North, New Zealand) (Online). Available : <http://hdl.handle.net/10179/1792>. (12/12/2012)
- Takahashi, Y., Yoshida, T. and Takahashi, T. 1986. Process for the production of a water-in-oil-in-water emulsion for foods. United States Patent. Pub. No.: 4590086.
- Taki, J., Isomura, T., Kanda, K., Kawahara, A., Maruyama, K. and Kusumoto, S. 2008. W₁/O/W₂-Type double emulsion dressing and method for production there of. European Patent Application. EP 1935258 A1.
- Thakur, R.K., Villette, C., Aubry, J.M. and Delaplace, G. 2007. Formulation-composition map of a lecithin-based emulsion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 310: 55 – 61.
- Thakur, R.K., Villette, C., Aubry, J.M., Delaplace, G. 2008. Dynamic emulsification and catastrophic phase inversion of lecithin-based emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 315: 285 – 293.
- U.S. Food and Drug Administration. 21 CFR 101.9. Electronic code of federal regulations (e-CFR) (online). Avialable: <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?c=ecfr&SID=cf6fe9c3d5a8eff19edd0067b1150b98&rgn=div8&view=text&node=21:2.0.1.1.2.4.1.5&idno=21> (8/5/2556)
- Vasiljević, D. D., Parojčić, J. V., Primrac, M. M. and Vuleta, G. M. 2009. Rheological and droplet size analysis of W/O/W multiple emulsions containing low concentrations of polymeric emulsifiers. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 74 (7): 801-816. (online) Available : www.shd.org.rs/JSCS

- Vlaia, L., Vlaia, V., Miclea, L.M., Olariu, I. and Coneac, G. 2009. Topical W/O/W double emulsions of piroxicam: in vitro drug release study. *Farmacia*. 57: 639-647.
- Wilson R., van Schie, B.J. and Howes, D. 1998. Overview of the preparation, use and biological studies on polyglycerol polyricinoleate (PGPR). *Food and Chemical Toxicology*. 36 (9-10): 711-718.
- Yang, S.C. and Lai, L.S. 2003a. Dressings and mayonnaise: The products and their manufacture. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*:1892-1898.
- Yang, S.C. and Lai, L.S. 2003b. Dressings and mayonnaise: Chemistry of the Products. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. 1898-1903.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สูตรและกรรมวิธีการเตรียมอิมัลชันไฟเออร์และอิมัลชัน

1. ส่วนผสมของมายองเนสไขมันเต็มสูตรต้นแบบ (Mun และคณะ, 2009)

ส่วนผสม	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%w/w)
น้ำมันถั่วเหลือง	75.00
น้ำส้มสายชู (5% กรดอะซิติก)	8.70
ไข่แดง	7.25
เกลือ	1.10
น้ำตาลทราย	0.70
น้ำ	7.25

2. ส่วนผสมของมายองเนสไขมันเต็มสูตรดัดแปลง

สูตร 1

ส่วนผสม	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%w/w)
น้ำมันถั่วเหลือง	78.00
น้ำส้มสายชู (5% กรดอะซิติก)	6.00
ไข่แดง	7.00
เกลือ	2.00
น้ำตาลทราย	3.80
น้ำ	3.20

สูตร 2

ส่วนผสม	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%w/w)
น้ำมันถั่วเหลือง	77.00
น้ำส้มสายชู (5% กรดอะซิติก)	5.90
ไข่แดง	7.00
เกลือ	1.10
น้ำตาลทราย	6.00
น้ำ	3.00

3. วิธีการเตรียมอิมัลซิไฟเออร์

3.1 ไข่แดงพาสเจอร์ไรซ์

วัสดุอุปกรณ์

1. ชามสเตนเลส
2. หม้อตุ๋นซีคโคเกต
3. พายยาง
4. เตาให้ความร้อนหรือเตาแก๊ส
5. เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการเตรียม

1. ลวกอุปกรณ์น้ำร้อนอุณหภูมิมากกว่า 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
2. ตอกไข่ใส่ชามสเตนเลส
3. แยกไข่ขาวออก รวมถึงเยื่อหุ้มไข่ ใส่ลงในหม้อในของหม้อตุ๋นซีคโคเกต
4. ตีน้ำจนได้อุณหภูมิ 60 – 80 องศาเซลเซียส
5. ใส่หม้อในที่มีไข่แดงลงในหม้อนอก
6. คนตลอดเวลาจนได้ 65°C จับเวลา 3 นาที
7. หล่อเย็นจนอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
8. เก็บในภาชนะปิดสนิท และเก็บรักษาไว้ที่ตู้เย็น



ภาพที่ 29 แสดงขั้นตอนการเตรียมไข่แดง

3.2 พอลิกลีเซอร์รอล พอลิริซโนเลเอท (PGPR)

วัสดุอุปกรณ์

1. Hot plate with magnetic stirrer
2. Magnetic bar
3. ปีกเกอร์

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร PGPR ตามวิธีการศึกษา
2. ใส่ลงในปีกเกอร์ที่มีน้ำมันถั่วเหลือง
3. กวนด้วย Hot plate with magnetic stirrer ด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

3.3 เลซิทิน

วัสดุอุปกรณ์

1. Hot plate with magnetic stirrer
2. Magnetic bar
3. ปีกเกอร์

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสารเลซิทิน ตามวิธีการศึกษา
2. ใส่ลงในปีกเกอร์ที่มีน้ำมันถั่วเหลือง
3. ให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส
4. กวนด้วย Hot plate with magnetic stirrer ด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
5. ทิ้งไว้ให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปเตรียมอิมัลชัน

3.4 โพรพิลีนไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (PGMS)

วัสดุอุปกรณ์

1. Hot plate with magnetic stirrer
2. Magnetic bar
3. ปีกเกอร์

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร PGMS ตามวิธีการศึกษา
2. ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำมันถั่วเหลือง
3. ให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส
4. กวนด้วย Hot plate with magnetic stirrer ด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
5. ทิ้งไว้ให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปเตรียมอิมัลชัน

3.5 ดิสทิลโมโนกลีเซอไรด์ (DMG)

วัสดุอุปกรณ์

1. Hot plate with magnetic stirrer
2. Magnetic bar
3. บีกเกอร์

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร DMG ตามวิธีการศึกษา
2. ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำมันถั่วเหลือง
3. ให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส
4. กวนด้วย Hot plate with magnetic stirrer ด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
5. ทิ้งไว้ให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปเตรียมอิมัลชัน

3.6 ซิทริกแอซิดเอสเทอร์ของโมโนกลีเซอไรด์ (CITREM)

วัสดุอุปกรณ์

1. Hot plate with magnetic stirrer
2. Magnetic bar
3. บีกเกอร์

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร **CITREM** ตามวิธีการศึกษา
2. ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำมันถั่วเหลือง
3. ให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส

4. กวนด้วย Hot plate with magnetic stirrer ด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
5. ทิ้งไว้ให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปเตรียมอิมัลชัน

4. วิธีการเตรียมนมของเนสไซมันเต็ม (อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องปั่นผสมด้วยมือ (hand mixer, Sharp, EMS-51)
2. ขามผสมทรงสูง
3. ช้อนตวงของเหลว
4. ถ้วยชั่งส่วนผสม

วิธีการผสม

1. ชั่งส่วนผสมตามสูตรในตาราง สำหรับเตรียมนมของเนส 500 กรัม
2. ผสมน้ำตาล เกลือ น้ำส้มสายชู เข้าด้วยกัน คนให้ละลาย (เรียกว่า สารละลายปรุงรส)
3. แบ่งสารละลายปรุงรส ออกเป็น 2 ส่วน และน้ำมันถั่วเหลืองเป็น 3 ส่วน
4. ตีไข่แดงในขามผสมทรงสูง โดยใช้เครื่อง hand mixer ด้วยความเร็วสูงสุด (turbo) เวลา 1 นาที
5. ลดความเร็วในการปั่นให้เป็นเบอร์ 5 แล้วค่อยๆ เติมสารละลายปรุงรส 1 ช้อนโต๊ะ (แบ่งมาจาก ส่วนที่ 1) ปั่นผสมให้เข้ากัน เป็น เวลา 1 นาที
6. ค่อยๆ เติมน้ำมันส่วนที่ 1 ในระหว่างการปั่นผสมด้วยความเร็ว turbo โดยให้อัตราการเติม ประมาณ 0.3 กรัม/วินาที เป็นเวลา 8 นาที
7. ลดความเร็วในการปั่นให้เป็นเบอร์ 5 แล้ว ค่อยๆ เติมสารละลายปรุงรส ส่วนที่ 1 จนหมด เป็น เวลา 1 นาที
8. เพิ่มความเร็วของเครื่องปั่นเป็น turbo ค่อยๆ เติมน้ำมันส่วนที่ 2 ในระหว่างการปั่น โดยให้อัตราการเติมประมาณ 0.3 กรัม/วินาที เป็นเวลา 8 นาที
9. ลดความเร็วในการปั่นให้เป็นเบอร์ 5 แล้ว ค่อยๆ เติมสารละลายปรุงรส ส่วนที่ 2 จนหมด เป็น เวลา 2 นาที
10. เพิ่มความเร็วของเครื่องปั่นเป็น turbo ค่อยๆ เติมน้ำมันส่วนที่ 3 ในระหว่างการปั่น โดยให้อัตราการเติมประมาณ 0.3 กรัม/วินาที เป็นเวลา 8 นาที
11. ปั่นผสมให้เข้ากันอีกครั้งด้วยลดความเร็วเบอร์ 5 เป็นเวลา 1 นาที โดยในการเตรียมนมของเนส 500 กรัม ใช้เวลาผสม 30 นาที

5. วิธีการเตรียมอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมันในน้ำมัน

วิธีการผสม

1. นำน้ำมันถั่วเหลืองที่มีสารอิมัลซิไฟเออร์ละลายอยู่ (ตามภาคผนวก ก 3.2-3.6) ใส่ลงในเครื่องปั่นเอนกประสงค์
2. ค่อยๆ เติมสารละลายปรุงรสตามสูตรส่วนผสมในตารางที่ 1 ลงในเครื่องปั่นเอนกประสงค์ด้วยความเร็วเบอร์ 5 ใช้เวลานาน 4 นาที จะได้เป็นอิมัลชันที่มีอนุภาคหยาบ
3. นำอิมัลชันหยาบมาผสมผ่านเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ความดันสูงชนิด 2 stage หนึ่งรอบ ที่ความดัน stage แรกเท่ากับ 340 บาร์ และ stage ที่สองเท่ากับ 60 บาร์

6. วิธีการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำ

วิธีการผสม

1. ชั่งส่วนผสมตามสูตรในตารางที่ 2 ในการเตรียมอิมัลชัน 500 กรัม
2. เตรียมอิมัลชันเชิงเดี่ยวตามภาคผนวก ก 5
3. แบ่งสารละลายปรุงรส ออกเป็น 2 ส่วน และอิมัลชันเชิงเดี่ยวเป็น 3 ส่วน
4. ตีไข่แดงในชามผสมทรงสูง โดยใช้เครื่อง hand mixer ด้วยความเร็วสูงสุด (turbo) เวลา 1 นาที
5. ลดความเร็วในการปั่นให้เป็นเบอร์ 5 แล้วค่อยๆ เติมสารละลายปรุงรส 1 ซ้อนโต๊ะ (แบ่งมาจากส่วนที่ 1) ปั่นผสมให้เข้ากัน เป็น เวลา 1 นาที
6. ค่อยๆ เติมอิมัลชันเชิงเดี่ยวส่วนที่ 1 ในระหว่างการปั่นผสมด้วยความเร็ว turbo โดยให้อัตราการเติมประมาณ 0.3 กรัม/วินาที จนหมดส่วนที่ 1
7. ลดความเร็วในการปั่นให้เป็นเบอร์ 5 แล้ว ค่อยๆ เติมสารละลายปรุงรส ส่วนที่ 1 จนหมด โดยให้อัตราการเติมประมาณ 0.3 กรัม/วินาที
8. เพิ่มความเร็วของเครื่องปั่นเป็น turbo ค่อยๆ เติมอิมัลชันเชิงเดี่ยวส่วนที่ 2 ในระหว่างการปั่น โดยให้อัตราการเติมประมาณ 0.3 กรัม/วินาที
9. ลดความเร็วในการปั่นให้เป็นเบอร์ 5 แล้ว ค่อยๆ เติมสารละลายปรุงรส ส่วนที่ 2 จนหมด ให้อัตราการเติมประมาณ 0.3 กรัม/วินาที
10. เพิ่มความเร็วของเครื่องปั่นเป็น turbo ค่อยๆ เติมอิมัลชันเชิงเดี่ยวส่วนที่ 3 ในระหว่างการปั่น โดยให้อัตราการเติมประมาณ 0.3 กรัม/วินาที
11. ปั่นผสมให้เข้ากันอีกครั้งด้วยลดความเร็วเบอร์ 5 เป็นเวลา 1 นาที โดยในการเตรียมอิมัลชัน 500 กรัม ใช้เวลาผสม 30 นาที

12. นำอิมัลชันหยาบมาผสมผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงชนิด 2 stage หนึ่งรอบ ที่ความดัน stage แรกเท่ากับ 170 บาร์ และ stage ที่สองเท่ากับ 60 บาร์ (การใช้ความดันต่ำเพื่อป้องกันการแตกของครีโอล์ทีนน้ำในอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันที่เป็นอิมัลชันชั้นใน)

ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไขมันและเชื้อจุลินทรีย์

1. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (ดัดแปลงจาก AOAC Official method 950.54 (Fat (total) in food dressing))

วัสดุอุปกรณ์

6. ขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร
7. กรวยแยก (separatory funnel) 250 มิลลิลิตร
8. กระบอกตวง ขนาด 25 มิลลิลิตร
9. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
10. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
11. เม็ดแก้ว (glass beads)
12. ถ้วยระเหย (evaporation dish) (อบไล่ความชื้นและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน)
13. เครื่องปั่นเหวี่ยง
14. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
15. เตาให้ความร้อน

สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริก
2. ไดเอทิลอีเทอร์
3. ปีโตรเลียมอีเทอร์

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างมาของเนส 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม กรดไฮโดรคลอริก 10 มิลลิลิตร
3. เขย่าขวด แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าทุกๆ 5 นาที ครบเวลา ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ใส่ลงในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
5. เติมน้ำไดเอทิลอีเทอร์ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ เป็นเวลา 2 นาที
6. เติมน้ำปีโตรเลียมอีเทอร์ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ เป็นเวลา 2 นาที
7. นำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง เป็นเวลา 10 นาที ที่ ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที

8. รินแยกส่วนไขมันส่วนไขมันด้านบนใส่ลงในถ้วยระเหย แล้วนำสารละลายที่อยู่ด้านล่างไปสกัดซ้ำอีกครั้ง
9. นำส่วนไขมันไปรวมกับครั้งแรก
10. เติม glass beads จากนั้นนำไประเหยในตู้ดูดควันด้วยเตาให้ความร้อนประมาณ 100 องศาเซลเซียส จนสารละลายอีเทอร์ระเหยหมด
11. ทิ้งไว้ให้เย็นชั่งน้ำหนัก แล้วชั่งน้ำหนักน้ำมันที่ได้นำมาคำนวณตามสูตร

$$\text{ร้อยละของไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักมาของเนส}} \times 100$$

2. วิธีการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count Agar, TPA) (ตามวิธี Bacteriological Analytical Manual (2001))

วัสดุอุปกรณ์

1. สารละลายสำหรับเจือจาง 0.1 % peptone
2. Micropipette ขนาด 10 มล. และ 1000 μL .
3. Petridish ที่อบฆ่าเชื้อแล้ว
4. อาหารเลี้ยงเชื้อ -Plate count agar (PCA)

วิธีการทดลอง

1. เตรียม dilution โดยชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ใน ฟลาสก์ที่มี 0.1 % peptone ปริมาตร 225 มล. เขย่า 25-30 ครั้ง ได้ dilution 10^{-1}
2. ใช้ Micropipette ขนาด 10 มล. ดูดตัวอย่าง dilution 10^{-1} ปริมาตร 10 มล. ใส่ใน ฟลาสก์ที่มี 0.1 % peptone ปริมาตร 90 มล. เขย่า ได้ dilution 10^{-2}
3. ใช้ Micropipette ขนาด 10 มล. ดูดตัวอย่าง dilution 10^{-2} ปริมาตร 10 มล. ใส่ใน ฟลาสก์ที่มี 0.1 % peptone ปริมาตร 90 มล. เขย่า ได้ dilution 10^{-3}
4. ใช้ Micropipette ขนาด 1000 μL . ดูด ตัวอย่าง dilution 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} ลงในจาน Petridish จานละ 1 มล. Dilution ละ 3 จาน ตามลำดับ

5. เท อาหารเลี้ยงเชื้อ ลงไปในจาน Petridish
6. เขย่าเบาๆ ให้ตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อเข้ากันดี
7. รอจนอาหารแข็งตัวดีแล้ว นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 °C นับเชื้อเมื่อบ่มได้ 48 ชั่วโมง

3. วิธีการวิเคราะห์เชื้อราและยีสต์ (Yeast & mold Count) (ตามวิธี Bacteriological Analytical Manual (2001))

วัสดุอุปกรณ์

1. สารละลายสำหรับเจือจาง 0.1 % peptone
2. Micropipette ขนาด 10 มล. และ 1000 μ L.
3. Petridish ที่อบฆ่าเชื้อแล้ว
4. อาหารเลี้ยงเชื้อ - Potato dextrose agar (PDA) ปรับ pH 3.5 หลังนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว หรือเติม สารละลาย antibiotic ลงไป 2 % (สารละลาย antibiotic เตรียมโดยผสม chlortetracycline 500 มก. และ chloramphenicol 500 มก. ใน phosphate buffer ที่ปราศจากเชื้อ 100 มล.)

วิธีการทดลอง

1. เตรียม dilution โดยชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ใน ฟลาสก์ที่มี 0.1 % peptone ปริมาตร 225 มล. เขย่า 25-30 ครั้ง ได้ dilution 10^{-1}
2. ใช้ Micropipette ขนาด 10 มล. ดูดตัวอย่าง dilution 10^{-1} ปริมาตร 10 มล. ใส่ใน ฟลาสก์ที่มี 0.1 % peptone ปริมาตร 90 มล. เขย่า ได้ dilution 10^{-2}
3. ใช้ Micropipette ขนาด 10 มล. ดูดตัวอย่าง dilution 10^{-2} ปริมาตร 10 มล. ใส่ใน ฟลาสก์ที่มี 0.1 % peptone ปริมาตร 90 มล. เขย่า ได้ dilution 10^{-3}
4. ใช้ Micropipette ขนาด 1000 μ L. ดูด ตัวอย่าง dilution 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} ลงในจาน Petridish จานละ 1 มล. Dilution ละ 3 จาน ตามลำดับ
5. เท อาหารเลี้ยงเชื้อ ลงไปในจาน Petridish
6. เขย่าเบาๆ ให้ตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อเข้ากันดี
7. รอจนอาหารแข็งตัวดีแล้ว นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 °C นับเชื้อเมื่อบ่มได้ 3 วัน และ 5 วัน

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 14 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณลักษณะความชอบโดยรวมของเนส เพื่อทำการคัดเลือกสูตรควบคุม โดยผู้ทดสอบจำนวน 51 คน

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	53	709.240	13.382	5.029	< 0.0001
Error	150	399.167	2.661		
Corrected Total	203	1108.407			
Type I Sum of Squares analysis					
สูตร	3	525.583	175.194	65.835	< 0.0001
ผู้ชิม	50	183.657	3.673	1.380	0.071

ตารางที่ 15 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($D_{3,2}$) ของอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำในน้ำมันที่เตรียมโดยใช้ PGPR เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	4	1.545	0.386	13.742	0.000
Error	10	0.281	0.028		
Corrected Total	14	1.826			
Type I Sum of Squares analysis:					
trt	4	1.545	0.386	13.742	0.000

ตารางที่ 16 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของชั้นน้ำ ในอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียม โดยใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 50-80 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บไว้ 1 วัน และ 15 วัน ที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	5	6561.554	1312.311	44.621	< 0.0001
Error	11	323.515	29.410		
Corrected Total	16	6885.069			
Type I Sum of Squares analysis:					
trt	5	6561.554	1312.311	44.621	< 0.0001

ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย $D_{3,2}$ ของอิมัลชันเชิงซ้อน (W/O/W) ที่เตรียมโดยใช้ ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยว (W/O emulsion) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50-80 โดย น้ำหนัก

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	5	38.740	7.748	24.152	< 0.0001
Error	12	3.850	0.321		
Corrected Total	17	42.590			
Type I Sum of Squares analysis:					
trt	5	38.740	7.748	24.152	< 0.0001

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านต่างๆ ของอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดย
ใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 65 – 80 โดยน้ำหนัก โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
ความชอบโดยรวม					
Model	52	381.340	7.333	3.880	< 0.0001
Error	147	277.815	1.890		
Corrected Total	199	659.155			
Type I Sum of Squares analysis:					
ผู้ชิม	49	262.405	5.355	2.834	< 0.0001
% PE	3	118.935	39.645	20.977	< 0.0001
ลักษณะปรากฏ					
Model	52	377.360	7.257	4.116	< 0.0001
Error	147	259.195	1.763		
Corrected Total	199	636.555			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	218.305	4.455	2.527	< 0.0001
% PE	3	159.055	53.018	30.069	< 0.0001
ความขุ่นหนืด					
Model	52	405.940	7.807	3.718	< 0.0001
Error	147	308.680	2.100		
Corrected Total	199	714.620			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	273.120	5.574	2.654	< 0.0001
% PE	3	132.820	44.273	21.084	< 0.0001

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านต่างๆ ของอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดย
ใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 65 – 80 โดยน้ำหนัก โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (ต่อ)

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
ความเรียบเนียน					
Model	52	360.960	6.942	4.131	< 0.0001
Error	147	247.040	1.681		
Corrected Total	199	608.000			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	231.000	4.714	2.805	< 0.0001
% PE	3	129.960	43.320	25.777	< 0.0001
ความมัน					
Model	52	269.180	5.177	2.473	< 0.0001
Error	147	307.695	2.093		
Corrected Total	199	576.875			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	189.125	3.860	1.844	0.003
% PE	3	80.055	26.685	12.749	< 0.0001
กลิ่น					
Model	52	265.300	5.102	2.677	< 0.0001
Error	147	280.200	1.906		
Corrected Total	199	545.500			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	246.000	5.020	2.634	< 0.0001
% PE	3	19.300	6.433	3.375	0.020

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบด้านต่างๆ ของอิมัลชันเชิงซ้อนที่เตรียมโดย
ใช้ปริมาณอิมัลชันเชิงเดี่ยวร้อยละ 65 – 80 โดยน้ำหนัก โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (ต่อ)

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
รสชาติ					
Model	52	324.620	6.243	2.418	< 0.0001
Error	147	379.575	2.582		
Corrected Total	199	704.195			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	245.445	5.009	1.940	0.001
% PE	3	79.175	26.392	10.221	< 0.0001

ตารางที่ 19 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีความคงตัวของมาของเนสไทม์เต็มระหว่างการเก็บรักษา
ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	5	169.957	33.991	10.990	< 0.0001
Error	18	55.673	3.093		
Corrected Total	23	225.631			
Type I Sum of Squares analysis					
aging	5	169.957	33.991	10.990	< 0.0001

ตารางที่ 20 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีความคงตัวของมายองเนสไขมันลดไขมันอิ่มตัวชั้นเชิงซ้อนระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	5	2128.469	425.694	306.248	< 0.0001
Error	18	25.021	1.390		
Corrected Total	23	2153.489			
Type I Sum of Squares analysis					
aging	5	2128.469	425.694	306.248	< 0.0001

ตารางที่ 21 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคเฉลี่ย $D_{3,2}$ ของมายองเนสไขมันเต็ม (FF) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	5	15.967	3.193	16.377	< 0.0001
Error	12	2.340	0.195		
Corrected Total	17	18.307			
Type I Sum of Squares analysis					
อายุการเก็บ	5	15.967	3.193	16.377	< 0.0001

ตารางที่ 22 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย $D_{3,2}$ ของมายองเนสลดไขมันอิ่มตัวชั้นเชิงซ้อน (RF) ระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
Model	5	8.631	1.726	20.177	< 0.0001
Error	12	1.027	0.086		
Corrected Total	17	9.657			
Type I Sum of Squares analysis					
อายุการเก็บ (วัน)	5	8.631	1.726	20.177	< 0.0001

ตารางที่ 23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านต่างๆ ของมายองเนสไขมันเต็ม และมายองเนสลดไขมันด้วยระบบอิมัลชันเชิงซ้อน โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
ความชอบโดยรวม					
Model	50	96.060	1.921	0.846	0.721
Error	49	111.250	2.270		
Corrected Total	99	207.310			
Type I Sum of Squares analysis:					
ผู้ชิม	49	89.810	1.833	0.807	0.772
trt	1	6.250	6.250	2.753	0.103
ลักษณะปรากฏ					
Model	50	149.660	2.993	1.542	0.066
Error	49	95.090	1.941		
Corrected Total	99	244.750			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	145.250	2.964	1.528	0.071
trt	1	4.410	4.410	2.272	0.138
ความข้นหนืด					
Model	50	181.240	3.625	1.728	0.029
Error	49	102.760	2.097		
Corrected Total	99	284.000			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	178.000	3.633	1.732	0.029
trt	1	3.240	3.240	1.545	0.220

ตารางที่ 23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านต่างๆ ของมายองเนสไขมันเต็มและ
มายองเนสลดไขมันด้วยระบบอิมัลชันเชิงซ้อน โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (ต่อ)

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
ความเรียบเนียน					
Model	50	133.780	2.676	1.218	0.245
Error	49	107.610	2.196		
Corrected Total	99	241.390			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	130.890	2.671	1.216	0.248
trt	1	2.890	2.890	1.316	0.257
ความมัน					
Model	50	214.200	4.284	1.587	0.054
Error	49	132.240	2.699		
Corrected Total	99	346.440			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	207.440	4.233	1.569	0.059
trt	1	6.760	6.760	2.505	0.120
กลิ่น					
Model	50	157.560	3.151	0.942	0.584
Error	49	164.000	3.347		
Corrected Total	99	321.560			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	157.560	3.216	0.961	0.555
trt	1	0.000	0.000	0.000	1.000

ตารางที่ 23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านต่างๆ ของมายองเนสไขมันเต็มและ
มายองเนสลดไขมันด้วยระบบอิมัลชันเชิงซ้อน โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (ต่อ)

Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
รสชาติ					
Model	50	137.300	2.746	1.110	0.358
Error	49	121.210	2.474		
Corrected Total	99	258.510			
Type I Sum of Squares analysis					
ผู้ชิม	49	130.010	2.653	1.073	0.404
trt	1	7.290	7.290	2.947	0.092

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล ที่อยู่	นางสาวทิพย์คนยา ทิพนาคศิริสกุล ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ถ.ราชมรรคาใน ต.พระปฐมเจดีย์ อ.เมือง จ.นครปฐม 73000 โทรศัพท์ 034-219364 ต่อ 25217 โทรสาร 034-272194
วัน/เดือน/ปี เกิด	18 มีนาคม พ.ศ. 2521
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2534 – 2539	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนเบญจมเทพอุทิศจังหวัดเพชรบุรี
พ.ศ. 2540 – 2544	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2553	ศึกษาต่อระดับปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2546 – ปัจจุบัน	ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์