

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารทดแทนไขมันจากแป้งดัดแปรใน  
มายองเนสสูตรไขมันต่ำ

นางสาวกัลยา ชันธรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2553

**THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF MODIFIED  
STARCH-BASED FAT REPLACERS IN  
REDUCED FAT MAYONNAISES**

**Kallaya Khantarat**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Food Technology  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2010**

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารทดแทนไขมันจากแป้งดัดแปรใน  
มายองเนสสูตรไขมันต่ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ กาสลัก)  
ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวัฒน์ ไทยอุดม)  
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อาจารย์ ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริไธย)  
กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร วิทยาคุณ)  
กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ชูกิจ ลิ้มปิจำนงค์)  
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเวทย์ นิงสานนท์)  
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

กัลยา ขันธรัตน์ : คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารทดแทนไขมันจากแป้งดัดแปรในมายองเนส  
สูตรไขมันต่ำ (THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF MODIFIED STARCH-BASED  
FAT REPLACERS IN REDUCED FAT MAYONNAISES) อาจารย์ที่ปรึกษา :  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวฒ ไทยอุดม, 128 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้คือ 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งดัดแปร  
ได้แก่ ไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต (Hydroxypropyl distarch phosphate : HDP)  
มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin: MD) และโซเดียมออกเตนิลซัคซิเนต (Starch sodium octenyl  
succinate: SSO) เป็นสารทดแทนไขมัน ต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพในมายองเนสสูตรไขมันต่ำ  
เปรียบเทียบกับมายองเนสสูตรไขมันเต็ม (FF) และหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ  
ของมายองเนสสูตรไขมันต่ำกับระดับการแทนที่ไขมัน (ร้อยละ 25, 50 และ 75 ของไขมันที่มีใน  
สูตร FF) ด้วยแป้งดัดแปร 2) เพื่อศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของแป้งดัดแปร (HDP ร้อยละ 8  
และ 10, MD ร้อยละ 28 และ 30 และ SSO ร้อยละ 10 และ 15) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของ  
มายองเนสสูตรไขมันต่ำ และ 3) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของ  
มายองเนสสูตรไขมันต่ำที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ทั้งนี้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ใช้ทดสอบ  
ประกอบไปด้วย ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน (ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางและการกระจายของอนุภาค  
เม็ดไขมัน) โครงสร้างระดับจุลภาค สี ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื้อสัมผัส (ค่าความ  
แน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะ) คุณสมบัติวิทยากระแส (ค่าดัชนีความคงตัว ค่าความหนืด Thixotropic  
ค่ามอดูลัสสะสม และค่ามอดูลัสสูญเสีย) การแยกชั้นไขมัน การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ  
น้ำมัน (TBA reactivity) และการทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อใช้ HDP ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 เป็นสารทดแทนไขมันส่งผลให้ค่าเฉลี่ยอนุภาคเม็ด  
ไขมันมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับการแทนที่ไขมัน โดยตัวอย่างมายองเนสทุกตัวอย่างที่เตรียมจาก  
HDP มีค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคเม็ดไขมันสูงกว่า FF ตัวอย่างที่มีระดับการแทนที่ไขมันด้วยแป้ง HDP  
ร้อยละ 25 มีค่าความแน่นเนื้อ ค่าดัชนีความคงตัว ค่าความหนืด และค่ามอดูลัสสะสมสูงกว่า FF  
แต่ตัวอย่างมายองเนสสูตรไขมันต่ำทุกตัวอย่างที่เตรียมจาก MD ที่ความเข้มข้นร้อยละ 28 มีค่าเฉลี่ย  
อนุภาคเม็ดไขมัน ค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะและค่ามอดูลัสสะสมต่ำกว่าตัวอย่าง FF ส่วน  
ตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจากแป้ง SSO ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และมีระดับการแทนที่ไขมันร้อย  
ละ 25 มีค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะ ค่าดัชนีความคงตัว ค่าความหนืด และค่ามอดูลัสสะสมสูง  
กว่า FF มายองเนสสูตรไขมันต่ำทุกตัวอย่างที่เตรียมจากแป้งดัดแปรทั้งสามชนิด ยกเว้นตัวอย่างที่  
เตรียมจาก MD ที่มีระดับการแทนที่ไขมันร้อยละ 75 มีค่าความสว่างมากกว่า FF โดยตัวอย่าง  
มายองเนสทุกตัวอย่างที่เตรียมจาก HDP และ SSO ไม่พบการแยกชั้นไขมันที่ทดสอบด้วยวิธีการ

ป็นเหยียง ซึ่งจะแตกต่างจากตัวอย่างที่เตรียมจาก MD โดยปริมาณการแยกชั้นของไขมันมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมัน ค่าความหนืด ค่ามอดูลัสสะสม ค่าความแน่นเนื้อ และค่าการยืดเกาะของตัวอย่างมาของเนสสูตรไขมันต่ำที่เตรียมจากแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมันสูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิดส่งผลให้ค่าดัชนีความคงตัว ค่ามอดูลัสสะสม ค่าความหนืด ค่าความแน่นเนื้อและค่าการยืดเกาะมีแนวโน้มสูงขึ้น

ผลของระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมาของเนสพบว่า มาของเนสทุกตัวอย่างที่ใช้แป้งคัดแปรเป็นสารทดแทนไขมันยกเว้นในตัวอย่างที่มีการใช้ MD เป็นสารทดแทนไขมันร้อยละ 50 และ 75 มีค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน ค่ามอดูลัสสะสม ค่าความแน่นเนื้อและค่าการยืดเกาะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย มาของเนสสูตรไขมันต่ำทุกตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างคงที่ แต่ค่า  $\Delta E$  มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ ในขณะที่เดียวกันค่า TBA reactivity ของตัวอย่าง FF และมาของเนสสูตรไขมันต่ำที่เตรียมจาก HDP และ MD มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ ยกเว้นตัวอย่างที่เตรียมจาก SSO

เมื่อพิจารณาความเสถียรทางด้านกายภาพของมาของเนสสูตรไขมันต่ำ พบว่าตัวอย่างที่เตรียมจาก HDP และ SSO มีความเสถียรตลอดการศึกษา แต่ทั้งนี้สามารถใช้ SSO เป็นสารทดแทนไขมันได้สูงสุดเพียงร้อยละ 50 ของไขมันใน FF และมีต้นทุนที่สูงกว่า HDP ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า HDP สามารถใช้ป็นสารทดแทนไขมันได้ดีกว่าแป้งคัดแปรตัวอื่น โดยตัวอย่างมาของเนสสูตรไขมันต่ำทุกตัวอย่างที่เตรียมจาก HDP ความเข้มข้นร้อยละ 8 ให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเรื่องความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ไม่ต่างจากตัวอย่าง FF

KALLAYA KHANTARAT : THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF  
 MODIFIED STARCH-BASED FAT REPLACERS IN REDUCED FAT  
 MAYONNAISES. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SIWATT  
 THAIUDOM, Ph.D., 128 PP.

MODIFIED STARCH/REDUCED FAT MAYONNAISE/FAT REPLACERS/  
 RHEOLOGY

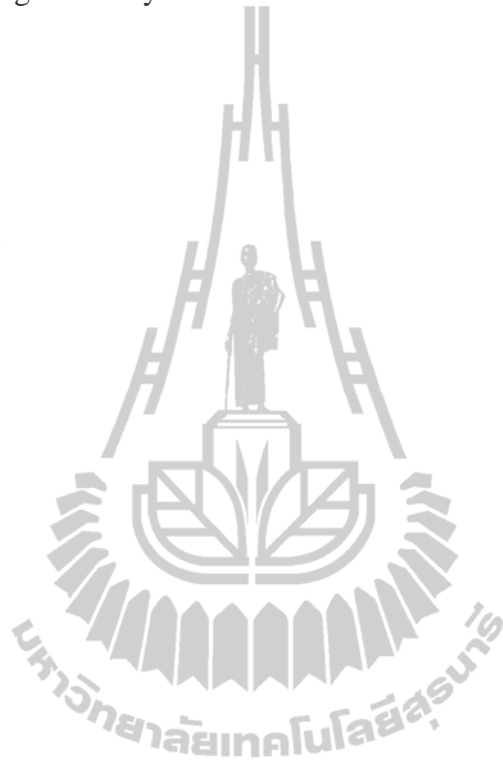
The objectives of this study were to 1) study the functional properties of modified starches (i.e. hydroxypropyl distarch phosphate or HDP, maltodextrin or MD, and starch sodium octenyl succinate or SSO) as fat replacers on physicochemical properties of reduced fat mayonnaises compared with the full fat mayonnaise (FF), and observe the correlation between physical properties and substitution levels (i.e. 25, 50 and 75 % of fat in FF recipe) of these modified starches, 2) find out the effect of starch concentrations (i.e. HDP 8 and 10, MD 28 and 30 and SSO 10 and 15%) on physical properties of reduced fat mayonnaises, and 3) study their stability and physicochemical properties as a function of storage time. The physicochemical properties of reduced fat mayonnaises, i.e. particle size of emulsion (mean droplet diameter:  $D_{43}$  and distribution of particle size), microstructure, color ( $L^*$   $a^*$  and  $b^*$ ), pH, texture (firmness and adhesiveness), rheological properties (consistency index:  $K$ , viscosity, thixotropic, storage modulus:  $G'$  and loss modulus:  $G''$ ), phase separation under centrifugal technique, lipid oxidation (TBA reactivity), and sensory evaluation were evaluated. D43 of reduced fat mayonnaises prepared with 8% HDP tended to increase when fat

substitution levels were increased. All mayonnaises prepared with HDP showed higher  $D_{43}$  than FF. Firmness, K, viscosity and  $G'$  of 25% reduced fat mayonnaises prepared from HDP were higher than those of FF. However,  $D_{43}$ , firmness, adhesiveness and  $G'$  of all reduced fat mayonnaises substituted with 28% MD were lower than those of FF. Mayonnaise substituted fat at 25% with 10% SSO had higher firmness, adhesiveness, K, viscosity and  $G'$  than FF. All reduced fat samples except 75% reduced fat mayonnaise prepared from MD were brighter than FF. Mayonnaises which were substituted fat with HDP and SSO did not show phase separation while those with MD did. However, increasing fat substitution levels with all modified starches could decrease the phase separation. The decrease in viscosity,  $G'$ , firmness, and adhesiveness of all reduced fat mayonnaises attributed to an increase in fat substitution while increasing modified starch concentration could cause K,  $G'$ , viscosity, firmness, and adhesiveness to increase.

The effect of 12-week storage time on the physicochemical properties of mayonnaises showed that  $D_{43}$ ,  $G'$ , firmness, and adhesiveness of all reduced fat mayonnaises except mayonnaises prepared with MD were quite constant. The pH values of all mayonnaises were constant throughout storage time while the  $\Delta E$  tended to increase as storage time increased. Increasing storage time caused TBA reactivity of all reduced fat mayonnaises to increase except the ones prepared with SSO.

All samples prepared from HDP and SSO were stable throughout storage time. However, SSO could be used as a fat replacer at only 50% fat substitution. Moreover, SSO costs more than HDP. Thus, the overall conclusion showed that

HDP could be used as a fat replacer, best among the others. Moreover, the sensory preference score of all reduced fat mayonnaises which were substituted fat with 8% HDP was not significantly different from that of FF.



School of Food Technology

Student's Signature \_\_\_\_\_

Academic Year 2010

Advisor's Signature \_\_\_\_\_



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวัด ไทยอุดม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำปรึกษา ชี้แนะ ให้ความช่วยเหลือ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะวรรณ กาสลัก ประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. จตุพร วิทยาคุณ และอาจารย์ ดร. รัชฎาพร อุ่นศิริไฉย กรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ที่ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ให้การเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.- อุตสาหกรรมร่วมกับบริษัทอินโนเฟรช จำกัด ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้โอกาสทางการศึกษาและสนับสนุนทุนการศึกษา ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสศึกษาต่อในระดับปริญญาโท และกราบขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรทุกท่าน ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการตลอดการศึกษาในมหาวิทยาลัยแห่งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาคารเครื่องมือ 1 และ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี- สุรนารีทุกท่าน ที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ และน้อง ที่คอยให้กำลังใจ ดูแลเอาใจใส่และส่งเสริมให้มีโอกาสได้ศึกษาเล่าเรียน ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้อง ๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารทุก ๆ คน ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ประสพการณ์ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

กัลยา ชันธรัตน์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฒ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ขีดตกลงเบื้องต้น.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
<b>2 ทัศนวิสัยวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>6</b>
2.1 มาของเนส.....	6
2.1.1 ส่วนประกอบของมาของเนส.....	6
2.1.2 การผลิตมาของเนส.....	10
2.2 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์.....	10
2.2.1 High speed blender.....	11
2.2.2 Colloid mills.....	11
2.2.3 High pressure valve homogenizer.....	12
2.3 สารทดแทนไขมัน.....	14
2.3.1 ประเภทของสารทดแทนไขมัน.....	14

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2	แหล่งที่มาของสารทดแทนไขมัน.....	15
2.4	คุณภาพของมายองเนส .....	19
2.4.1	คุณภาพด้านกายภาพ.....	19
2.4.2	คุณภาพด้านเคมี.....	23
2.4.2	คุณภาพด้านจุลินทรีย์.....	25
2.5	การตรวจสอบคุณภาพของมายองเนส.....	25
2.5.1	คุณภาพด้านกายภาพ.....	25
2.5.2	คุณภาพด้านเคมี.....	35
2.6	คุณสมบัติของมายองเนสสูตรลดไขมัน.....	36
2.6.1	คุณสมบัติทางกายภาพ.....	36
2.6.2	คุณสมบัติทางเคมี.....	37
2.6.3	คุณสมบัติทางจุลินทรีย์.....	38
2.6.4	คุณสมบัติด้านประสาทสัมผัส.....	38
3	วัสดุและวิธีการทดลอง.....	40
3.1	วัตถุประสงค์.....	40
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	40
3.3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	41
3.3.1	การวัดคุณสมบัติเบื้องต้นของมายองเนสสูตรการค้า.....	43
3.3.2	การวัดคุณสมบัติเบื้องต้นของแป้งดัดแปร.....	43
3.3.3	การเตรียมตัวอย่างแป้งดัดแปรเพื่อวิเคราะห์หาความหนืดที่เหมาะสม ในการเป็นสารทดแทนไขมัน.....	43
3.3.4	การเตรียมตัวอย่างมายองเนส.....	44
3.3.5	การตรวจสอบคุณภาพมายองเนส.....	45
3.3.6	การทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	48
3.4	การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	48

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5	สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล.....	49
<b>4</b>	<b>ผลการทดลองและการวิจารณ์.....</b>	<b>50</b>
4.1	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสสูตรการค้า.....	50
4.2	คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งคัดแปร.....	51
4.3	อิทธิพลของชนิดแป้งคัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนส.....	56
4.3.1	อิทธิพลของแป้งคัดแปรต่อค่าเฉลี่ยอนุภาคเม็ดไขมัน.....	56
4.3.2	อิทธิพลของแป้งคัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดไขมัน.....	59
4.3.3	อิทธิพลของแป้งคัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อสีของมายองเนส.....	62
4.3.4	อิทธิพลของแป้งคัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส.....	63
4.3.5	อิทธิพลของแป้งคัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อคุณสมบัติด้านวิทยากระแสน.....	64
4.3.6	ความสัมพันธ์ของระดับการแทนที่ไขมันจากแป้งคัดแปรแต่ละชนิดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนส.....	70
4.4	อิทธิพลความเข้มข้นของแป้งคัดแปรในมายองเนสสูตรไขมันต่ำต่อคุณสมบัติทางกายภาพ.....	74
4.4.1	ผลของความเข้มข้นของแป้งคัดแปรต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมัน.....	74
4.4.2	ผลของความเข้มข้นของแป้งคัดแปรต่อเนื้อสัมผัส.....	76
4.4.3	ผลของความเข้มข้นของแป้งคัดแปรต่อคุณสมบัติด้านวิทยากระแสน.....	78
4.4.4	ผลของความเข้มข้นของแป้งคัดแปรต่อความเสถียร.....	79
4.5	อิทธิพลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนส.....	85
4.5.1	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน.....	85

## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

4.5.2	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณสมบัติวิสกี้ โคอีลาสติก.....	84
4.5.3	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อเนื้อสัมผัส.....	86
4.5.4	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อสี.....	90
4.5.5	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	95
4.5.6	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน.....	96
4.6	ผลการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์.....	98
4.7	การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส.....	102
5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	104
5.1	บทสรุป.....	104
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	105
	เอกสารอ้างอิง.....	106
	ภาคผนวก ก (วิธีการทดลอง).....	116
	ภาคผนวก ข (ผลการทดลอง).....	119
	ประวัติผู้เขียน.....	128

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	แสดงส่วนผสมของเนส.....47
4.1	ส่วนประกอบของมายองเนสสูตรการค้าที่ระบุในฉลาก.....50
4.2	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสสูตรการค้า.....52
4.3	คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิด.....54
4.4	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสที่ใช้แป้งคัดแปรแตกต่างกันเป็นสารทดแทนไขมันที่มีระดับการแทนที่ไขมันแตกต่างกัน.....58
4.5	คุณสมบัติด้านวิทยากระแสน์ของมายองเนส.....68
4.6	Pearson's correlation coefficients ของมายองเนสที่ใช้แป้ง HDP เป็นสารทดแทนไขมันกับคุณสมบัติทางกายภาพ.....71
4.7	Pearson's correlation coefficients ของมายองเนสที่ใช้แป้ง MD เป็นสารทดแทนไขมันกับคุณสมบัติทางกายภาพ.....72
4.8	Pearson's correlation coefficients ของมายองเนสที่ใช้แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมันกับคุณสมบัติทางกายภาพ.....73
4.9	เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนสที่ใช้แป้งคัดแปรที่มีความเข้มข้นและมีระดับการแทนที่ไขมันแตกต่างกัน.....77
4.10	Rank sum ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมายองเนส.....102
ข.1	การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดแป้ง HDP ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจากเครื่อง Laser particle size analyzer.....121
ข.2	การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจากเครื่อง Laser particle size analyzer ของตัวอย่าง 25H08.....123

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของเลซีตินในไข่แดง.....	8
2.2	องค์ประกอบที่มีในไข่แดงที่ดูชัดที่ผิวของอนุภาคไขมันในสถานะที่มี และไม่มีเกลือ .....	10
2.3	โฮโมจีไนเซอร์แบบต่าง ๆ.....	12
2.4	แสดงขนาดโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์หลังจากการโฮโมจีไนซ์.....	13
2.5	โครงสร้างแกรนูลของแป้งตัดแปรแบบเชื่อมข้าม (Cross linkage) .....	18
2.6	โครงสร้างของแป้ง SSO.....	19
2.7	กระบวนการเกิดความไม่เสถียรของอิมัลชัน.....	20
2.8	ภาพถ่ายด้วยเครื่อง Scanning electron microscope คูการกระจายตัวของ อนุภาคเม็ดไขมันในมายองเนส และน้ำสลัด.....	23
2.9	ลักษณะของพฤติกรรมการไหล.....	28
2.10	Rheogram ของการไหลแบบ Thixotropic.....	29
2.11	การเสีรูปร่างของอิมัลชันเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนให้กับตัวอย่าง.....	31
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเครียด หรือความเค้น กับเวลาเมื่อให้ ความเค้นหรือความเครียดคงที่แก่วัสดุที่ปั่นของแข็งในอุดมคติ หรือวัสดุอีลาสติก วัสดุวิสโคอีลาสติก และวัสดุที่เป็นของไหลในอุดมคติ.....	32
2.13	ความเค้นที่สนองตอบความเครียดของวัสดุที่แตกต่างกัน.....	32
2.14	กราฟที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส.....	34
2.15	ภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของมายองเนสด้วยเทคนิค SEM.....	37
4.1	ความหนืดของแป้งตัดแปรที่เตรียมจากความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	55
4.2	ความหนืดของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่เตรียมจากแป้ง SSO ที่มีระดับ การแทนที่ไขมันร้อยละ 50 ของมายองเนสสูตรไขมันเต็ม.....	56
4.3	การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันของมายองเนส.....	60
4.4	ภาพการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันของมายองเนสจากกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 1000 เท่า.....	61
4.5	พฤติกรรมการไหลของมายองเนส.....	65

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.6	คุณสมบัติวิสโคอีลาสติกของมายองเนส.....	69
4.7	การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่งมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่เตรียมจากแป้ง HDP.....	76
4.8	พฤติกรรมการไหลของมายองเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 (ก) และ 10 (ข) .....	79
4.9	การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ของตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP (ก), MD (ข), และ SSO (ค) เปรียบเทียบกับตัวอย่างมายองเนสสูตรไขมันเต็มและสูตรการค้า.....	82
4.10	การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่เตรียมจากแป้ง HDP เป็น สารทดแทนไขมันที่ระยะเวลา 0 และ 12 สัปดาห์.....	83
4.11	การเปลี่ยนแปลงค่ามอดูลัสสะสมของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ที่เตรียมจากแป้ง HDP (ก), MD (ข) และ SSO (ค) เปรียบเทียบกับ FF และมายองเนสสูตรการค้า ที่ความถี่ 1 เฮิร์ต และ ค่า Strain ร้อยละ 0.5.....	85
4.12	การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อและค่าการยืดเกาะของตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจาก HDP ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ.....	87
4.13	การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อและค่าการยืดเกาะของตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจาก MD ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ.....	88
4.14	การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อและค่าการยืดเกาะของตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจาก SSO ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ.....	89
4.15	การเปลี่ยนแปลงค่า $L^*$ ของตัวอย่างมายองเนสที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ .....	91
4.16	การเปลี่ยนแปลงค่า $a^*$ ของตัวอย่างมายองเนสที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ.....	92
4.17	การเปลี่ยนแปลงค่า $b^*$ ของตัวอย่างมายองเนสที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ .....	93
4.18	การเปลี่ยนแปลงค่า $\Delta E$ ของตัวอย่างมายองเนสที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ .....	94
4.19	การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ที่เตรียมจากแป้ง HDP(ก), MD (ข) และ SSO (ค).....	95
4.20	ค่าการดูดซับแสงที่ 532 นาโนเมตร ของมายองเนสสูตรไขมันต่ำ ที่เตรียมจากแป้ง HDP ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 (ก) และ 10 (ข) ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ.....	99



## สารบัญภาพ (ต่อ)

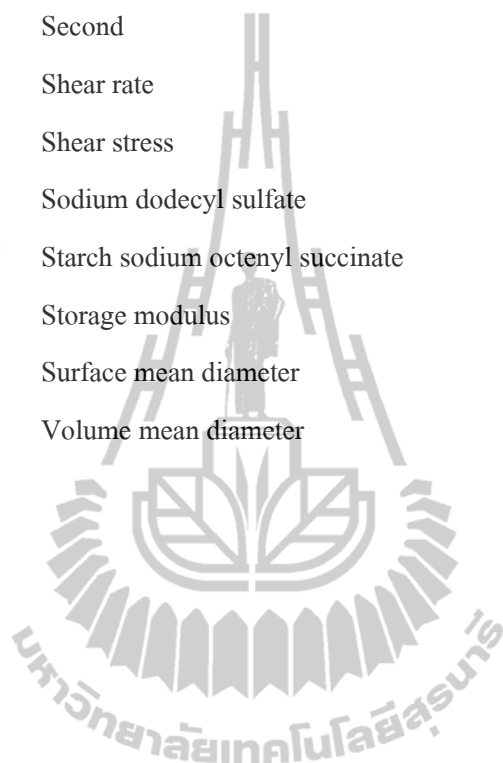
ภาพที่	หน้า
4.21 ค่าการดูดซับแสงที่ 532 นาโนเมตร ของมายองเนสสูตรไขมันต่ำของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่เตรียมจากแป้ง MD ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 28 (ก) และ 30 (ข) ที่ระยะเวลาจัดเก็บต่าง ๆ .....	100
4.22 ค่าการดูดซับแสงที่ 532 นาโนเมตร ของมายองเนสสูตรไขมันต่ำของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่เตรียมจากแป้ง SSO ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (ก) และ 15 (ข) ที่ระยะเวลาจัดเก็บต่าง ๆ.....	101
ข.1 กราฟแสดงการกระจายตัวของเม็ดแป้ง HDP.....	120
ข.2 กราฟการกระจายตัวของอนุภาคในตัวอย่าง 25H08 ที่วัดด้วยเครื่อง Laser particle size analyser.....	122
ข.3 Linear viscoelastic regoin ของตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP.....	124
ข.4 Linear viscoelastic regoin ของตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจากแป้ง MD.....	124
ข.5 Linear viscoelastic regoin ของตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจากแป้ง SSO.....	125
ข.6 เชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญบนแผ่นอาหารเลี้ยงสำเร็จรูป 3M petrifilm <sup>TM</sup> .....	126

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$v$	=	Accerelate velocity
$\omega$	=	Angular freequency
K	=	Consistency index
$^{\circ}\text{C}$	=	Degree Celsius
$\Delta, \delta$	=	Delta
$\rho$	=	Density
n	=	Flow behavior index
FF	=	Full fat mayonnaise
g	=	Gram
xg	=	Gravitational acceleration
Hz	=	Hertz
h	=	Hour
HDP	=	Hydroxypropyl distarch phosphate
in	=	Inch
kg	=	Kilogram
G"	=	Loss modulus
MD	=	Maltodextrin
$\mu\text{m}$	=	Micrometer
m	=	Milli
mL	=	Milliliter
min	=	Minute
M	=	Molar
nm	=	nanometer
Pa	=	Pascal
p	=	Probability
r	=	Peason's correlation coefficient
TBA	=	Thiobarbituric acid

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

s	=	Second
$\gamma$	=	Shear rate
$\sigma$	=	Shear stress
SDS	=	Sodium dodecyl sulfate
SSO	=	Starch sodium octenyl succinate
G'	=	Storage modulus
D32	=	Surface mean diameter
D43	=	Volume mean diameter



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำงานวิจัย

ปัจจุบันคนไทยใส่ใจในสุขภาพตนเองกันมากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมสูงขึ้น โดยเฉพาะผู้ที่มีปัญหาเรื่องน้ำหนักตัวเกินมาตรฐานจะเพิ่มความระมัดระวังในการรับประทานอาหารมากขึ้น เนื่องจากโรคอ้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคอื่น ๆ ตามมาเช่น โรคหลอดเลือดหัวใจตีบ โรคเบาหวาน โรคนี้้วนในถุงน้ำดี มะเร็งบางชนิด และโรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผลต่อปัญหาทางเพศสัมพันธ์ ด้านจิตใจและมีผลโดยตรงต่อบุคลิกภาพ (แสง โสม สีนะวัฒน์ , นิรมล ดามาพงษ์ และ นันทจิต บุญมงคล, 2541; วิศาล เขาวงศ์ศิริ, 2551 ) การบริโภคอาหารที่มีปริมาณไขมันสูงเป็นสาเหตุหนึ่งของการมีน้ำหนักตัวที่เกินมาตรฐาน ด้วยเหตุนี้ผู้ที่ใส่ใจในสุขภาพและบุคลิกภาพจึงนิยมบริโภคอาหารที่มีปริมาณไขมันต่ำมากขึ้น ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อควบคุมน้ำหนัก และลดส่วนผสมที่เป็นสารให้พลังงานมีแนวโน้มมากขึ้นในธุรกิจอุตสาหกรรมอาหาร ที่มีการแข่งขันทางการผลิตและพัฒนาสูตรเพื่อให้ตรงต่อความต้องการของผู้บริโภค ทั้งในแง่การส่งเสริมสุขภาพและรสชาติ และในแง่ของการลดต้นทุนการผลิต หมายของเนสถือได้ว่าเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการพัฒนาสูตรการผลิตโดยการลดปริมาณไขมัน เพื่อตอบสนองต่อกระแสการตื่นตัวของผู้บริโภคทางด้านสุขภาพ เนื่องจากส่วนผสมหลักของหมายของเนสมีปริมาณไขมันสูงถึงร้อยละ 70 ถึง 80 โดยน้ำหนัก (Depree and Savge, 2001; Ford, Borwankar, Pechak and Schwimmer, 2004) ดังนั้นที่ผ่านมาจึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารทดแทนไขมันที่มาจากแหล่งต่าง ๆ แต่ยังคงไว้ซึ่งคุณสมบัติดั้งเดิมของหมายของเนสอันจะทำให้เกิดการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค สารที่ใช้ทดแทนไขมันที่มีการศึกษาค้นคว้ามาแล้วโดยส่วนใหญ่มีกมาจากแป้งที่ผ่านกระบวนการดัดแปรเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (Akoh, 1998; Cheung, Gomes ,Ramsden and Roberts, 2002; Murphy, 1999) หรือ สารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์ต่าง ๆ เช่น เพคติน (Cheung, Gomes, Ramsden and Roberts, 2002; Pedersen and Cristain, 1997 ;) เบต้า-กลูเคน (Santipanichwong and Suphantarika, 2007; Worrasinchai, Suphantarika, Pinjai and Jamnong, 2006) และคาร์ราจีแนน เป็นต้น หมายของเนสถือเป็นระบบอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water) อยู่ในสภาพกึ่งของแข็ง (Semi-solid) โดยน้ำมันซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักมีความสำคัญในการกำหนดลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ของหมายของเนส เนื่องจากน้ำมันเป็นตัวทำละลายสารให้สี กลิ่น รส และวิตามินที่ไม่ ละลายน้ำ น้ำมันจะกระจายตัว

เป็นอนุภาคขนาดเล็กอยู่ในระบบอิมัลชัน ระบบจะมีความเสถียรเนื่องจากอนุภาคไขมันอยู่กันอย่างหนาแน่น ทำให้อนุภาคเม็ดไขมันจึงเคลื่อนที่ได้ยาก หน้าที่ของน้ำมันในมายองเนสคือให้ลักษณะปรากฏที่เป็นมันเงาวาว (Sheen) ช่วยกลบรสเปรี้ยวจากกรดน้ำส้มหรือน้ำมะนาวที่เป็นส่วนผสมหลักของมายองเนส โดยน้ำมันจะช่วยเคลือบที่ปากและลิ้นจึงทำให้รับรสเปรี้ยวได้น้อยลง น้ำมันมีผลต่อกลิ่น-รสของมายองเนส ซึ่งผู้บริโภคจะได้รับรสชาติของความมัน (Fattiness) นอกจากนี้ น้ำมันและขนาดอนุภาคเม็ดไขมันยังมีผลต่อสมบัติวิทยาการระแแส (Rheological properties) ของมายองเนส ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัส ความรู้สึกเมื่ออยู่ในปาก (Mouthfeel) ความสามารถในการไหล การตัด ความคงรูป รวมถึงความสามารถในการแผ่กระจาย (Spread) ของมายองเนส โดยทั่วไปมายองเนสจะแสดงคุณสมบัติแบบวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic Propertie) โดยจะแสดงพฤติกรรมด้านวิทยาการระแแสอยู่ระหว่างของแข็งและของเหลว (Peressini, Sensidoni, and Cindio, 1998; Worrasinchai et al., 2006) โดยปริมาณไขมันและขนาดอนุภาคของเม็ดไขมันมีส่วนในการกำหนดคุณสมบัติวิทยาการระแแสของมายองเนส น้ำมันที่ใช้ในการผลิตมายองเนสส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันพืช เช่นน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันข้าวโพด เป็นต้น

แม้ว่าการใช้สารทดแทนไขมันในมายองเนสจะมีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย แต่การใส่แป้งดัดแปรนั้นยังมีการศึกษาในวงจำกัด ดังนั้นการวิจัยนี้จึงศึกษาคุณลักษณะของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่มีการใส่แป้งดัดแปรเป็นสารทดแทนไขมัน 3 ชนิดประกอบด้วยมอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin; MD) แป้งโซเดียมออกเทนนิลซัคซิเนต (Starch sodium octenyl succinate ; SSO) และไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต (Hydroxypropyl distarch phosphate; HDP) เนื่องจากแป้งดัดแปรจะให้คุณสมบัติที่ไม่มีสี กลิ่น และ รส แป้งจึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลายแตกต่างกันไปขึ้นกับอาหารแต่ละชนิด

1) MD เป็นแป้งดัดแปรที่ผ่านกระบวนการใช้กรด หรือ เอนไซม์ตัดพันธะเพื่อให้ได้สายโพลีเมอร์ของแป้งมีขนาดสั้นลง โดยน้ำหนักโมเลกุลของ MD จะอยู่ระหว่างโพลีแซคคาไรด์และโอลิโกแซคคาไรด์ MD ยังคงประกอบด้วยสายอะไมโลส และ อะไมโลเพคติน ซึ่งขนาดของสายโพลีเมอร์จะถูกระบุด้วยค่า Dextrose equivalent (DE) ซึ่งจะมีค่าระหว่าง 5 ถึง 20 และเมื่อเทียบกับสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น MD มีราคาถูกกว่า โครงสร้างของเจลของ MD จะมีลักษณะอ่อน ลักษณะคล้ายครีมที่ไม่มีรสชาติ จึงทำให้อาหารมีคุณสมบัติด้านคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัส (Organoleptic) เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความรู้สึกเมื่ออยู่ในปาก เป็นต้น

2) SSO เป็นแป้งดัดแปรที่มีการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลกลูโคสด้วยหมู่ออกเทนนิลซัคซิเนต (Octenyl succinate) ทำให้แป้งมีคุณสมบัติทั้งชอบและไม่ชอบน้ำอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน ดังนั้นแป้ง SSO สามารถทำหน้าที่ได้ทั้งอิมัลซิไฟเออร์และสารเพิ่มความคงตัว โดยแป้ง

SSO จะไปดูดซับที่บริเวณผิวสัมผัสของน้ำและน้ำมันก่อให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมัน จึงส่งผลให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียร (Tesch, Gerhards and Schubert, 2002) นอกจากนี้แป้ง SSO ยังใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดในอาหารได้โดยการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิก ระหว่างโมเลกุลของสายอะไมโลส และอะไมโลเพคติน ทำให้เกิดโครงสร้าง 3 มิติ เกิดเป็นเจลที่ช่วยให้ระบบอิมัลชันมีความหนืดเพิ่มขึ้นแล้วส่งผลให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น (Ortega-Ojeda, Larsson and Eliasson, 2005)

3) HDP เป็นแป้งดัดแปรที่ผ่านกระบวนการดัดแปรแบบผสมกันระหว่างการเชื่อมข้าม (Crosslink) และแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล (Hydroxypropyl) ในสายโมเลกุลของแป้ง ทำให้แป้งมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) สูงขึ้น เจลของแป้ง HDP จะมีลักษณะอ่อน (Hoover, Hannouz and Sosulski, 1988; Liu, Ramsden and Corke 1999; Yeh and Yeh, 1993) แป้ง HDP จะมีความแข็งแรงทนต่อการแรงเฉือน ทนต่อความเป็นกรด-ด่าง และทนต่อการย่อยของเอนไซม์อะไมเลส เมื่อนำแป้ง HDP มาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในน้ำสลัดหรือมายองเนสจะช่วยให้ปรับปรุงคุณลักษณะของความรู้สึกเมื่ออยู่ในปากคือเพิ่มลักษณะเป็นเนื้อครีมได้ (Murphy, 2000)

จากข้อมูลเบื้องต้นกล่าวได้ว่าแป้งดัดแปรนอกจากนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในมายองเนสแล้วยังสามารถใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดและอาจสามารถช่วยในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันได้เนื่องจากช่วยลดความสามารถในการเคลื่อนที่ของออกซิเจนในระบบ แต่ทั้งนี้ยังไม่มีข้อมูลการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ในด้านความสามารถในเชิงหน้าที่และคุณสมบัติด้านเคมีกายภาพของแป้งดัดแปรทั้ง 3 ชนิดในการใช้เป็นสารทดแทนน้ำมันในมายองเนส ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาการใช้แป้งดัดแปรทั้ง 3 ชนิด มาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในมายองเนสสูตรไขมันต่ำในงานวิจัยนี้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งดัดแปรแต่ละชนิดได้แก่แป้ง HDP, MD และ SSO ในด้านความสามารถเป็นสารทดแทนไขมันและหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่มาจากการใช้แป้งดัดแปรและระดับการแทนที่ไขมัน (ร้อยละ 25, 50 และ 75 ของมายองเนสสูตรไขมันเต็ม) ที่แตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของแป้งดัดแปร (HDP ร้อยละ 8 และ 10 MD ร้อยละ 28 และ 30 และ SSO ร้อยละ 10 และ 15) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่มีแป้งดัดแปรเป็นสารทดแทนไขมัน

1.2.3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสสูตรไขมันต่ำเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บตลอด 12 สัปดาห์

1.2.4 เพื่อศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์มายองเนสสูตรไขมันต่ำจากผู้บริโภคที่ผลิตจากแป้งคัดแปรที่มีศักยภาพในการเป็นสารทดแทนไขมันสูงที่สุด

### 1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

1.3.1 ชนิดและระดับการแทนที่ไขมันจากแป้งคัดแปรมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสสูตรไขมันต่ำ

1.3.2 ความเข้มข้นของแป้งคัดแปรแต่ละชนิดที่มีระดับการแทนที่ไขมันเท่ากันมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสสูตรไขมันต่ำ

1.3.3 ระยะเวลาการเก็บมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสสูตรไขมันต่ำ

1.3.4 แป้งคัดแปรอย่างน้อย 1 ชนิดสามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมันในมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้

### 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

แป้งคัดแปร HDP MD ที่มีค่า DE 3 ถึง 5 และ SSO ที่ใช้ในการทดลองเป็นแป้งคัดแปรที่มีความสามารถในการสุกในน้ำเย็นได้โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการต้มให้แป้งสุก เพียงแต่ MD จะมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในโครงสร้างได้ช้า จึงจำเป็นต้องเตรียมโดยการใช้ความร้อนช่วยให้แป้งดูดซึมน้ำได้เร็วขึ้น และจำเป็นต้องทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อให้แป้งเกิดการจัดเรียงตัวเป็นเจลที่สามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมันต่อไป

ส่วนผสมของมายองเนสสูตรไขมันเต็ม (Lui, Xu, and Guo, 2007) ประกอบด้วยน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 80 ไข่แดงร้อยละ 8 น้ำส้มสายชูกลั่น (กรดอะซิติกร้อยละ 5) ร้อยละ 8 เกลือร้อยละ 1 น้ำตาลทรายร้อยละ 1 น้ำเปล่าร้อยละ 2 และกรดเบนโซอิกร้อยละ 0.5

ส่วนผสมของมายองเนสที่ใช้แป้งเป็นสารทดแทนไขมันจะมีส่วนผสมเช่นเดียวกับมายองเนสสูตรไขมันเต็ม ยกเว้นปริมาณน้ำมันที่ลดปริมาณลงตามสูตรที่ใช้แป้งคัดแปรเป็นสารทดแทนไขมันคือร้อยละ 25, 50 และ 75 ของไขมันที่มีในสูตรมายองเนสสูตรไขมันเต็ม

### 1.5 ขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยงานวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของการนำแป้งคัดแปร 3 ชนิดประกอบด้วย HDP, MD และ SSO เป็นสารทดแทนไขมันในมายองเนสสูตรไขมันต่ำ ที่มีปริมาณของสาร

ทดแทนไขมันจากแป้งคัดแปร และปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองแตกต่างกัน ต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ความเสถียรและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมายองเนสสูตรไขมันต่ำเปรียบเทียบกับตัวอย่างของเนยสูตรไขมันเต็มคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ศึกษาได้แก่ ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน โครงสร้างระดับจุลภาค (Microstructure) สี ( $L^*$   $a^*$   $b^*$  และ  $\Delta E$ ) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) คุณสมบัติวิทยาการกระแส การแยกชั้นไขมัน (Phase separation) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน (Lipid oxidation) และการทดสอบทางประสาทสัมผัส

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้เข้าใจถึงผลของการทดแทนไขมันด้วยแป้งคัดแปรต่างชนิดที่มีผลต่อคุณภาพทั้งทางเคมีกายภาพ และความเสถียรของมายองเนสรวมถึงการยอมรับของผู้บริโภค
- 1.6.2 ได้เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นสารทดแทนไขมันของแป้งคัดแปร 3 ชนิด
- 1.6.3 สามารถเลือกใช้สารทดแทนไขมันที่เป็นแป้งคัดแปรต่างชนิดให้ตรงกับความต้องการของผู้ผลิตและผู้บริโภคได้
- 1.6.4 เพื่อให้ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับอาหารที่เป็นอิมัลชันรวมถึงอิทธิพลของแป้งคัดแปรที่มีผลต่อระบบอิมัลชัน



## บทที่ 2

### ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มายองเนส

มายองเนสเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1756 ในแถบเมดิเตอร์เรเนียน (Mediterranean) ผลิตภัณฑ์มายองเนสถือว่าเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water) มีลักษณะกึ่งของแข็ง (Semi-solid) ลักษณะเนื้อสัมผัสของมายองเนสเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่จัดตัวแบบแน่น (Close packed) โดยอนุภาคเม็ดไขมันมีค่าการกระจายตัวระหว่าง 0.1 ถึง 10 ไมโครเมตร ซึ่งอนุภาคเม็ดไขมันที่เล็กกว่าจะแทรกตัวอยู่ระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่า และบางอนุภาคจะแทรกอยู่ภายในอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่า โดยจะมีอิมัลซิไฟเออร์ที่เป็นเลซิติน โพรตีนหรือสารประกอบเชิงซ้อนของโพรตีน-เลซิตินล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมัน ที่มีค่าความหนาของชั้น โพรตีน-เลซิตินเฉลี่ย 14 นาโนเมตร (Ford et al., 2004; Langton, Jordansson, Altskar, Sørensen and Hermansson, 1999) อนุภาคเม็ดไขมันจะกระจายในเฟสต่อเนื่องที่มีน้ำและน้ำส้มสายชู โดยมีไข่แดงเป็นอิมัลซิไฟเออร์ กลิ่นและรสชาติของมายองเนสจะได้น้ำส้มสายชู ไข่แดง เกลือ น้ำตาลทราย และเครื่องเทศต่าง ๆ มายองเนสมีอายุจัดเก็บได้ค่อนข้างนาน โดยมีน้ำส้มสายชูและเกลือทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเน่าเสีย (Preservative)

สูตรมาตรฐานของมายองเนสประกอบไปด้วย น้ำมันพืช หรือน้ำมันสลัดร้อยละ 80 ไข่แดง ร้อยละ 7 น้ำส้มสายชู (ความเข้มข้นของกรดร้อยละ 4.5) ร้อยละ 9.4 เกลือร้อยละ 1.5 น้ำตาลร้อยละ 1.5 มัสตาร์ดร้อยละ 0.5 และ พริกไทยขาวร้อยละ 0.1 แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นสูตรมายองเนสที่ผลิตในเชิงการค้ามีการปรับเปลี่ยนปริมาณส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป เพื่อให้ตรงตามความต้องการของลูกค้าในแต่ละท้องถิ่น รวมถึงต้นทุนในการผลิต

##### 2.1.1 ส่วนประกอบของมายองเนส

###### 2.1.1.1 น้ำมัน

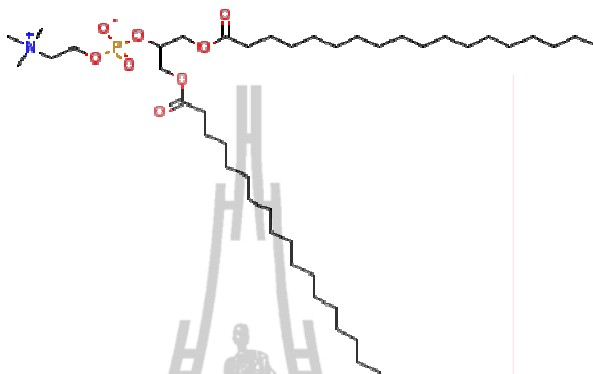
น้ำมันถือเป็นส่วนผสมหลักที่สำคัญของมายองเนส โดยในมายองเนสสูตรดั้งเดิมจะมีปริมาณน้ำมันถึงร้อยละ 70 ถึง 80 น้ำมันเป็นส่วนประกอบที่ให้ลักษณะเฉพาะในมายองเนส โดยทั่วไปจะใช้น้ำมันพืชในการผลิตมายองเนส น้ำมันที่นิยมใช้ในการผลิตคือน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันข้าวโพด (Hui, 1992) หน้าที่ของน้ำมันในอาหารประกอบไปด้วย ให้คุณค่าทางโภชนาการ ให้พลังงาน เป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้เช่นกรดลิโนเลนิก และ กรดลิโนเลอิก และยังเป็นตัวกลาง

สำหรับเป็นตัวทำละลายวิตามินที่สำคัญในร่างกาย เช่น วิตามิน เอ ดี อี เค นอกจากนี้ไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในมายองเนสจะทำหน้าที่ให้ กลิ่น รส และลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นลักษณะจำเพาะของมายองเนส ไขมันในอาหารมีหน้าที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 4 ประการคือ ให้ลักษณะปรากฏ เช่น ความมันวาว (Gloss) ความโปร่งใส (Translucency) และสี ให้ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นความหนืด ความยืดหยุ่น (Elasticity) และความแข็ง (Hardness) ให้รสสัมผัสที่เป็นลักษณะจำเพาะที่ได้จากไขมันและให้ความรู้สึกเมื่ออยู่ในปาก เช่น การละลาย (Meltability) การเป็นครีม (Creaminess)

#### 2.1.1.2 อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์ เป็นสารที่ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสกระจาย (น้ำมัน) และเฟสต่อเนื่อง (น้ำ) ทำให้ค่าพลังงานอิสระ (Free energy) ลดลง ทำให้ลดพลังงานที่จะต้องใช้ในการลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน อิมัลซิไฟเออร์จะไปล้อมเกาะรอบ ๆ พื้นผิวของอนุภาคเม็ดไขมันในระหว่างกระบวนการโฮโมจิไนเซชัน ทำให้แรงตึงผิวระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันและเฟสต่อเนื่องลดลง และยังเป็นกำบังป้องกันการกลับมารวมตัวกันอีกครั้งของอนุภาคเม็ดไขมันหลังจากที่ถูกทำให้มีขนาดอนุภาคเล็กลง โดยอิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่มีคุณสมบัติที่มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนที่ชอบไขมัน (Lipophilic) อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน โดยในระหว่างการล้อมจับอนุภาคเม็ดไขมันจะหันส่วนที่ชอบไขมันเข้าหาเฟสของไขมันและหันบริเวณที่ชอบน้ำเข้าหาเฟสต่อเนื่อง ตัวอย่างอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการผลิตมายองเนส เช่น ไข่แดง โปรตีนหางนม โปรตีนเวย์ โพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนต (Propylene glycol alginate) และแป้งคัดแปรที่มีคุณสมบัติเป็นแอมฟิฟิลิก (Amphiphilic properties) เป็นต้น อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมในสภาวะที่เป็นกรดได้ โดยอิมัลซิไฟเออร์ที่เลือกใช้ในการผลิตมายองเนสจะมีหน้าที่ในการป้องกันการรวมตัวของอนุภาคเม็ดไขมันมากกว่าเพื่อป้องกันการเกาะกลุ่มกัน เนื่องจากปฏิกิริยาเกาะกลุ่มกันของอนุภาคเม็ดไขมันจะนำมาซึ่งการเกิดเป็นชั้นครีมลอยขึ้นที่ผิวหน้าของระบบ แต่ปรากฏการณ์นี้มักไม่พบในผลิตภัณฑ์มายองเนสเนื่องจากมีสัดส่วนของปริมาณไขมันมากและอนุภาคเม็ดไขมันอยู่กันอย่างใกล้ชิดกันจนทำให้อนุภาคเม็ดไขมันยากที่จะเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีจะต้องมีความสามารถที่ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคไม่ให้เข้าใกล้กันมากจนเกิดการรวมตัวกัน มายองเนสสูตรปกติจะใช้ไข่แดงเป็นอิมัลซิไฟเออร์ โดยองค์ประกอบในไข่แดงที่สามารถเป็นอิมัลซิไฟเออร์ได้คือ โปรตีนในไข่แดง และ เลซิธิน รวมไปถึงสารประกอบเชิงซ้อนของเลซิธิน-โปรตีน (Anton, Beaumal and Gandermer, 2000; Le Denmat, Anton and Beaumal, 2000) โปรตีนในไข่แดงเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนที่ประกอบไปด้วย phosphoglycoprotein, lipoprotein และ phosphoglycolipoprotein โปรตีนที่มีในไข่แดงจะสามารถแสดงคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ได้ดีในอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำได้ (Nilsson, Osmark, Fernandez and Bergenstahl, 2007)

phosphatidyl choline หรือเลซิตินมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ได้โดยมีประจุลบที่กลุ่มฟอสเฟต และประจุบวกที่คอรีน (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเลซิตินในไข่แดง

ที่มา : นิรนาม (ม. ป.ป)

สารประกอบที่มีในไข่แดงสามารถสร้างเนื้อเยื่อ (Membranes) ที่แข็งแรงและมีแรงผลักดันระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันด้วยกันเอง นอกจากนี้ส่วนผสมอื่น ๆ ที่เติมลงในมายองเนส อาจทำหน้าที่เป็นสารจับที่ผิวอนุภาคเม็ดไขมันได้เช่นกัน เช่น มัสตาร์ด เครื่องเทศ และเม็ดของแป้ง เป็นต้น (Ford et al., 2004; Langton et al., 1999) การเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมมีส่วนสำคัญต่อความเสถียรของอิมัลชันของมายองเนสในระยะยาว

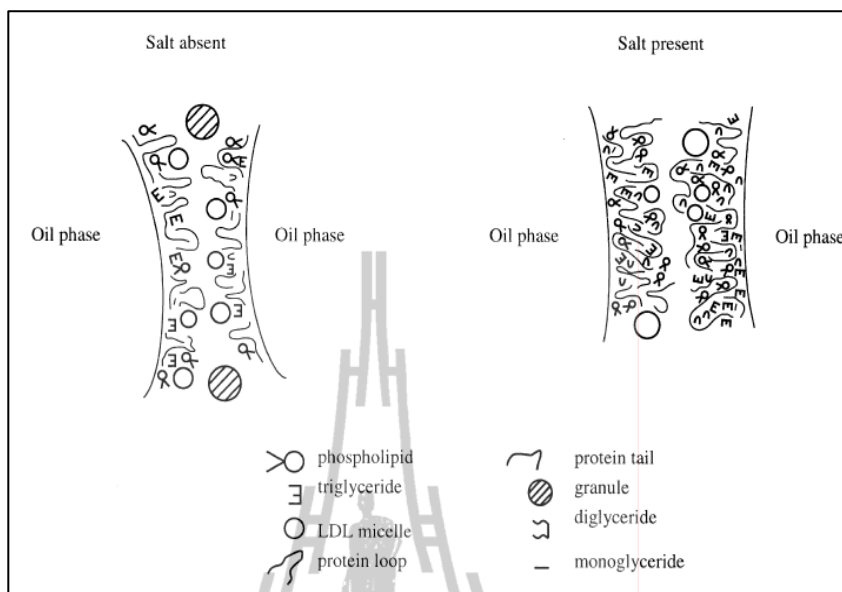
#### 2.1.1.3 ส่วนผสมอื่น ๆ

ส่วนผสมอื่น ๆ ในมายองเนสประกอบไปด้วย น้ำส้มสายชู น้ำตาลทราย เกลือ มัสตาร์ด สารแต่งกลิ่น - รส และสารให้ความข้นหนืดที่ช่วยให้มายองเนสมีความเสถียร เกลือ นอกจากจะให้รสชาติในมายองเนสแล้ว ยังพบว่าเกลือจะมีผลต่อลักษณะของมายองเนสด้วยซึ่งจากเหตุผลสามประการคือประการแรกเกลือจะช่วยในการละลายของ Egg yolk granules ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพด้าน Surface active และเหตุผลข้อที่สองคือ เกลือจะช่วยปรับประจุที่มีในโปรตีนให้เป็นกลางเพื่อให้มันสามารถที่จะไปเกาะที่พื้นผิวของอนุภาคเม็ดไขมันได้ และประการที่สามคือการปรับประจุให้เป็นกลางจะช่วยให้อนุภาคเม็ดไขมันสามารถที่อยู่ใกล้กันได้มากขึ้นทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กันได้ดีขึ้น (Kiosseoglou and Sherman, 1983) ในขณะที่เกี่ยวกับการเติมเกลือที่มากเกินไปอาจทำให้โปรตีนในไข่แดงเกิดการเกาะรวมตัวกันในเฟสต่อเนื่องมากกว่าการไปเกาะล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมัน ชนิดและความเข้มข้นของเกลือที่ใช้ในการผลิตไข่แดงในน้ำเกลือ (Salted yolk) ยังมีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ด้วย (Harrison and Cunningham, 1986) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ การเติมเกลือจะทำให้ Lipovitellin สามารถดูดซึม

น้ำได้มากขึ้นแล้วทำให้แกรนูลของโปรตีนบวมขึ้น (Swell) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของเกลือจะทำให้โปรตีนที่มีในไข่แดงบางชนิดเริ่มขับน้ำออก (Dehydrated) และเกิดอันตรกิริยากันระหว่างโปรตีนด้วยกันเอง เกิดการรวมตัวและเกิดตะกอนของโปรตีนไข่แดง ในขณะที่เกลือต่างชนิดกันมีค่าประจุแตกต่างกันทำให้ความสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำแตกต่างกัน เกลือที่มีโพลิวาเลนต์ไอออน และมีขนาดเล็ก เช่น  $\text{Na}^+$  จะมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง (Strong electric field) จะเกิดอันตรกิริยากับน้ำและสร้างเป็นโครงสร้างของมายองเนสได้ ทำให้ความหนืดของระบบสูงขึ้น ในขณะที่เกลือที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เช่น  $\text{K}^+$ ,  $\text{I}^-$  และ  $\text{Cl}^-$  จะลดการเกิดปฏิสัมพันธ์กับน้ำ และลดการสร้างโครงสร้างของมายองเนส ซึ่งผลของการเติมเกลือสามารถแสดงในรูปที่ 2.2

นอกจากนี้พบว่าเกลือนอกจากจะให้กลิ่น-รส และสร้างความเสถียรให้มายองเนสแล้วยังพบว่า เกลือมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง (Auto oxidation) ด้วย Lahtinen และ Ndabikunze (1990) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้น (ร้อยละ 0.85 และ 1.45) ของเกลือสามชนิดได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) โพแทสเซียมคลอไรด์ ( $\text{KCl}$ ) และ แมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในมายองเนสที่มีการเติมและไม่เติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant) การทดลองพบว่าเกลือ  $\text{NaCl}$  และ เกลือที่ผสมกันระหว่าง  $\text{NaCl}$  ร้อยละ 50 และ  $\text{KCl}$  ร้อยละ 50 สามารถส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันได้ ในกรณีที่ไม่มีสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ในขณะที่เกลือที่เป็นส่วนผสมระหว่าง  $\text{NaCl}$  ร้อยละ 65,  $\text{KCl}$  ร้อยละ 25 และ  $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ร้อยละ 10 ไม่พบการส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันจากเกลือเกือบทุกชนิด เมื่อมีการเติม สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ยกเว้นตัวอย่างที่เติม  $\text{NaCl}$  ร้อยละ 0.85 พบว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันยังคงเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกลือที่ผลิตส่วนใหญ่เป็นเกลือที่ผลิตจากน้ำทะเล ซึ่งอาจมีแร่ธาตุที่ปนเปื้อนมากับน้ำทะเล เช่น ธาตุเหล็ก ที่เป็นสารที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน

ส่วนผสมที่สำคัญอีกอย่างในการผลิตมายองเนสคือน้ำส้มสายชู ซึ่งการเติมน้ำส้มสายชูมีจุดประสงค์เพื่อให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของมายองเนสมีค่าในช่วง 2.5 ถึง 4.5 เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (McClements, 2005) เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า 4.4 (Smitte, 1977, 2000) นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างมายองเนสที่มีค่าต่ำจะมีผลโดยตรงกับโครงสร้างของมายองเนส โดยพบว่าคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติกและความเสถียรของมายองเนสมีค่าสูงสุดเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ใกล้เคียงกับค่า Isoelectric point (pI) ของโปรตีนในไข่แดง จึงทำให้ประจุรวมของโปรตีนมีค่าต่ำสุด โดยคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติกมีค่าสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.9 ซึ่งเป็นค่า pI ของโปรตีนในไข่แดง (Kiosseoglou and Sherman, 1983)



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบที่มีในไข่แดง ที่ดูดซับที่ผิวของอนุภาคไขมันในสถานะที่มีและไม่มีเกลือ  
ที่มา : Koissoeoglou and Sherman (1983)

น้ำตาลทรายนอกจากจะให้รสหวานกับผลิตภัณฑ์มายองเนสแล้วยังช่วยลดการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคเม็ดไขมัน โดยที่จากซูโครสไปบดบังกลุ่มที่สามารถทำให้อนุภาคเม็ดไขมันเกิดปฏิสัมพันธ์กันเช่นไปลดการเกิดปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนไข่ขาวหรือโพลีแซคคาไรด์ที่มีประจุ เช่น คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส โดยปกติสารเหล่านี้จะทำให้เกิดการสร้างพันธะเชื่อมข้ามระหว่างอนุภาคเม็ดไขมัน (Koissoeoglou and Sherman, 1983)

### 2.1.2 การผลิตมายองเนส

การผลิตมายองเนสในอุตสาหกรรมมีขั้นตอนการผลิตพอสังเขปดังนี้คือ ผสมไข่แดง เกลือน้ำตาล มัสตาร์ด สารปรับแต่งกลิ่น-รสต่าง ๆ ลงในภาชนะแล้วตีผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้น เทน้ำมันลงในส่วนผสมอย่างช้า ๆ ที่มีการตีผสมตลอดเวลา เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้วจึงเติมน้ำส้มสายชูอย่างช้า ๆ ตีด้วยอัตราเร็วปานกลาง หลังจากนั้นจึงถ่ายใส่ภาชนะที่มีฝาปิดสนิท เพื่อป้องกันการสัมผัสกับอากาศ

## 2.2 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer)

เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) เป็นเครื่องมือที่ทำให้เกิดอิมัลชันโดยทำให้เฟสกระจาย (Dispersed phase) มีขนาดเล็กและสามารถกระจายอยู่ในเฟสต่อเนื่อง (Continuous phase) ได้ เรียกกระบวนการที่ทำให้เฟส 2 เฟสที่ไม่สามารถอยู่ด้วยกันได้สามารถอยู่รวมกันเป็นเนื้อ

เดียวกันได้ว่าโฮโมจีไนเซชัน (Homogenization) การเกิดอิมัลชันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (McClements, 2005) ประเภทแรก (Primary homogenization) คือกระบวนการทำให้เฟสน้ำกับน้ำมันสามารถเกิดอิมัลชันในขั้นตอนเดียวซึ่งจะได้อนุภาคเม็ดไขมันที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ การผลิตอิมัลชันประเภทนี้อาจใช้เครื่องมือพื้นฐานในการตีผสม เช่นการใช้ตะกร้อตีไข่ตีผสม เครื่องปั่นผสมในครัวเรือนจนถึงเครื่องตีผสมความเร็วสูง และประเภทที่สอง (Secondary homogenization) เป็นอิมัลชันที่ต้องมีขั้นตอนการลดขนาดอนุภาคให้เล็กลงโดยนำอิมัลชันประเภทแรกมาลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันให้เล็กลงอีกครั้งทำให้ได้อิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กลง ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ใช้ในการผลิตมาของเนสซึ่งจะมีตั้งแต่ผลิตเพื่อบริโภคในครัวเรือน เช่น เครื่องปั่นความเร็วสูง หรือผลิตในระดับอุตสาหกรรมยกตัวอย่างเช่น Colloid mill หรือ High pressure valve homogenizer ดังรูปที่ 2.3

### 2.2.1 High speed blenders

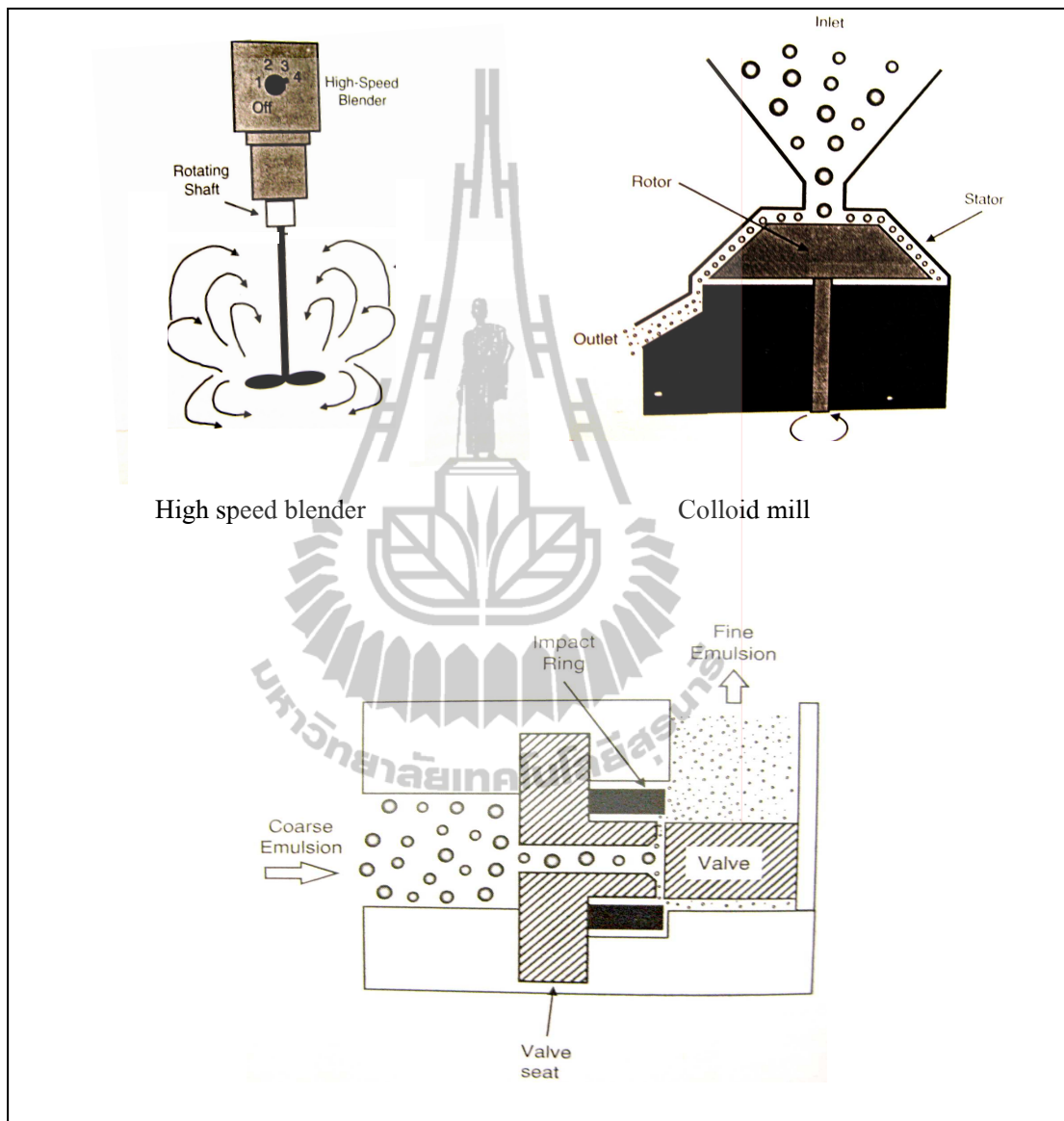
High speed blender เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตมาของเนสที่ทำให้ได้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันค่อนข้างใหญ่ คือมีรัศมีของขนาดอนุภาคไขมันมากกว่า 5 ไมโครเมตร โดยส่วนมากมักมีการใช้ High speed blender ควบคู่กับเครื่องลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันชนิดอื่นเช่น Colloid mill หรือ High pressure valve homogenizer โดยจะใช้ High Speed blender เพื่อตีส่วนผสมให้เข้ากันและใช้เตรียมอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่ (Coarse emulsion) ก่อน หลังจากนั้นจึงนำไปลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันให้เล็กลงด้วยเครื่อง Colloid mill หรือ High pressure valve homogenizer ก็จะสามารถผลิตมาของเนสที่มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่เล็กได้ High speed blender มีทั้งที่เป็นแบบกะ (Batch) และแบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมได้ เครื่องมือชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้ลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่างที่มีความหนืดต่ำ ๆ ถึงปานกลาง โดยประสิทธิภาพในการลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันขึ้นกับอัตราเร็วของการหมุนของใบกวนและเวลาในการตีผสม

### 2.2.2 Colloid mills

Colloid mills เป็นเครื่องมือที่ใช้ลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่มีความหนืดในช่วงปานกลางถึงสูง โดยส่วนประกอบของเครื่องที่สำคัญจะมีสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นจานหมุน (Rotor) และจานที่อยู่กับที่ (Stator) โดยตัวอย่างอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะถูกป้อนเข้าบริเวณตรงกลางของจานหมุน ที่หมุนด้วยแรงเค้นเฉือน (Shear stress) ที่สูงซึ่งตัวอย่างที่มีขนาดเล็กจะถูกเหวี่ยงออกนอกศูนย์กลางด้วยแรงปั่นเหวี่ยง (Centrifuge force) ประสิทธิภาพในการลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันขึ้นกับระยะห่างระหว่างจานหมุนกับจานอยู่กับที่ ความเร็วของจานหมุนรวมไปถึงพื้นผิวของจานโดยจะมีทั้งที่เป็นผิวเรียบและผิวไม่เรียบ นอกจากนี้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดขนาดเม็ดไขมันยังรวมไปถึง



ระยะเวลาที่ใช้และอัตราการป้อนอิมัลชันเข้าเครื่อง โดยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่ผลิตเครื่องด้วย Colloid mills จะอยู่ในช่วง 1 ถึง 5 ไมโครเมตร



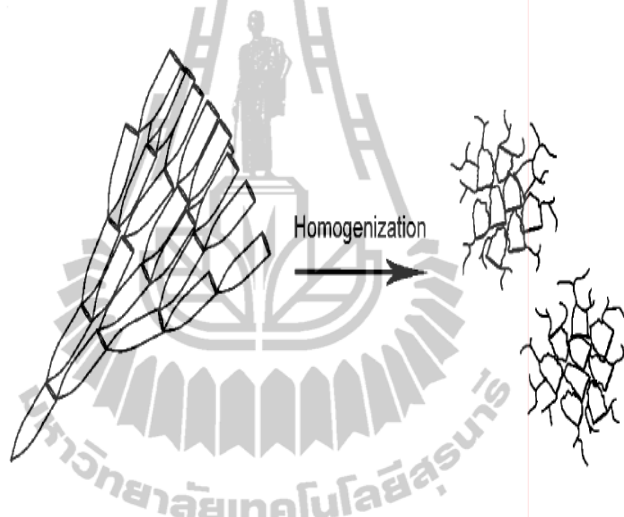
รูปที่ 2.3 โฮโมจีไนเซอร์แบบต่าง ๆ

ที่มา : McClements (2005)

### 2.2.3 High pressure valve homogenizer

เครื่องลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันชนิดนี้เหมาะสำหรับการลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่ตัวอย่างอิมัลชันมีขนาดอนุภาคใหญ่เช่นเดียวกับ Colloid mill โดยตัวอย่างจะถูกบีบเข้าสู่ Chamber ในช่วงที่

ถูกสูบลอยหลังแล้วจึงอัดผ่านช่องแคบของวาล์วด้วยความดันสูงในช่วงที่ถูกสูบลอยหน้า เมื่อตัวอย่างถูกอัดผ่านช่องแคบ ๆ มีผลทำให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเล็กลง โดยประสิทธิภาพในการลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันขึ้นกับการระยะห่างของวาล์ว ถ้าระยะห่างของวาล์วเล็กลงจะทำให้ความดันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันมีขนาดเล็กลง แต่ทั้งนี้การเพิ่มความดันมีผลให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย เครื่องลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันชนิดนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีความหนืดอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง ความสามารถในการลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันลงได้เล็กที่ขนาด 0.1 ไมโครเมตร และสามารถนำตัวอย่างวนกลับมาผ่านเครื่องอีกครั้งเพื่อให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเล็กลงอีก



รูปที่ 2.4 ขนาดโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์หลังจากการโฮโมจีไนซ์  
ที่มา : Nilsson et al. (2006)

แรงที่ใส่เพื่อใช้ลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในขั้นตอนการโฮโมจีไนซ์ไม่เพียงแต่ทำให้อนุภาคเม็ดไขมันเล็กลง แต่ยังมีผลทำให้ส่วนผสมอื่น ๆ เช่น ไบโอโพลีเมอร์ที่ใช้เพื่อเป็นสารเพิ่มความเสถียร สารเพิ่มความข้นหนืด หรือสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสมีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง (Floury, Desrumaux, Axelus, and Legrand, 2002; 2003; Nilsson, Leeman, Wahlund, and Bergenståhl, 2006; Rojas, Wahlund, Bergenståhl, and Nilsson, 2008) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อขนาดโมเลกุลของสายโพลีเมอร์ถูกทำลายจะส่งผลให้รัศมี (radius of gyration) ของไบโอโพลีเมอร์มีค่าต่ำลง ซึ่งมีผลทำให้ค่าความหนืดของไบโอโพลีเมอร์มีค่าลดลงและอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติด้านวิทยากระแสน้ำของอาหาร



## 2.3 สารทดแทนไขมัน

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการตื่นตัวในเรื่องการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ และความไม่สมดุลระหว่างการบริโภคและการออกกำลังกายทำให้เกิดปัญหาเรื่องโรคอ้วนซึ่งจะนำไปสู่โรคอื่น ๆ เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน เป็นต้น ผู้ผลิตอาหารจึงจำเป็นต้องผลิตอาหารเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งในปัจจุบันได้มีการใช้สารทดแทนไขมันเพื่อใช้ในการผลิตอาหารให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคในอาหารต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย แตกต่างกันไปตามประเภทของอาหาร ไขมันถือได้ว่ามีบทบาทสำคัญต่อการแสดงลักษณะของมายองเนส โดยจะให้กลิ่น - รส เนื้อสัมผัสที่เป็นเอกลักษณ์ของมายองเนสดังได้กล่าวมาแล้ว สารที่นำมาทดแทนอนุภาคเม็ดไขมันในมายองเนส จะต้องมีความสามารถที่จะรักษาไว้ซึ่งลักษณะทางคุณภาพแบบดั้งเดิมของมายองเนส การลดปริมาณไขมันในมายองเนสมีผลทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะกลิ่น - รสของมายองเนส ดังนั้นสารที่อยู่ในระบบเฟสต่อเนื่องจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่ให้คงไว้ซึ่งลักษณะทางเนื้อสัมผัสแบบดั้งเดิม การเลือกชนิดของสารทดแทนไขมันในมายองเนส ขึ้นอยู่กับปริมาณของไขมันที่ต้องการทดแทน และความสามารถที่สารทดแทนไขมันจะคงไว้ซึ่งลักษณะปรากฏแบบดั้งเดิม ส่วนผู้ผลิตมายองเนสในระดับอุตสาหกรรมอาจต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิต การยอมรับของผู้บริโภค และความเสถียรของผลิตภัณฑ์ จากผลการสำรวจของ Calorie Control Council 2000 National Survey ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า 5 เหตุผลแรกของผู้บริโภคที่ทำให้เลือกบริโภคอาหารที่มีไขมันต่ำคือเพื่อสุขภาพที่ดี มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เพื่อต้องการลดปริมาณการบริโภคไขมัน เพื่อลดพลังงาน และเพื่อต้องการลดคอเลสเตอรอล

### 2.3.1 ประเภทของสารทดแทนไขมัน

สารทดแทนไขมันสามารถแบ่งตามหน้าที่และโครงสร้างของสารที่นำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันได้โดยมีคำจำกัดความดังนี้คือ 1) Fat replacer เป็นคำทั่วไปที่ใช้อธิบายส่วนผสมใด ๆ ที่สามารถใช้แทนที่ไขมันในสูตรดั้งเดิมได้ 2) Fat substitute เป็นคำที่ใช้เรียกส่วนผสมอาหารที่นำไปใช้ในการทดแทนไขมัน โดยส่วนผสมเหล่านี้มีโครงสร้างทางเคมีและลักษณะทางกายภาพคล้ายไขมันแต่ไม่สามารถย่อยโดยเอนไซม์ที่มีในร่างกายมนุษย์ ทำให้ร่างกายได้รับพลังงานน้อยหรือไม่ได้รับพลังงานจากการบริโภคไขมันเหล่านี้ เป็นสารประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นให้มีโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกับน้ำมัน 3) Fat mimetic เป็นคำที่ใช้เรียกส่วนผสมที่อาจมาจาก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต หรือส่วนผสมอื่น ๆ ที่สามารถเลียนแบบหรือจำลองคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของไขมันได้ เช่น คุณสมบัติทางกายภาพ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก (Mouth feel) และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของไขมัน

### 2.3.2 แหล่งที่มาของสารทดแทนไขมัน

สารทดแทนไขมันมาจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ จากโปรตีน (Protein based fat replacer) ไขมัน (Fat based fat replacer) และจากคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate based fat replacer) สารที่มาจากแหล่งที่เป็นโปรตีน เป็นต้น สารทดแทนไขมันที่มาจากโปรตีนจะให้พลังงาน 1 ถึง 2 แคลอรี/กรัม โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์นม เช่น ไอศกรีม เนย ครีมเปรี้ยว ชีส โยเกิร์ต น้ำสลัด มาการีน และมายองเนส Modified whey protein concentrate เป็นสารทดแทนไขมันที่ได้จากการนำเวย์โปรตีนเข้มข้นมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติคล้ายไขมัน (Fat-like properties)

สารทดแทนไขมันที่มาจากไขมันจะเป็นสารประกอบที่ได้จากการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของกรดไขมัน เพื่อผลิตสารทดแทนไขมันที่ไม่ให้พลังงานกับร่างกายมนุษย์ สารทดแทนไขมันประเภทนี้เมื่อผ่านเข้าสู่ร่างกายจะไม่สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่มีในร่างกายมนุษย์ เทคโนโลยีสมัยใหม่ทำให้สามารถเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของไขมันให้เหมาะกับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันต่ำได้หลายชนิด เช่น น้ำสลัด น้ำมันสำหรับประกอบอาหาร (Cooking oil) ชีส ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์อาหารว่าง (Salty snacks) และ แครกเกอร์ (Crackers) เป็นต้น ตัวอย่างสารที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไขมัน เช่น Sorbestrin เป็นสารซึ่งให้พลังงานต่ำ และสามารถทนต่อความร้อน ประกอบไปด้วย Fatty acid ester ของ Sorbitol และ Sorbitol anhydried โดยจะให้พลังงาน 1.5 แคลอรี/กรัม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการทอด น้ำสลัด มายองเนส และผลิตภัณฑ์ขนมอบ

สารทดแทนไขมันที่มาจากคาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยสารทดแทนไขมันที่มาจากเซลลูโลส (Cellulose) กัม (Gum) สตาร์ช (Starch) ไฟเบอร์ (Fiber) และโพลีเดกซ์โตรส (Polydextrose) คาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในทดแทนไขมันส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดและเป็นสารให้ความเสถียร โดยสามารถใช้เป็นทดแทนไขมันใน Formulated food หลายชนิด รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการให้ความร้อน สารทดแทนไขมันที่มาจากคาร์โบไฮเดรตสามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้ดังหัวข้อต่อไป

#### 2.3.2.1 เซลลูโลส

เซลลูโลสที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมันจะถูกลดขนาดให้อยู่ในรูป Microparticulate cellulose เมื่อละลายน้ำจะกระจายตัวทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของอนุภาคที่ให้ความรู้สึกเมื่ออยู่ในปากและมีคุณสมบัติการไหลคล้ายไขมัน เซลลูโลสเป็นสารทดแทนไขมันที่ไม่ให้พลังงานกับร่างกาย สามารถใช้ทดแทนไขมันได้บางส่วนหรือทั้งหมดที่เป็นผลิตภัณฑ์นม ซอส ผลิตภัณฑ์นมหวานแช่เยือกแข็ง และ น้ำสลัด

### 2.3.2.2 กัม (Gum)

กัมเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากพืชหรือสัตว์หรือได้จากการสังเคราะห์ กัมที่สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ กัวร์กัม (Guar gum) กัมอาระบิก (Gum arabic) โลคัสบีนกัม (Locust bean gum) แซนแทนกัม (Xanthan gum) คาราจีแนน (Carrageenan) และ เพกติน (Pectin) ส่วนใหญ่เป็นสารที่ไม่ให้พลังงาน ทำหน้าที่เพิ่มความข้นหนืดและทำให้เกิด Gelling effect ส่งผลให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสแบบครีมสารประเภทนี้สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารได้แก่ น้ำสลัดไขมันต่ำหรือน้ำสลัดปราศจากไขมัน ผลิตภัณฑ์ขนมหวานและผลิตภัณฑ์เนื้อแปรรูป นอกจากนี้ยังมีสารทดแทนไขมันที่เป็นเบต้า-กลูเคนที่สกัดจาก ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์และจากผนังเซลล์ยีสต์ โดยสารทดแทนไขมันที่มาจากเบต้า - กลูเคนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ขนมอบ นม ชีส น้ำสลัด มายองเนสและไอศกรีม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณไขมันต่ำและมีไฟเบอร์ที่ละลายน้ำได้ในปริมาณสูง ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ (Worrasinchai et al., 2006)

### 2.3.2.3 แป้งดัดแปร

แป้งดัดแปรตามความหมายที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม มอก. 1073-2535 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้งสตาร์ช เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งสาลีเป็นต้น มาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อนและ/หรือเอนไซม์และ/หรือสารเคมีชนิดต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่แตกต่างกัน เนื่องจากแป้งดัดแปรมีราคาต่ำเมื่อเทียบกับสารทดแทนไขมันที่มาจากแหล่งอื่น ๆ ทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ ปัจจุบันมีแป้งดัดแปรที่หลากหลายทั้งในเชิงหน้าที่และคุณสมบัติเพื่อให้ผู้ผลิตสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ ความต้องการของผู้บริโภค และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ ในปัจจุบันผู้ผลิตสามารถเลือกใช้แป้ง ดัดแปรเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายมากขึ้น สารทดแทนไขมันที่มาจากแป้งดัดแปรมักใช้ในรูป Bodying agent และ Texture modifier ที่ให้พลังงาน 1 ถึง 4 แคลอรี/กรัม แป้งดัดแปรที่เลือกใช้เป็นสารทดแทนไขมันในการทดลองครั้งนี้ประกอบไปด้วย

#### 2.3.2.3.1 มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin, MD)

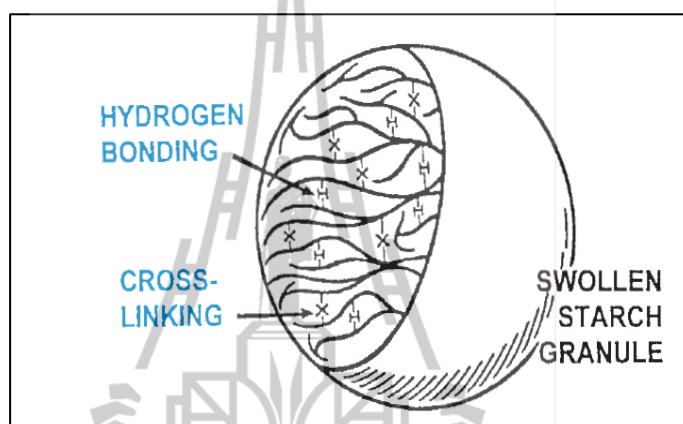
สารทดแทนไขมันชนิดนี้ให้พลังงาน 4 แคลอรี/กรัม มีลักษณะเป็นเจลหรือผงที่ผลิตได้จากแหล่งคาร์โบไฮเดรตได้แก่ ข้าวโพด มันฝรั่ง ข้าวสาลีและแป้งมันสำปะหลัง เป็นแป้งดัดแปรที่ผ่านกระบวนการใช้กรดหรือเอนไซม์ตัดพันธะ เพื่อให้สายโพลีแซคคาไรด์มีขนาดสั้นลง MD ประกอบด้วยสายอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยขนาดของสายโพลีเมอร์จะถูกระบุด้วยค่า DE ที่มีค่าระหว่าง 5 ถึง 20 และสามารถเกิดเป็นเจลที่อ่อนซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างอะไมโลสที่สร้างเกลียว และบริเวณส่วนที่เป็นเส้นตรงของสายอะไมโลเพกติน (Chronakis, 1998) MD ที่มีค่า DE ต่ำ ๆ จะสามารถสร้างเจลได้ เนื่องจากเป็นสายโพลิโกลิโกแซคคาไรด์

(Oligosaccharide) MD และแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ และ/หรือกรดที่มีค่า DE น้อยกว่า 5 ที่มี ความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 25 ถึง 35 จะให้เจลของ MD ที่มีลักษณะคล้ายครีมที่ไม่มีรสชาติ (Lenchin, Trubiano and Hoffman, 1985; Sajilata and Singhal, 2005) ซึ่งสามารถใช้ MD เป็นสาร ทดแทนไขมันในอาหารหลายชนิด เช่น มาของเนส ครีมบัตเตอร์ มาการีน น้ำสลัด เป็นต้น (Akoh, 1998; Kuntz, 1997) Dockic-Bauca, Dockic และ Jakovljevic (2004) ศึกษาผลของการใช้ MD ที่มีค่า DE ต่างกันที่ความเข้มข้นของ MD และปริมาณน้ำมันที่ต่างกัน ต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ ของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ การทดลองดังกล่าวพบว่าค่า DE มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติการละลาย ความหนืด และความเสถียรของระบบอิมัลชัน และพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันในสภาวะที่มี ปริมาณของ MD เท่ากัน ที่ความเข้มข้นของไขมันร้อยละ 30, 40 และ 50 ตัวอย่างอิมัลชันมี พฤติกรรมแบบ Thixotropic แต่เมื่อความเข้มข้นของไขมันมีปริมาณร้อยละ 60 และ 70 ตัวอย่างมี พฤติกรรมแบบ Anti-thixotropic ซึ่งเป็นผลมาจากการสร้างโครงสร้างใหม่ของ MD กับอนุภาคเม็ด ไขมัน Ma, Cai, Wang และ Sun (2006) ได้ศึกษาการใช้เอนไซม์ 4 ชนิดเพื่อย่อยแป้งข้าวโพดให้มี ขนาดของเกรนูลเล็กลง โดยแป้งข้าวโพดที่ย่อยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ถึง 4 ไมโครเมตร และเมื่อนำไปใช้เป็นสารจำลองไขมันในมายองเนสพบว่า สามารถลดปริมาณไขมันจากสูตรไขมัน เต็มที่มีไขมันร้อยละ 75 เป็นสูตรที่มีไขมันร้อยละ 30 ได้โดยไม่พบความต่างด้านการทดสอบทาง ประสาทสัมผัส Klinkesorn, Sophanodora Chainachoti และ McClements (2004) ได้ศึกษาผลของ MD ต่อความเสถียรและวิทยากระแสของระบบอิมัลชันน้ำในน้ำมันพบว่า อัตราการเกิดชั้นครีมจะ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อระบบมีความเข้มข้นของ MD ที่ระดับสูงกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตของการ เกิดการเกาะกลุ่ม (Critical flocculation concentration, CFC) โดยค่า CFC จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า DE เพิ่มขึ้น Dockic และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของค่า DE ของ MD ในระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ พบว่าความหนืดของสารละลาย MD จะลดลงเมื่อค่า DE เพิ่มขึ้นและขนาดของอนุภาคเม็ดไขมันที่ เตรียมจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามค่า DE

2.3.2.3.2 ไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต (Hydroxypropyl distarch phosphate, HDP)

แป้ง HDP มีเลข E number คือ E1442 เป็นแป้งดัดแปรที่ผ่านกระบวนการดัด แปรแบบผสมกันระหว่างการเชื่อมข้ามและแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลในสาย โมเลกุลของแป้ง จากรูป 2.5 แสดงการเกิดพันธะโควาเลนต์ที่เกิดจากสารเคมีที่ใช้สำหรับการเชื่อม ข้ามเช่น โมโนโซเดียมฟอสเฟต (Mono-sodium phosphate) โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (Sodium trimeta phosphate) โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate) และฟอสฟอรัสออกซี คลอไรด์ (Phosphorus oxichloride) เป็นต้น เชื่อมข้ามทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงทนต่อการแรง ฉีก ทนต่อการคั่ว ทนต่ออุณหภูมิสูงและทนต่อการย่อยของเอนไซม์อะไมเลส แป้งชนิดนี้ มี ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) สูง เจลของ HDP จึงมี

ลักษณะอ่อน (Hoover, Hannouz, and Sosulski, 1988; Liu, Ramsden, and Corke, 1999; Yeh and Yeh, 1993) และมีคุณสมบัติ Freeze-thaw stable ที่ดี (Eliasson and Kim, 1992) เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล เมื่อนำเจลแป้ง HDP มาเป็นสารทดแทนไขมันในน้ำสลัดหรือมายองเนสจะช่วยให้ปรับปรุงคุณลักษณะของความรู้สึกเมื่ออยู่ในปาก คือเพิ่มลักษณะของความรู้สึกของการมีครีม (Murphy, 2000)

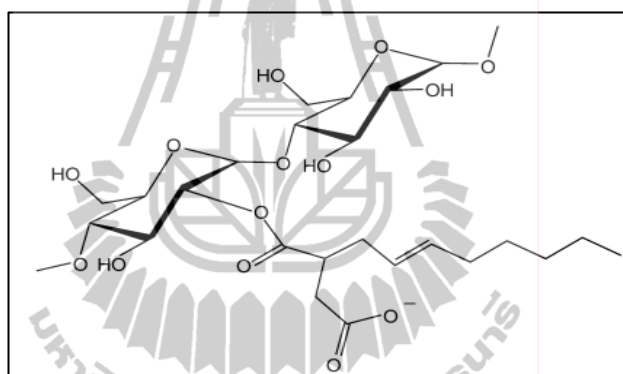


รูปที่ 2.5 โครงสร้างแกนของแป้งตัดแปรแบบเชื่อมข้าม (Cross linkage) x คือจุดที่เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโพลีแซคคาไรด์  
ที่มา : Whistler et al. (1984)

2.3.2.3.3 แป้งโซเดียมออกเทนิลซัคซิเนต (Starch sodium octenyl succinate, SSO)

แป้ง SSO เป็นแป้งตัดแปรที่มีการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลกลูโคสด้วยออกเทนิลซัคซิเนต (รูปที่ 2.6) ทำให้แป้งมีคุณสมบัติทั้งชอบและไม่ชอบน้ำอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน โดยแป้ง SSO จะไปดูดซับที่บริเวณผิวสัมผัสของน้ำและน้ำมันก่อให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมันโดยจะหันส่วนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิลที่มีในโมเลกุลของกลูโคสเข้าจับกับส่วนที่เป็นน้ำในเฟสต่อเนื่องและหันส่วนที่เป็นโมเลกุลของออกเทนิลซัคซิเนตจับกับอนุภาคเม็ดไขมัน (Murphy, 2000) EU อนุญาตให้ใช้แป้ง SSO ในอาหารได้โดยมีเลข E number คือ E1450 และองค์การอาหารยา (Food and Drug Administration, FDA) อนุญาตให้ผลิตเพื่อใช้กับอุตสาหกรรมอาหารได้โดยสามารถใช้ Octenyl succinic anhydride ได้ไม่เกินร้อยละ 3 ของน้ำหนักแป้งโดยมีระดับการแทนที่ (Degree of substitution, DS) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.3 Tesch และคณะ (2002) ได้ศึกษาผลของการใช้แป้ง SSO เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในระบบอิมัลชัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแป้ง SSO ช่วยให้อิมัลชันเสถียรด้วยแรง Sterical ซึ่งเป็นผลจากแป้ง SSO ดูดซับที่ผิวสัมผัสของน้ำกับน้ำมันตรง

บริเวณที่มีหมู่ออกเทนิลซัคซินเนตด้วยแรงไฮโดรโฟบิก โดยที่ระบบอิมัลชันที่เกิดจากแป้ง SSO ไม่ขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง และ Ionic strength ในขณะที่ใช้โปรตีนเวย์เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งทำให้อิมัลชันเสถียรด้วยแรง Electrostatical ทำให้ความเสถียรของระบบอิมัลชันขึ้นกับ ความเป็นกรด-ด่าง และ Ionic strength จากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า แป้ง SSO สามารถช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมัน และทำให้สามารถลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในระหว่างกระบวนการลดขนาดได้เล็กสุดถึง 1 ไมโครเมตร นอกจากนั้นแป้ง SSO ยังใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดในอาหารได้โดยการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิกระหว่างโมเลกุลของสายอะไมโลสและอะไมโลพิกติน ทำให้เกิดโครงสร้าง 3 มิติเกิดเป็นเจลที่ช่วยให้ระบบอิมัลชันมีลักษณะทางวิทยากระแสที่เปลี่ยนแปลงไปโดยทำให้ความหนืด และมอดูลัสสะสมเพิ่มขึ้น (Ortega-Ojeda et al., 2005)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแป้ง SSO

ที่มา : Nilson et al. (2007)

## 2.4 คุณภาพของมายองเนส

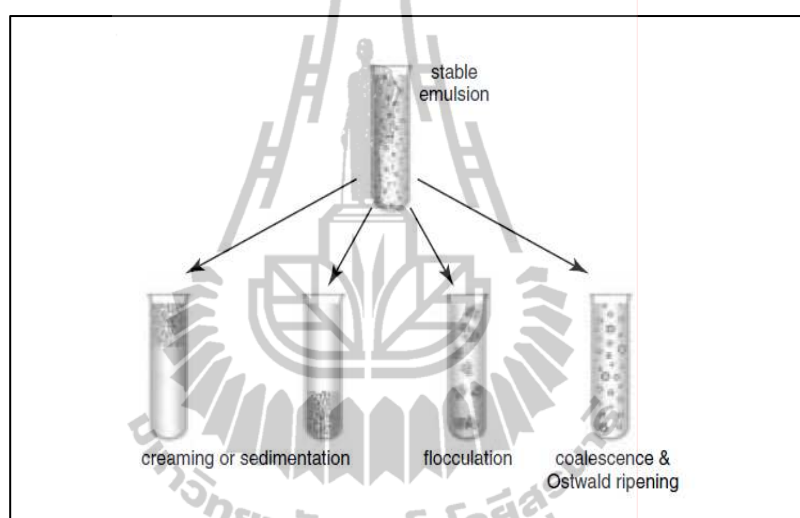
มายองเนสมีลักษณะทางเคมีและกายภาพที่เป็นเอกลักษณ์ที่จำเพาะ ซึ่งคุณภาพเหล่านั้นจะต้องมีความเสถียรตลอดการเก็บรักษา เนื่องจากจะมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยแบ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์มายองเนสออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ

### 2.4.1 คุณภาพด้านกายภาพ

คุณภาพด้านกายภาพของมายองเนส เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ความข้นหนืด และ สี เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะด้านกายภาพของมายองเนส เช่น ขนาดอนุภาคของเม็ดไขมัน ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ องค์ประกอบที่มีในเฟสต่อเนื่อง และอุณหภูมิที่จัดเก็บ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะกระตุ้น ส่งเสริม หรือป้องกัน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดในระหว่างการผลิต และการเก็บรักษา แล้วจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพโดยรวมของมายองเนส กระบวนการที่ทำให้เกิดการสูญเสียความ



คงตัวของอนุภาคไขมันในระหว่างการเก็บรักษาของอาหารประเภทอิมัลชันเริ่มจากอนุภาคเม็ดไขมันเกาะรวมกลุ่มกัน (Flocculation) เนื่องมาจากการเคลื่อนที่และการชนกันของอนุภาคเม็ดไขมัน ในที่สุดอนุภาคเม็ดไขมันจะหลอมรวมกัน (Coalescence) ทำให้อนุภาคเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น และสามารถที่จะลอยไปสู่ผิวหน้าของภาชนะได้ เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคเม็ดไขมันมีค่าน้อยกว่าน้ำแล้วเกิดเป็นชั้นครีมอยู่ด้านบนของอาหาร และเมื่อเม็ดไขมันหลอมรวมกันมากขึ้นจะขึ้นเกิดการแยกชั้นของไขมัน (Breaking) แสดงในรูปที่ 2.7 โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพด้านกายภาพของมายองเนสได้แก่



รูปที่ 2.7 กระบวนการเกิดความไม่เสถียรของอิมัลชัน  
ที่มา : Weiss (2002)

#### 2.4.1.1 ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน

ขนาดอนุภาคของมายองเนสจะมีผลต่อคุณสมบัติด้านกายภาพของมายองเนส ได้แก่ สี คุณสมบัติด้านวิทยากระแส และความเสถียรของมายองเนส โดยพบว่ามายองเนสที่มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่เล็กจะทำให้ค่าความสว่าง (Lightness) ค่าความหนืดและค่ามอดูลัสสะสมสูง (Longton et al., 1999; McClements, 2005; Worrasinchai et al., 2006) ขนาดของอนุภาคเม็ดไขมันมีผลต่อความเสถียรของมายองเนสตั้งอธิบายได้จากกฎของสโตก (Stoke's law)

$$v = \frac{2r^2(\rho_1 - \rho_2)g}{9\eta} \quad (1)$$

โดย  $U$  คือความเร็วของการแยกเฟสซึ่งแสดงถึงความไม่เสถียรของระบบอิมัลชัน ถ้า  $U$  มีค่าเป็นบวกแสดงว่าเม็ดไขมันจะลอยขึ้นสู่ชั้นบน เกิดเป็นชั้นครีมที่ผิวด้านบนของตัวอย่าง ถ้ามีค่าเป็นลบจะเกิดเป็นครีมปรากฏอยู่ที่ชั้นล่างของตัวอย่าง  $r$  คือรัศมีของเม็ดไขมัน  $\rho_1$  คือความหนาแน่นของเฟสต่อเนื่อง  $\rho_2$  คือความหนาแน่นของเฟสกระจาย  $g$  คือ แรงโน้มถ่วงของโลก และ  $\eta$  คือความหนืดของระบบ จะเห็นว่าอัตราเร็วของการแยกชั้นครีมจะขึ้นกับขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะเกิดความไม่เสถียรของระบบเร็วกว่าอนุภาคไขมันที่มีขนาดเล็ก และจากกฎของสโตกจะเห็นว่าอัตราเร็วการเกิดการแยกชั้นของครีมจะพบช้าในระบบที่มีความหนืดสูง แต่เนื่องจากมายองเนสเป็นระบบอิมัลชันที่มีความหนืดสูงและมีอนุภาคเม็ดไขมันอยู่อย่างใกล้ชิดกันจนอนุภาคเม็ดไขมันไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงไม่พบปรากฏการณ์ของการเกิดครีมลอยขึ้นที่ผิวหน้าของมายองเนส แต่จะพบว่าเมื่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่จะมีผลทำให้เกิดการเสถียรภาพความเป็นอนุภาคได้ง่ายกว่าอนุภาคที่เล็ก ซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่จะมี Laplace pressure (ค่าที่บ่งบอกถึงแรง Interfacial ที่ต้องใช้เพื่อรักษารูปร่างทรงกลมของอนุภาคไว้) ต่ำกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (McClements, 2005)

#### 2.4.1.2 ชนิด และปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์

ชนิดและปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์จะมีผลต่อขนาดของอนุภาคเม็ดไขมันที่เกิดขึ้นในระหว่างการลดขนาด โดยอิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดจะมีความสามารถและความเร็วในการล้อมจับรอบผิวอนุภาคเม็ดไขมัน แล้วเกิดเป็นชั้นเนื้อเยื่อป้องกันการหลอมรวมกันของอนุภาคเม็ดไขมัน และให้อิมัลชันมีเสถียรด้วยแรงกระทำที่แตกต่างกัน และอิมัลซิไฟเออร์จะต้องมีในปริมาณที่เพียงพอที่คุ้มครองรอบ ๆ ผิวอนุภาคเม็ดไขมันอย่างสมบูรณ์ เพื่อป้องกันการหลอมรวมตัวของอนุภาคเม็ดไขมันและการที่อนุภาคเม็ดไขมันในผลิตภัณฑ์มายองเนสอยู่ใกล้ชิดกันมากจนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ อิมัลซิไฟเออร์จึงมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการหลอมรวมกันของอนุภาคเม็ดไขมัน หากอิมัลซิไฟเออร์มีไม่เพียงพอจะทำให้โอกาสที่เกิดการหลอมรวมกันของอนุภาคเม็ดไขมันมีสูง อิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้เพื่อผลิตมายองเนสมักเป็นไขแดง โดยองค์ประกอบที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ของไขแดงมีทั้งเลซิทินและไลโปโปรตีน แต่เนื่องจากไขแดงมีปริมาณของคลอเรสเตอรอลสูง ทำให้ผู้ผลิตบางรายหันไปใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่นแทนเช่น โปรตีนหางนม แป้งคัดแปรซึ่งผู้ผลิตเองจะต้องมั่นใจว่าอิมัลซิไฟเออร์ที่นำมาใช้จะต้องมีความสามารถในการลดแรงดึงผิวของไขมันในระหว่างกระบวนการลดขนาดไขมันได้ เพื่อให้ได้ขนาดไขมันตามต้องการ และอิมัลซิไฟเออร์จะต้องสามารถรักษาให้อนุภาคเม็ดไขมันมีความเสถียรภายใต้สภาวะที่เป็นธรรมชาติของมายองเนส เช่นในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรดสูง และมีเกลือ เป็นต้น



### 2.4.1.3 สารช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส

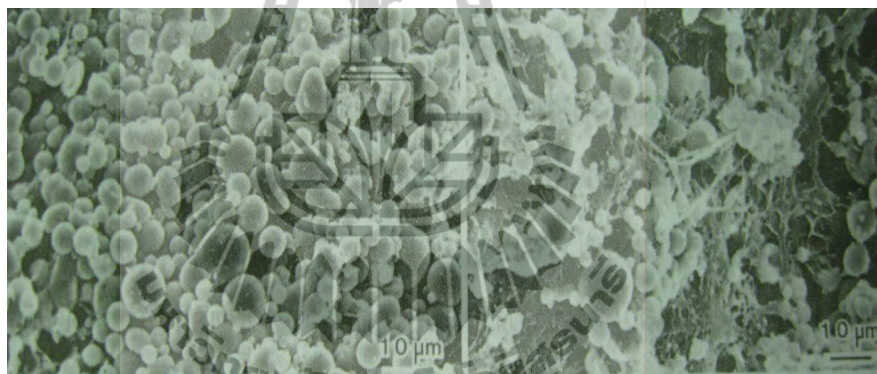
มายองเนสมักเติมสารไบโอโพลีเมอร์เพื่อปรับปรุงลักษณะทางเนื้อสัมผัสหรือปรับปรุงด้านความรู้สึกในปากและช่วยเพิ่มความเสถียรให้กับมายองเนสที่เกิดจากระบบที่มีความหนืดสูงขึ้น ทำให้ลดการเคลื่อนที่ และลดการชนกันของอนุภาคเม็ดไขมัน สารที่ใช้เติมเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือสารเพิ่มความข้นหนืด (Thickening agent) และสารที่สามารถเกิดเจล (Gelling agent) (McClements, 2005) โดยสารเพิ่มความข้นหนืดคือสารที่มีโครงสร้างที่มีรัศมีการแผ่กระจายสูงแล้วทำให้ระบบมีความข้นหนืดสูงขึ้น แต่สารที่สามารถเกิดเจลคือสารที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลีเมอร์ด้วยพันธะทางเคมีที่แตกต่างกันทำให้เกิดเป็นเจล ตัวอย่างสารที่มาจากกรดไขมันของโพลีแซคคาไรด์ เช่น แซนแทนกัม แป้งดัดแปร เซลลูโลสกัม เซลลูโลสเจลาต คาราจีแนน โลกซ์บีนกัม กัมอะราบิก กัวกัม และเพคติน เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเติมสารไบโอโพลีเมอร์ยังมีส่วนเหนี่ยวนำให้เกิด Depletion flocculation หรือเกิด Bridging flocculation ของอนุภาคเม็ดไขมันส่งผลให้ระบบอิมัลชันไม่เสถียรได้เช่นกัน (Dickinson, 1995; Dickinson and Euston, 1991) มายองเนสที่มีปริมาณไขมันมากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จะไม่พบปัญหาการเกิด Depletion flocculation เนื่องจากอนุภาคเม็ดไขมันมีมากและอยู่ใกล้ชิดกันจนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในสูตรที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างจะสามารถเคลื่อนที่ได้จึงจำเป็นต้องเติมไบโอโพลีเมอร์ให้เหมาะสมเพื่อลดการเกิด Depletion flocculation ซึ่งโพลีแซคคาไรด์บางชนิดอาจส่งผลต่อความเสถียรของระบบอิมัลชันเนื่องจาก ทำให้เปลี่ยนประจุรวม เปลี่ยนขนาดรูปร่าง ความยืดหยุ่น และมุมสัมผัสของโมเลกุลหรืออนุภาคที่เกาะที่ผิวเม็ดไขมัน แล้วทำให้เม็ดไขมันเกิดการเกาะกลุ่มหรือหลอมรวมตัวและแยกชั้นได้

Paraskevopoulou, Boskou และ Kiosseoglou. (2005a, 2005b) ศึกษาผลของการใช้โพลีแซคคาไรด์เป็นสารเพิ่มความคงตัวและเพิ่มลักษณะทางเนื้อสัมผัสในน้ำสลัด ที่ใช้น้ำมันมะกอกที่มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 50 โดยมีแซนแทนกัมเป็นสารเพิ่มความเสถียร และใช้ กัมอะราบิก และ โพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนตเป็นอิมัลซิไฟเออร์ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทนกัมสามารถเพิ่มความเสถียรต่อการเกิดคริมในตัวอย่างมายองเนสได้ และเมื่อใช้ แซนแทนกัมร่วมกับ โพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนต พบว่าตัวอย่างน้ำสลัดเกิดการแยกชั้นของคริมได้ช้ากว่าการใช้กัมอะราบิกเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งเป็นผลจากตัวอย่างที่เตรียมจากโพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนตมีความหนืดสูงกว่านั่นเอง

### 2.4.1.4 อุณหภูมิการจัดเก็บ

Tung และ Jones (1981) ศึกษาผลขององค์ประกอบ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีผลต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของมายองเนสและน้ำสลัด พบว่าโครงสร้างระดับจุลภาคของมายองเนสและน้ำสลัดมีความแตกต่างกัน น้ำสลัดจะมีจำนวนเม็ดไขมันน้อยกว่า และ

มีโครงสร้างแทที่มีรูปร่างไม่แน่นอนซึ่งเป็นร่างแหของแป้งที่ผ่านกระบวนการเจลาทิไนเซชัน (Gelatinization) แล้ว ส่วนโครงสร้างระดับจุลภาคของมายองเนสคืออนุภาคเม็ดไขมันที่มีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กอยู่ด้วยกัน (รูปที่ 2.8) และเมื่อเก็บตัวอย่างทั้งสองไว้ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วันพบว่า เม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคเม็ดไขมัน เม็ดไขมันที่พบจะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิสูงทำให้เม็ดไขมันเกิดการเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน ทำให้แล้วเม็ดไขมันมีโอกาสชนกันมากขึ้น และอุณหภูมิสูงยังทำให้ความหนืดของเฟสต่อเนื่องลดลง ส่งผลให้อิมัลซิไฟเออร์ซึ่งเป็นลิโปโพรตีนในไข่แดงละลายน้ำได้มากขึ้นและทำให้มุมสัมผัส (Contact angle) ของลิโปโพรตีนเปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลให้เกิดการหลอมรวมตัวกันของอนุภาคเม็ดไขมันและทำให้เม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น



**รูปที่ 2.8** ภาพถ่ายด้วยเครื่อง Scanning electron microscope ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันของมายองเนส (ก) และน้ำสลัด (ข)

ที่มา : Tung and Jones (1981)

#### 2.4.2 คุณภาพด้านเคมี

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่พบและเป็นปัญหาที่สำคัญต่อคุณภาพของมายองเนส คือการเกิดกลิ่นหืนของไขมันในระหว่างการเก็บ ส่งผลให้มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ การเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบเกิดขึ้นได้เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเองที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศที่สามารถเกิดแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในสถานะที่มีโลหะ เช่น ทองแดงหรือตะกั่วจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ความร้อนและแสงก็ช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นกัน กระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้ำมันจะเกิดขึ้นกับไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยา

กับ Oxygen-active species ซึ่งสามารถอธิบายกระบวนการเกิดได้สามขั้นตอนหลักคือ ระยะเริ่มต้น (Initiation phase) เกิดขึ้นเมื่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้รับสิ่งกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งสิ่งกระตุ้นนั้นอาจมาจากแสง ความร้อน ในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะหนักบางชนิดเช่นเหล็ก (Fe) ขั้นที่สอง (Propagation phase) เกิดขึ้นเมื่ออนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วได้เป็นสารประเภท Peroxide radical และขั้นที่สาม (Termination) เกิดเนื่องจากการเปลี่ยนโครงสร้างจาก Peroxide ไปเป็นสารประกอบประเภท อัลดีไฮด์ ีโตน แอลกอฮอล์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหาร (Rancid flavor) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารที่เป็นอิมัลชันจะมีกระบวนการเกิดที่แตกต่างไปจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันปกติทั่วไป การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันในอิมัลชันจะเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของอนุภาคเม็ดไขมัน (Mei, McClements, and Decker 1998a; 1998b) ระบบของอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของไขมันกับสิ่งกระตุ้นในระยะเริ่มต้น (McClements and Decker, 2000) ในขณะที่ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันไม่ได้มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันในระยะ Propagation phase (Jacobson, Hartvigsen, Lund and Thomsen, 2000) และในระบบที่มีความหนืดสูงจะช่วยลดการเคลื่อนที่ของออกซิเจนที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคเม็ดไขมันทำให้สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันได้

Hsieh และ Regenstein (1992) ศึกษาผลของชนิดน้ำมันที่แตกต่างชนิดกันต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันที่ประกอบไปด้วย น้ำมันจากปลา น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง โดยที่น้ำมันจากถั่วเหลือง และน้ำมันข้าวโพดมี Linoleic acid (18:2) และ Linolenic acid (18:3) สูงในขณะที่ในน้ำมันปลามี Eicosapentanoic acid (20:5) และ Docosahexanoic acid (22:6) สูง ดังนั้นมาของเนสที่ผลิตจากน้ำมันปลาจึงเกิดการออกซิไดส์ได้ง่ายกว่ามาของเนสที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันข้าวโพด

Jacopson และคณะ (2000) พบว่าการใส่กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid), เลซิธิน (Lecithin) และ โทโคฟีรอล (Tocopherol) จะสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันในมาของเนสได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกสามารถที่จะทำปฏิกิริยากับธาตุเหล็กได้

Paraskevopoulou, Boskou, และ Paraskevopoulou, (2007) ใช้แซนแทนกัมร่วมกับกัมอะราบิก หรือโพรพิลีนไกลคอลอะซิเนตเป็นสารให้ความคงตัว ในน้ำสลัดที่เตรียมจากน้ำมันมะกอก โดยเตรียมตัวอย่างน้ำสลัดให้มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่แตกต่างกัน แล้วศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน พบว่าโพลีแซคคาไรด์ดังกล่าวมีความสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันอันเป็นผลมาจากคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และช่วยให้ความหนืดตัวอย่างน้ำสลัดเพิ่มขึ้นทำให้ลดการเคลื่อนที่ของออกซิเจนและตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกัมอะราบิกจะมีคุณสมบัติ

ในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ได้มากกว่าโพพพิลีน ไกลคอลอัลจินต และสามารถเก็บน้ำสลัดไว้ได้นาน 6 ถึง 8 เดือนที่อุณหภูมิห้อง

สารประกอบ Ethylenediaminetetraacetate (EDTA) ซึ่งเป็นสารคีเลตติ้งเอเจนต์ (Chelating agent) มักนิยมใส่ลงไปในการน้ำสลัด มาของเนส เพื่อลดการทำงานของธาตุเหล็กไม่ให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน (McClements and Decker, 2000)

### 2.4.3 คุณภาพด้านจุลินทรีย์

เชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความเน่าเสียของมาของเนสคือเชื้อในกลุ่ม *Salmonella* (Ortego-Benito and Langridge, 1992; Radford and Board, 1993). ที่มีการปนเปื้อนจากไข่ การควบคุมไม่ให้มี *Salmonella* ในมาของเนสทำได้โดยควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้ต่ำกว่า 4.10 และตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 18 ถึง 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมงก่อนการบริโภค (Smittle, 1977) นอกจากนี้ยังพบว่ายีสต์ยังเป็นสาเหตุหนึ่งของการเน่าเสียของมาของเนส ซึ่ง Kurtzman, Rogers และ Hesseltine (1971) ได้ศึกษาหาเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในน้ำสลัดและมาของเนสที่เน่าเสียจำนวน 17 ตัวอย่างในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่ามี *Saccharomyces bailii* ถึงสองในสามของตัวอย่างที่เสีย รองลงมา คือ *Lactobacillus fructivorans* ส่วนตัวอย่างที่ไม่เน่าเสียพบ *Bacilli* เพียงเล็กน้อย ซึ่งทุกตัวอย่างไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อรา Abu-salem และ Abou-Arab (2008) ได้ศึกษาการใช้ไข่แดงจากไข่นกกระทาแทนไข่ไก่เพื่อผลิตมาของเนส โดยศึกษาอิทธิพลของการพาสเจอไรซ์และไม่พาสเจอไรซ์ ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างที่พาสเจอไรซ์และไม่พาสเจอไรซ์มีเชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการศึกษา 20 สัปดาห์ ซึ่งคาดว่าเชื้อแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นเป็นการเจริญเติบโตของเชื้อที่ทนกรดได้ คือเชื้อในกลุ่มกรดแลคติกแบคทีเรีย (Karas, Skvaraa and Ilender, 2002) นอกจากนี้ยังตรวจพบการเจริญเติบโตของยีสต์และราในสัปดาห์ที่ 5 ของการเก็บและมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตัวอย่างที่ไม่พาสเจอไรซ์จะพบการเจริญเติบโตของยีสต์และราสูงกว่าในตัวอย่างที่พาสเจอไรซ์ ส่วน Hwang และ Tamplin (2004) ได้ศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิการจัดเก็บต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *Listeria monocytogenes* ในน้ำสลัดสูตรทะเลพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการจัดเก็บจะเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และเมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง จะมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในช่วง Log phase ลดลง

## 2.5 การตรวจสอบคุณภาพของมาของเนส

### 2.5.1 คุณภาพทางกายภาพ

เนื่องจากมาของเนสเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของมาของเนสทำให้ยากต่อการทำนายหรือคาดการณ์ได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสูตรหรือส่วนผสมของอาหารหรือการเปลี่ยนแปลงการผลิตจะทำให้อาหารมีคุณสมบัติเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ การทดสอบคุณภาพทางกายภาพบางอย่างของมาของเนส สามารถใช้คาดการณ์ถึงคุณสมบัติอีกประการของมาของเนสได้ และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีและกายภาพเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของมาของเนส ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่มีความทันสมัย ซึ่งนอกจากจะใช้ควบคุมคุณภาพให้คงที่แล้ว ยังสามารถช่วยให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุง คัดแปลงและพัฒนาสูตรของมาของเนสที่ใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน ที่เปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย และพฤติกรรมผู้บริโภคเพื่อให้ตอบสนองกับความต้องการของผู้บริโภคและต้นทุนการผลิต ส่วนนักวิทยาศาสตร์อาหารที่ศึกษาและพัฒนาวัตถุดิบใหม่เป็นสารทดแทนวัตถุดิบเดิม และปรับปรุงสูตรอาหารดั้งเดิมที่เคยมี โดยผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้จะต้องดำรงไว้ซึ่งคุณลักษณะดั้งเดิมทั้งรสชาติและลักษณะปรากฏทางกายภาพ ซึ่งจำเป็นต้องตรวจสอบและควบคุมคุณภาพทางกายภาพไว้โดยจะยกตัวอย่างคุณภาพทางกายภาพที่นิยมศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของมาของเนสซึ่งถือว่าเป็นลักษณะที่เด่นและสามารถนำไปสู่การตัดสินใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้

#### 2.5.1.1 การวัดขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน

ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติด้านเคมีกายภาพอื่น ๆ ของมาของเนสด้วย เช่น มีผลต่ออายุการจัดเก็บ ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และกลิ่น-รส ของอาหาร ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคระหว่างการจัดเก็บสามารถส่งผลถึงคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ได้เช่นกัน การรายงานค่าขนาดอนุภาคที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่นค่า Surface mean diameter  $D_{32} = \sum n_i D_i^3 / \sum n_i D_i^2$  หรือ Volume mean diameter  $D_{43} = \sum n_i D_i^4 / \sum n_i D_i^3$  โดยที่  $n_i$  จำนวนอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D_i$  โดยเครื่องมือวัดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่นิยมใช้ยกตัวอย่างเช่น กล้องจุลทรรศน์ และ Laser diffraction เป็นต้น ซึ่งกล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดได้ทั้งขนาดอนุภาคและการมองเห็นลักษณะรูปร่างของอนุภาคเม็ดไขมันแต่มีข้อจำกัดเนื่องจากยังมีความผิดพลาดสูง โดยที่อนุภาคบางอนุภาคอาจมองไม่เห็นด้วยตา ทำให้การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนได้ ช่วง 20 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเครื่องมือวัดขนาดอนุภาคที่อาศัยหลักการของการเลี้ยวเบนของแสง (Laser diffraction) ที่ถูกพัฒนาขึ้นตาม ISO13320 ที่สามารถวัดขนาดอนุภาคที่อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 3000 ไมโครเมตรได้ โดยใช้การประมาณของฟรอนโฮเฟอร์ (Fraunhofer approximation) ที่ว่าความเข้มของแสงที่เกิดการเลี้ยวเบนมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคแต่ละขนาด แต่มุมเลี้ยวเบนกลับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาคซึ่งการใช้ตัวกรองแสง เลนส์ และตัวตรวจจับทางแสงร่วมกับคอมพิวเตอร์ จะช่วยให้สามารถประมวลผลจากข้อมูลการเลี้ยวเบนของแสงเป็นค่า



การกระจายตัวของอนุภาคได้ แต่จะมีข้อจำกัดคืออนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าช่วงความสามารถของเครื่องตรวจจับจะไม่ได้รับการบันทึก และสมมติฐานของฟรอนโฮเฟอร์มีข้อจำกัดตรงที่อนุภาคต้องมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช่ว่าดี อนุภาคต้องทึบแสง และอนุภาคทุกขนาดต้องกระเจิงแสงออกไปอย่างมีประสิทธิภาพเท่ากัน จากข้อจำกัดเหล่านี้ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแสงได้ หลังจากนั้นจึงได้มีการพัฒนา เครื่องมือวัดขนาดอนุภาคที่ใช้ทฤษฎีของมี (Mie Theory) เพื่อให้สามารถวัดขนาดของอนุภาคในช่วง 0.02 ถึง 2000 ไมโครเมตรได้อย่างถูกต้อง แต่ทฤษฎีนี้มีข้อจำกัดคือจำเป็นต้องรู้ค่าดัชนีการหักเห (Refractive index) ของวัสดุที่นำมาทดสอบและตัวกลางรวมทั้งค่าการดูดซับแสง (Absorption) ของวัสดุทั้งสองชนิดด้วย

#### 2.5.1.2 คุณสมบัติวิทยาการกระแส (Rheology)

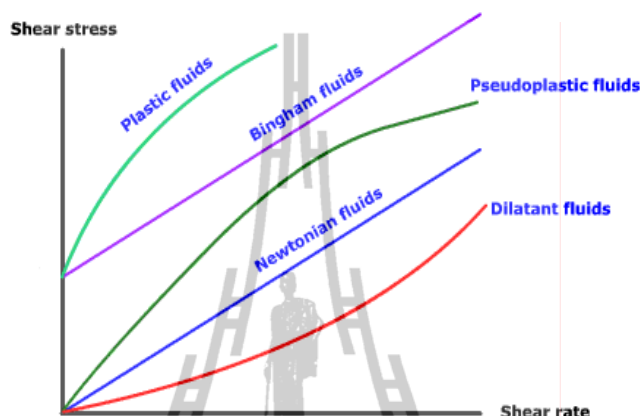
คุณสมบัติวิทยาการกระแสเป็นศาสตร์ที่ศึกษาลักษณะทางกายภาพของการเปลี่ยนรูปและการไหลของวัสดุ ซึ่งคุณสมบัติวิทยาการกระแสเกี่ยวข้องกับควบคุมคุณภาพ เช่น การควบคุมลักษณะเนื้อสัมผัส ความข้นหนืด และ ลักษณะด้านประสาทสัมผัส เป็นต้น คุณสมบัติวิทยาการกระแสยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต เช่น การตีผสม การกวน การโฮโมจีไนซ์ และการบีบผ่านท่อ เป็นต้น รวมไปถึงการใช้วิทยาการกระแสเพื่อทำนายอายุการเก็บของมายองเนส (Wendin and Hall, 2001)

อาหารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการไหลที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างองค์ประกอบของอาหารที่มีความซับซ้อนแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีในอาหาร การใช้เครื่องวัดวิทยาการกระแสในตัวอย่างอาหารเป็นเทคนิคที่นักวิทยาศาสตร์การอาหารนิยมนำมาใช้เพื่อศึกษา ควบคุมคุณภาพ และติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างอาหารที่มีการปรับปรุง คัดแปลงและพัฒนาขึ้นมาใหม่ เนื่องจากมีความสะดวกใช้ตัวอย่างน้อยและตัวอย่างไม่ถูกทำลาย การศึกษาคุณสมบัติด้านวิทยาการกระแสในมายองเนสมีหลายเทคนิค เช่น การศึกษาพฤติกรรมการไหลจะวัดด้วยเทคนิค Steady shear rate-shear stress, Time dependent shear rate-shear stress ส่วนการวัดคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติก เช่น Creep compliance testing การวัดการเปลี่ยนแปลงของความเค้นเมื่อให้ความเครียดคงที่ (Stress relaxation testing) หรือการวัดการเปลี่ยนแปลงโมดูลัสเมื่อให้ความเค้นหรือความเครียดเป็นรอบ (Dynamic rheomogical testing) มายองเนสเป็นอิมัลชันที่มีอนุภาคเม็ดไขมันกระจายตัวอย่างใกล้ชิด มีลักษณะกึ่งของแข็งของเหลว จึงสามารถแสดงพฤติกรรมการไหลได้ สำหรับการจำแนกประเภทของการไหลสามารถจำแนกได้สองประเภท (จินตนา นภาพร, 2550) ตามกฎการไหลของนิวตัน (Newton's law of flow)

##### 2.5.1.2.1 Newtonian flow

เป็นการไหลโดยความเค้นเฉือน (Shear stress,  $\sigma$ ) แปรผันตามอัตราเฉือน (Shear rate,  $\dot{\gamma}$ ) ไม่ว่าจะใช้อัตราเฉือนต่ำหรือสูงของเหลวก็ยังคงมีความหนืดเท่าเดิม (รูปที่ 2.9) ค่าความ

หนืดของของเหลวที่มีการไหลแบบนิวโตเนียนจะเป็นค่าความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute viscosity) หรือความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดจะลดลงยกตัวอย่างสารที่มีการไหลแบบนิวโตเนียน เช่น น้ำ น้ำผึ้ง น้ำมันพืช เป็นต้น



รูปที่ 2.9 ลักษณะของพฤติกรรมกรไหล  
ที่มา : คัดแปลงจาก Toledo (1991)

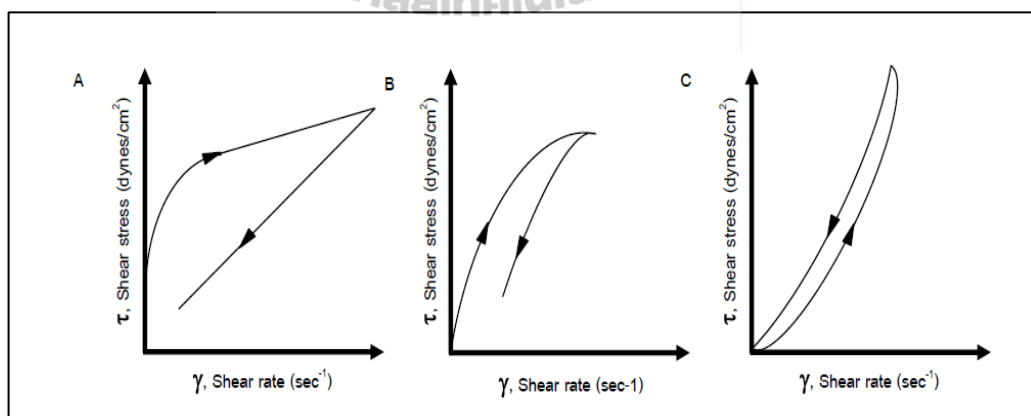
#### 2.5.1.2.2 Non-newtonian flow

การไหลแบบ Non-Newtonian คือรูปแบบการไหลที่อัตราส่วนของความเค้นเฉือนต่ออัตราเฉือนไม่คงที่ค่าความหนืดเปลี่ยนตามอัตราเฉือนดังแสดงในรูปที่ 2.9 ความหนืดประเภทนี้เรียกความหนืดปรากฏหรือ Apparent viscosity ( $\eta_a$ ) การไหลแบบนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

ก) การไหลไม่ขึ้นกับเวลา (Time-independent) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทย่อยคือ 1) Plastic flow หรือ Bingham plastic ถ้ามีแรงกระทำต่อตัวอย่างต่ำ ๆ ตัวอย่างจะไม่ไหล จนเพิ่มแรงให้มากขึ้นถึงค่า ๆ หนึ่งที่เรียกว่า Yield value ตัวอย่างจะเริ่มไหลและถ้าเพิ่มอัตราเฉือนมากขึ้นอัตราเร็วของการไหลจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตรงกับแรงที่ใส่คล้ายการไหลแบบนิวโตเนียน (รูปที่ 2.9) สารที่มีลักษณะการไหลแบบบิงแฮมเช่น ซอสมะเขือเทศ ซอสหอยนางรม เป็นต้น 2) Pseudoplastic flow หรือ Shear-thinning เป็นรูปแบบของการไหลที่อัตราเร็วของการไหลไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่ใช้ โดยของเหลวจะไหลทันทีเมื่อให้อัตราเฉือนและจะเริ่มไหลเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนและความหนืดจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน (รูปที่ 2.9) ของเหลวที่ไหลแบบนี้จะไม่สามารถแสดงความหนืดเป็นค่าใดค่าหนึ่ง และ 3) Dilatant flow หรือ Shear-thickening

เป็นของเหลวที่มีลักษณะตรงข้ามกับ Pseudoplastic เมื่อมีอัตราเฉือนมากขึ้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.9) มักเกิดกับระบบที่มีอนุภาคกระจายตัวมากและมีแนวโน้มนำ Aggregate หรือเกาะติดกันมากซึ่งโดยทั่วไปไม่พบการไหลลักษณะนี้ในอาหาร

ข) Time-Dependent การไหลจะขึ้นอยู่กับอัตราเฉือนและเวลาสามารถแบ่งได้ เป็น 2 ประเภทย่อย (จินตนา นภาพร, 2550 ) คือ 1) Thixotropic flow หรือ Time-thinning system (ระบบคื่นรูปช้า) เป็นการไหลภายหลังที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลและเกิดการคื่นรูป แต่การคื่นรูปที่สมบูรณ์ต้องอาศัยช่วงเวลาระยะหนึ่ง ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวของเหลวจะแสดงความหนืดที่แตกต่างไปจากเดิม และคงอยู่นานพอที่จะวัดอัตราเร็วของการไหลหนึ่ง ๆ ได้ เส้นกราฟขณะเพิ่มอัตราเฉือนจะไม่ซ้อนทับเส้นกราฟขณะลดอัตราเฉือนลง เรียกพื้นที่ระหว่างเส้นกราฟทั้งสองว่า Hysteresis loop หรือ Thixotropic area (รูปที่ 2.10 A-C) เมื่อใส่แรงกระทำกับตัวอย่างจะทำให้ความหนืดของของตัวอย่างลดลงและคงเป็นของเหลวอยู่ได้ในช่วงเวลาหนึ่งทำให้สามารถเทออกจากขวดได้ง่ายและเมื่อตั้งทิ้งไว้เกิดการคื่นรูปและ 2) Rheopectic flow หรือ Time-thickening system เป็นการเร่งให้ตัวอย่างที่มีความหนืดต่ำเนื่องจากมีแรงกระทำทำให้คื่นรูปมีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วยการเขย่าเบา ๆ อย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ เพราะแรงเขย่าจะช่วยให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเกิดได้เร็วขึ้น (รูปที่ 2.10 C) ส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้น



รูปที่ 2.10 Rheogram ของการไหลแบบ Thixotrop ได้แก่ Thixotropic plastic (A), Thixotropic pseudoplastic (B) และ Thixotropic dilatants (C)

ที่มา : จินตนา นภาพร (2550)



ค) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการอธิบายพฤติกรรม การไหลของอาหารได้แก่ Power's law model, Casson model, Bingham model และ Herschel-Bulkley model โดยแสดงความสัมพันธ์ได้ตามสมการต่อไปนี้

*Power law's model*

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n \quad (2)$$

เมื่อ  $n$  คือ Flow behavior index,  $n = 1$  (Newtonian fluid),  $0 < n < 1$  (Pseudo plastic fluid),  $1 < n < \infty$  (Dilatants fluid)

$K$  = ดัชนีความคงตัว (Consistency index)

$\sigma$  = ความเค้นเฉือน

$\dot{\gamma}$  = อัตราเฉือน

*Herschel-Bulkley model*

$$\sigma = \sigma_y + K(\dot{\gamma})^n \quad (3)$$

เมื่อ  $\sigma_y$  คือ Yield stress

*Bingham model*

$$\sigma = \sigma_y + K(\dot{\gamma}) \quad (4)$$

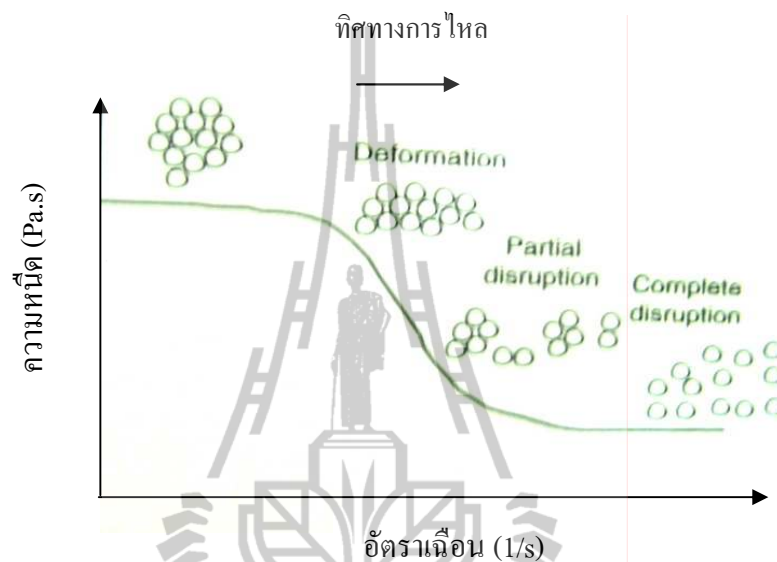
*Casson model*

$$\sigma^{1/2} = \sigma_y^{1/2} + K^{1/2}(\dot{\gamma}) \quad (5)$$

โดยทั่วไปของเนสจะแสดงคุณสมบัติวิหยากระแสบแบบ Psuedoplastic โดยความหนืดจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนให้กับตัวอย่าง โดยทั่วไปอนุภาคเม็ดไขมันในมาของเนสจะอยู่อย่างหนาแน่นและเกาะกลุ่มกันเมื่อใส่แรงเฉือนต่ำ ๆ แรงที่ใส่เข้าไปจะทำลายแรงยึดเกาะของอนุภาคเม็ดไขมันให้แยกออกจากกัน และจะไหลได้ดีเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยจะมีลักษณะการไหลที่ขึ้นกับเวลา (Time dependent characteristic) โดยมี Yield stress ทั้งนี้พบว่า Yield stress จะขึ้นกับปริมาณไขมัน (Peressini, Sensidoni, and Cindio, 1998; McClements, 2005; Mun et al., 2009; Worrasinchai et al., 2006)

การแสดงคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติกของมาของเนสเกิดจากมีแรงมากระทำ และเกิดการเปลี่ยนรูปผ่านการสะสมพลังงาน เพื่อใช้ในการคืนรูปและเกิดการไหลได้เล็กน้อย ทางทฤษฎีวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นของแข็งในอุดมคติจะไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเครียดหรือแสดงการไหลเมื่อให้ความเค้นคงที่ ดังแสดงในกราฟของแข็งในอุดมคติ (Ideal elastic material) ในขณะที่วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นของไหลจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเครียดเมื่อให้ความเค้นคงที่ ดังแสดงในกราฟของไหลในอุดมคติ (Ideal viscous material) ซึ่งวัสดุที่มีคุณสมบัติทั้งแข็ง

กึ่งเหลวจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเครียดเมื่อให้ความเค้นคงที่ และเมื่อหยุดให้ความเค้นวัสดุจะสามารถคืนกลับสภาพเดิมได้บางส่วน (Partial recovery) แต่จะมีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรดังแสดงในรูป 2.12 ก และ ข (ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545; Steffe, 1996)



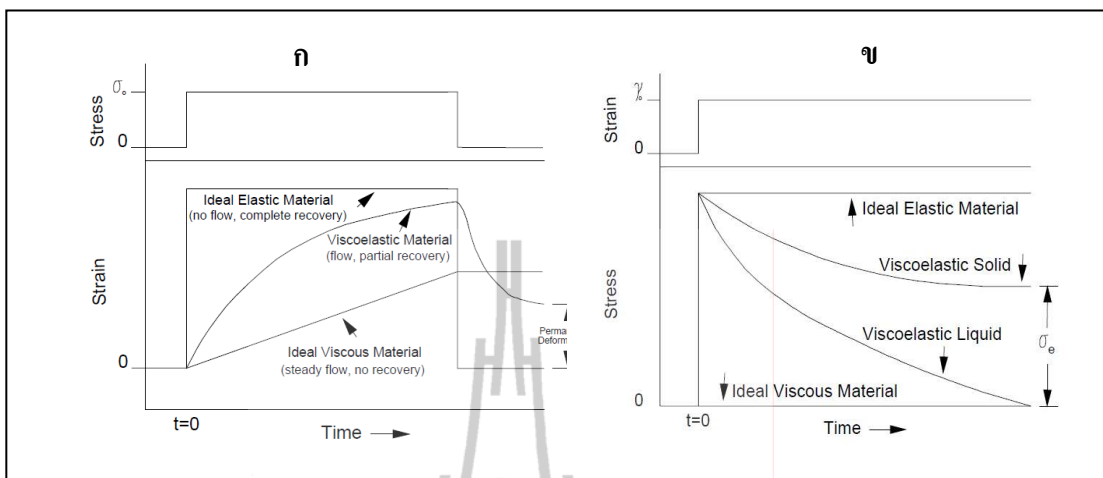
รูปที่ 2.11 การเสียรูปของอิมัลชันเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนให้กับตัวอย่าง  
ที่มา : McClements (2005)

สำหรับคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติกของมาของเนสจะวัดในรูปแบบของ Dynamic test ตัวอย่างถูกใส่ความเค้นหรือความเครียดเป็นรอบ แล้ววัดค่าการตอบสนองที่เกิดขึ้นเป็นความเครียดหรือความเค้น ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบไซน์จะทำมุมต่างเฟสกัน (Delta,  $\delta$ ) โดยจะมีค่าต่างกันระหว่าง 0 ถึง 90 องศา (McClements, 2005; Steffe, 1996) ดังแสดงในรูปที่ 2.13

สามารถเขียนความสัมพันธ์ของการตอบสนองของความเค้น  $\sigma(t)$  ที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบไซน์ที่ทำมุมต่างกันไว้ดังนี้

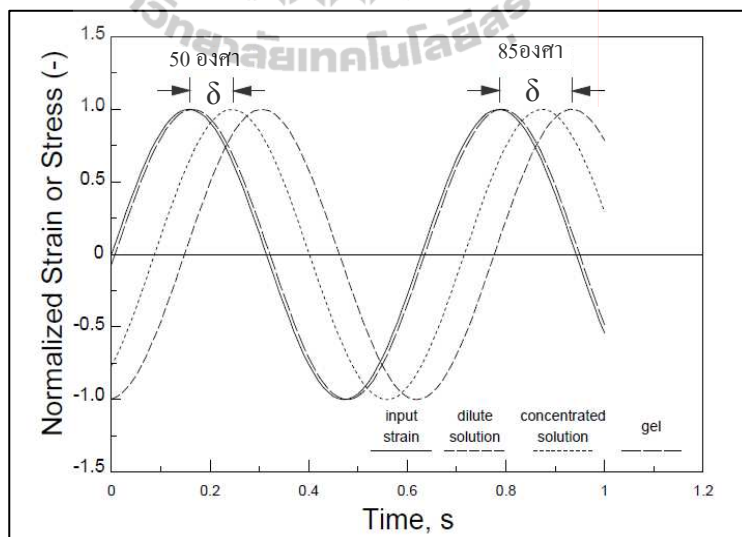
$$\sigma(t) = \sigma_0 \cos(\omega t) \quad (6)$$

$\sigma(t)$  และ  $\sigma_0$  คือความเค้นที่เวลาใด ๆ และความเค้นสูงสุด  
 $\omega$  คือ ความถี่เชิงมุมที่วัดแบบไซน์



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเครียด (ก) หรือความเค้น (ข) กับเวลาเมื่อให้ความเค้นหรือความเครียดคงที่แก่วัสดุที่ปั่นของแข็งในอุดมคติ หรือวัสดุอีลาสติก (Ideal elastic material) วัสดุวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic material) และวัสดุที่เป็นของไหลในอุดมคติ (Ideal viscous material)

ที่มา : Steffe (1996)



รูปที่ 2.13 ความเค้นที่สนองตอบความเครียดของวัสดุที่แตกต่างกัน โดยแสดงค่ามุมเฟสแตกต่างกัน ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ จะมีค่าเฟสต่างกัน ( $\delta$ ) 85 องศา ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูง มี  $\delta$  50 องศา และตัวอย่างที่เป็นเจลจะมีค่า  $\delta$  0 องศา

ที่มา : ดัดแปลง Steffe (1996)

การแสดงความสัมพันธ์ด้านวิสโคอีลาสติกของตัวอย่างที่ตอบสนองต่อการสั่นสามารถอธิบายในรูปของมอดุลัสดังนี้

$$G' = (\sigma_0/\gamma_0) \cos(\delta) \quad (7)$$

และ

$$G'' = (\sigma_0/\gamma_0) \sin(\delta) \quad (8)$$

เมื่อ  $G'$  และ  $G''$  คือมอดุลัสสะสม (Storage modulus) และมอดุลัสสูญเสีย (Loss modulus) ตามลำดับ  $\gamma_0$  คือ ความเครียดสูงสุด

การกำหนดค่าแอมพลิจูด (Amplitude) หรือความเครียดเพื่อใช้ศึกษาคุณสมบัติวิสโคอีลาสติกนิยมเลือกให้มอดุลัสสะสมอยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรง (Linear viscoelastic region: LVR) ซึ่งสามารถหาค่า LVR ได้จากการทดสอบในรูปแบบของ Strain sweep โดยจะให้ความเครียดกับตัวอย่างในช่วงความถี่ต่ำ ๆ แล้ววัดการตอบสนองของความเค้น หลังจากนั้นจึงเลือกค่าความเครียดในช่วงที่ความถี่ต่ำ ๆ ที่ตัวอย่างมีมอดุลัสสะสมอยู่ในช่วงเส้นตรง การกำหนดให้ค่าความเครียดอยู่ในช่วง LVR เพื่อทดสอบหาค่าการตอบสนองของความเค้นนั้นเป็นเพราะช่วงดังกล่าวความเค้นของตัวอย่างจะตอบสนองเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียดและคุณสมบัติของตัวอย่างไม่ได้ถูกกระทบจากการทดสอบ (Lui and Masliyah, 1996)

มายองเนสจะมีคุณสมบัติของโครงสร้างที่คล้ายเจล (Gel-like structure) เนื่องจากมีมอดุลัสสะสมสูงกว่ามอดุลัสสูญเสีย โดยที่มอดุลัสสะสมจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไขมันและขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน (Maruyama et al., 2007; Peressini et al., 1998; Worrasinchai et al., 2006) โดยที่คุณสมบัติทางวิทยากระแสมายองเนสจะขึ้นกับความหนืดของเฟสต่อเนื่อง ความเข้มข้นและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมัน (Wendin and Hall, 2001) ในระหว่างการเก็บตัวอย่างหากมีการเปลี่ยนแปลงอนุภาคเม็ดไขมันที่เป็นผลจากการเกิด Depletion flocculation ทำให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันใหญ่ขึ้นก็จะส่งผลให้คุณสมบัติวิทยากระแสมายองเนสเปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลต่อลักษณะปรากฏ คุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภคได้เช่นกัน

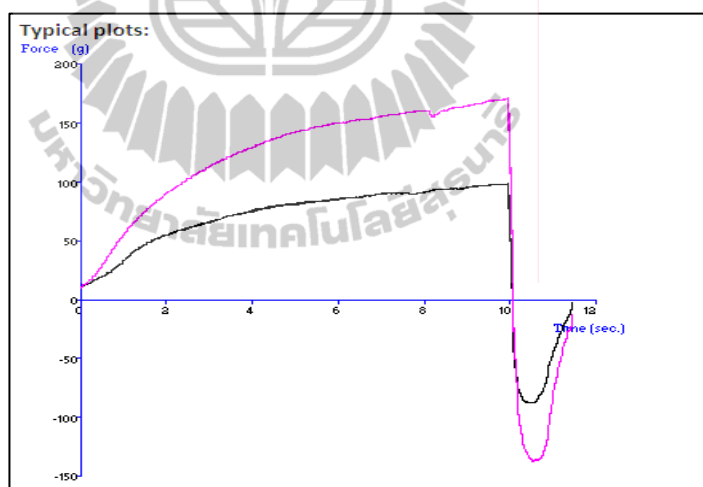
### 2.5.1.3 การวัดเนื้อสัมผัส

การวัดเนื้อสัมผัสของมายองเนสเป็นอีกเทคนิคที่นักวิทยาศาสตร์การอาหารนิยมใช้ตรวจสอบคุณภาพของมายองเนส เป็นเทคนิคที่ไม่ยุ่งยากและใช้เวลาทดสอบไม่นาน การวัดเนื้อสัมผัสของมายองเนสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) สามารถวัดได้ทั้งในรูปแบบของ Back extrusion และ Compression (Stable Microsystem; Ltd) ยกตัวอย่างค่าที่ได้จากการวัดคุณภาพด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสที่วัดในรูปแบบของ Back extrusion และ Compression เช่น ค่าความแน่นเนื้อ

(Firmness) ที่เป็นค่าแรงสูงสุดที่เกิดระหว่างการกดหัววัดใส่ลงในตัวอย่าง และค่าการยึดเกาะ (Adhesiveness) ซึ่งเป็นพื้นที่ใต้กราฟในขณะที่ยกหัววัดขึ้นจากตัวอย่าง ลักษณะกราฟที่ได้จากการวัดทั้งสองแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลา (รูปที่ 2.14)

### 2.5.1.3 การวัดสี

สีเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์มาของเนส สีของมาของเนสสูตรดั้งเดิมจะเป็นสีเหลือง นวล และมีความมันวาว ที่ได้จากไข่แดง และมันสตาร์ด โดยที่ไขมันจะให้ลักษณะปรากฏของมาของเนสที่มีความมันวาว ที่เกิดจากการตกกระทบและการสะท้อนออกของแสง เครื่องมือที่ใช้วัดสีในปัจจุบันได้ออกแบบให้สามารถวัดและระบุค่าได้อย่างละเอียดและสามารถแปลงออกมาเป็นค่าสีที่เป็นตัวเลขที่มีค่าใกล้เคียงกับการมองเห็นด้วยสายตาของมนุษย์ ทำให้สามารถนำตัวเลขที่ได้จากเครื่องมือวัดสีเป็นตัวไปกำหนดเป็นค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์และใช้เพื่อควบคุมคุณภาพอาหารแทนสายตามนุษย์ได้ เนื่องจากสายตาของมนุษย์ไม่สามารถกำหนดค่าสีออกมาเป็นตัวเลขได้ และมนุษย์อาจมีอาการเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจได้



รูปที่ 2.14 กราฟที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส  
ที่มา : Stable Microsystem Co, Ltd.

ตัวอย่างระบบค่าสีที่นิยมใช้เช่นระบบ Stimulus เช่นค่าสี  $L^*$   $a^*$   $b^*$  ที่ได้พัฒนาขึ้นโดย Commission Internationale de l' Eclairage (CIE) ในปี ค.ศ. 1976 ค่า  $L^*$  เป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ความดำ) ถึง 100 (ความขาว) เป็นค่าที่วัดได้จากการสะท้อนออกของคลื่นแสง ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เป็นค่าโครมา (Croma) หรือสีเหลืองซึ่งเป็นค่าที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นแสงเกิดการผสมของแสงสี โดยค่า  $a^*$  ค่าเป็นบวกบ่งบอกถึงสีแดง ค่าลบบ่งบอกถึงสีเขียว

ส่วนค่า  $b^*$  ค่าลบบ่งบอกถึงสีน้ำเงิน และค่าบวกบ่งบอกถึงสีเหลือง (Hutchings, 1994) เมื่อต้องการเปรียบเทียบสีของตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน หรือต้องการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสีในอาหารในระหว่างการเก็บรักษา สามารถใช้ค่าความแตกต่างของค่า  $L^*$  ( $\Delta L^*$ ),  $a^*$  ( $\Delta a^*$ ) และ  $b^*$  ( $\Delta b^*$ ) มาเปรียบเทียบได้หรือนำคำนวณหาค่า  $\Delta E^*$  จากสมการ  $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$  เพื่อให้มีตัวเลขสำหรับการเปรียบเทียบเพียงค่าเดียว ทำให้สามารถบอกได้ว่าตัวอย่างอาหารมีการเปลี่ยนแปลงของสีไปจากตัวอย่างมาตรฐานหรือค่าเริ่มต้นมากน้อยเพียงใด

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีในมายองเนสคือ ปริมาณของส่วนผสม เช่น ปริมาณไขมัน ไข่แดง มัสตาร์ด หรือการเติมสารตกแต่งสีลงไป ค่าความสว่างและค่าโครมาจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของอนุภาคเม็ดไขมัน (Droplet concentration) และขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน (McClements and Demetriades, 1998; McClements, 2005; Worrasinchai et al., 2006) ค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคเม็ดไขมัน และมีค่าลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่ค่าโครมามีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคเม็ดไขมันสูงขึ้น และค่าโครมาสูงขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคเม็ดไขมัน ซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนออกของคลื่นแสงมาก ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  จะลดลง ทำให้ตัวอย่างมีค่าสีที่อ่อนลง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคเม็ดไขมันในระหว่างการจัดเก็บจึงส่งผลโดยตรงต่อสีของตัวอย่าง มายองเนส

## 2.5.2 คุณสมบัติทางเคมี

### 2.5.2.1 กลิ่นหืน

การติดตามการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในมายองเนสสามารถติดตามโดยใช้เทคนิคการวัดได้หลายวิธี เช่น

#### 2.5.2.1.1 Acid value

Acid value เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของน้ำมันด้วยเอนไซม์ไลเปสและความชื้น ทำให้ไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นหืน ค่า A.V. คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันจำนวน 1 กรัมให้เป็นกลางพอดี ซึ่งนิยมเปรียบเทียบเป็นกรดโอเลอิก (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ดังนั้นค่า A.V. จึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงระดับการหืนได้ ถ้าค่า A.V. สูงแสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระมากแสดงว่ามีกลิ่นหืนมาก

#### 2.5.2.1.1 Peroxide Value

Peroxide Value (P.V) เพอร์ออกไซด์ (Peroxide) เป็นผลิตภัณฑ์แรกที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ปริมาณสารเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมัน

จะถูกคำนวณออกมาในค่าของจำนวนมิลลิตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 N ที่ใช้ในการไตเตรทไขมันน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม หรือหมายถึงจำนวนมิลลิสมมูลของเพอร์ออกไซด์ ออกซิเจน (Peroxide oxygen) ที่มีในน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม (นิธิยา รัตนา ปนนท์, 2548) ถ้าค่า P.V. สูงแสดงว่าน้ำมันหรือไขมันเกิดการหืนเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันมาก

#### 2.5.2.1.1 Thiobarbituric acid (TBA)

TBA เป็นเทคนิคการทดสอบเพื่อหาผลิตภัณฑ์อันดับที่สองที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทริกแล้วเกิดสีขึ้น ตัวอย่างสารที่เกิดจากการแตกสลายของเพอร์ออกไซด์เช่นมาโลนัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดในปริมาณสูงกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทริกจะให้สารที่มีสีชมพูที่ดูดกลืนคลื่นแสงที่ 532 นาโนเมตร (Fernández, Pérez-Álvarez and Fernández-López, 1997) แต่อย่างไรก็ดีกรดไทโอบาร์บิทริกยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบพวก แอลคานาล (Alkanals) แอลคีนาล (Alkenals) และ 2,4 ไดอีนาล (2,4 Dienals) แล้วให้สีเหลืองและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตรได้เช่นกัน

## 2.6 คุณสมบัติของมายองเนสสูตรลดไขมัน

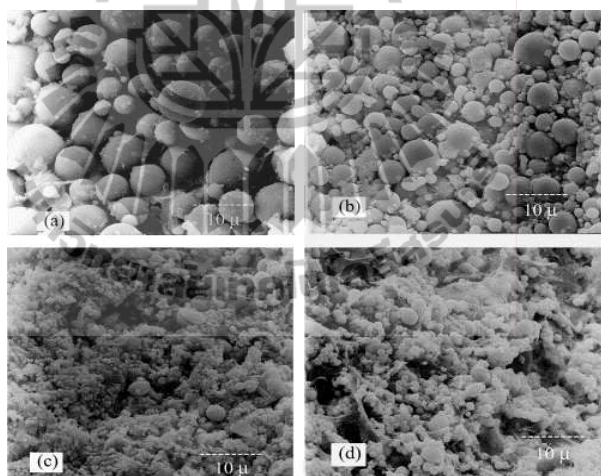
### 2.6.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างระดับจุลภาคของมายองเนส จะเห็นว่ามายองเนสสูตรไขมันเต็มจะมีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่กว่าและกลมกว่ามายองเนสที่ใช้สารทดแทนไขมัน (รูปที่ 2.15a) และเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่น้ำมันในมายองเนสด้วยเบต้า-กลูเคนมีผลทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันเพิ่มมากขึ้นภาพ b c และ d คือตัวอย่างที่แทนที่ไขมันร้อยละ 25, 50 และ 75 ตามลำดับ ซึ่งระยะห่างระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส ความหนืดและคุณสมบัติด้านวิทยากระแส

Peressini และคณะ (1998) ได้ศึกษาคุณสมบัติวิทยากระแสของมายองเนสสูตรดั้งเดิมกับสูตรที่ใช้สารทดแทนไขมันจากแป้งที่มีขายในท้องตลาดที่มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 48 ถึง 76 โดยน้ำหนัก การศึกษาพบว่ามายองเนสแสดงพฤติกรรมแบบวิสโคอีลาสติกโดยค่ามอดุลัสสะสม Compliance และ Yield stress เพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำมัน Cheung และคณะ (2002) ได้ศึกษาการใช้สารทดแทนไขมัน 3 ชนิดได้แก่ N lite S™ (แป้งตัดแปร) Simplese™ (โปรตีน) และ Avecal™ (เซลลูโลส) ในมายองเนสโดยลดปริมาณไขมันจากร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 10 พบว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีสารทดแทนไขมันมีความหนืดและขนาดของอนุภาคเม็ดไขมันใหญ่กว่าในตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนไขมัน โดยค่าความหนืดจะมีสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคเม็ดไขมัน Ma และคณะ (2006)



ศึกษาการใช้เอนไซม์เอลฟา-อะไมเลส เบต้า-อะไมเลส กลูโค-อะไมเลส และเดรกโตไซม์ ย่อยแป้ง ข้าวโพดให้มีขนาดอนุภาค 2-4 ไมโครเมตร เมื่อนำแป้งดังกล่าวไปใช้เป็นสารที่จำลองลักษณะของ อนุภาคเม็ดไขมัน พบว่าสามารถใช้ทดแทนไขมันได้ถึงร้อยละ 60 โดยมีผลการทดสอบทาง ประสาทสัมผัสที่ไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุม Worrasinchai และคณะ (2006) ได้ศึกษาการใช้เบต้า- กลูเคนที่สกัดจากผนังเซลล์ของยีสต์เป็นสารทดแทนไขมันในมายองเนส พบว่าตัวอย่างที่ใช้เบต้า- กลูเคนเป็นสารทดแทนไขมันที่ร้อยละ 50 และ 75 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึด เกาะเหมือนกับตัวอย่างควบคุม โดยตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนไขมันร้อยละ 50 และ 75 จะมีอนุภาค เม็ดไขมันขนาดเล็กและเรียงตัวแบบหลวม (Loose packing structures) กว่าตัวอย่างควบคุม ตัวอย่าง ที่ใช้สารทดแทนไขมันจะมีความเสถียรมากกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใช้สารทดแทนไขมัน และผล การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมพบว่าผู้บริโภคสามารถยอมรับ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารทดแทนไขมันจากเบต้า-กลูเคนไม่เกินร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2.15 ภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของมายองเนสด้วยเทคนิค SEM  
ที่มา : Worrasinchai et al., (2006)

### 2.6.2 คุณสมบัติทางเคมี

การลดปริมาณไขมันของของเนสมีผลทำให้มีน้ำในเฟสต่อเนื่องเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องใช้น้ำ ในการเป็นตัวละลายสารที่นำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมัน น้ำที่มีในเฟสต่อเนื่องจะทำให้ ความสามารถในการละลายของอากาศเพิ่มสูงขึ้น และอนุภาคเม็ดไขมันจึงมีโอกาสสัมผัสกับ ออกซิเจนได้สูงขึ้นด้วย นอกจากนั้นน้ำยังเป็นตัวทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการปฏิกิริยา ออกซิเดชันของน้ำมันเคลื่อนที่เจอกับไขมันได้ง่ายขึ้น จึงมีผลทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหารได้ง่าย



Osborn และ Akoh (2004) ได้ศึกษาผลของชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งประกอบไปด้วย Sucrose fatty acid ester กับ Whey protein isolate ที่มีความเข้มข้นของไขมันแตกต่างกันคือ ร้อยละ 10 และ 30 และศึกษาผลของขนาดอนุภาคของเม็ดไขมันที่แตกต่างกันต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน พบว่าในระบบที่มีไขมันน้อยกว่า (น้ำมาก) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันได้มากกว่าในระบบที่มีไขมันมาก (น้ำน้อย) และการใช้โปรตีนเวย์เป็นอิมัลซิไฟเออร์จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ได้น้อยกว่าการใช้ Sucrose fatty acid ester เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งเป็นผลมาจากโปรตีนเวย์สามารถยับยั้งไม่ให้อนุมูลอิสระสามารถทำปฏิกิริยาปฏิกิริยาได้

### 2.6.3 คุณสมบัติทางจุลินทรีย์

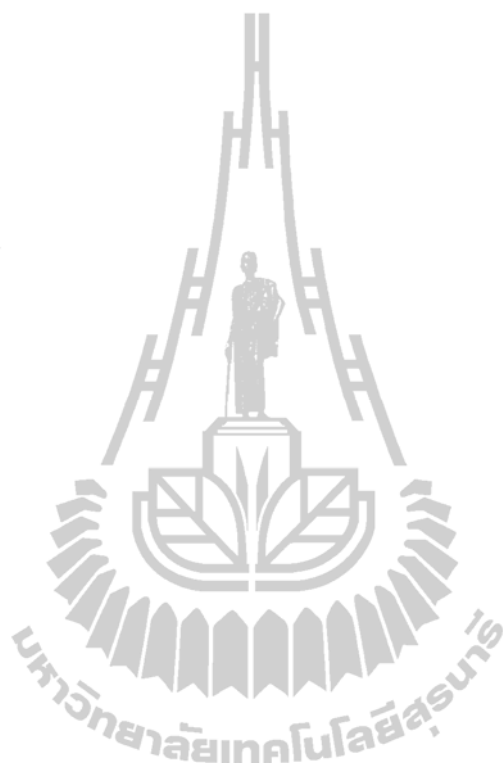
อาหารอิมัลชันสูตรที่ใช้สารทดแทนไขมันจะทำให้มีค่าความชื้นและค่า  $a_w$  สูงขึ้น นอกจากนี้จะทำให้ต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบอิมัลชันเคลื่อนที่ได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดีขึ้นแล้ว ยังทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีด้วย (Worrasinchai et al., 2006) โดยทั่วไปค่า  $a_w$  ในมายองเนส ที่มีปริมาณไขมันสูง (ร้อยละ 77 ถึง 79) จะมีค่า  $a_w$  ประมาณ 0.93 และในมายองเนสที่มีปริมาณไขมันต่ำ (ร้อยละ 37 ถึง 41) จะมีค่า  $a_w$  ประมาณ 0.95 (Chirife, Vigo, Gomez, and Favetto, 1989)

### 2.6.4 คุณสมบัติด้านประสาทสัมผัส

เมื่อมีการปรับปรุงสูตรการผลิตหรือสูตรอาหารขึ้นมาใหม่ ผู้ผลิตจำเป็นต้องประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคหรือให้คงคุณภาพเดิมไว้ ผลิตภัณฑ์บางชนิดยากที่จะใช้เครื่องมือวิเคราะห์เพื่อเป็นตัวแทนของผู้บริโภคได้ จึงจำเป็นต้องมีการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคได้แก่ ตา จมูก ลิ้น และการสัมผัส เนื่องจากมายองเนสเป็นอาหารที่มีองค์ประกอบซับซ้อนและมีส่วนผสมได้แก่ ไขมัน เกลือ น้ำตาล น้ำส้มสายชู ไข่แดง และมันฝรั่ง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้ล้วนมีผลต่อกลิ่น-รส ที่เป็นลักษณะจำเพาะของมายองเนส คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของมายองเนส ประกอบประกอบด้วย 1) ลักษณะปรากฏด้านสี มายองเนส จะมีสีโทนเหลือง และขาว 2) เนื้อสัมผัสซึ่งสามารถอธิบายในรูปของความหนืด การยึดเกาะ แรงในการเทตัวอย่างออกจากขวดและความแน่นเนื้อ 3) กลิ่น-รส กลิ่น-รสในมายองเนสประกอบไปด้วย รสเค็ม รสหวาน รสเปรี้ยว กลิ่นเปรี้ยว รสมันที่ได้จากไขมัน และ 4) ความรู้สึกเมื่ออยู่ในปากประกอบ เช่น ความสามารถในการละลาย ความลื่น (Lubricity) และความรู้สึกของครีม เป็นต้น

Cheung และคณะ (2002) ศึกษาการใช้สาร 3 ชนิดได้แก่ N lite S<sup>TM</sup> (แบ่งคัดแปร) Simplex<sup>TM</sup> (โปรตีน) และ Avecal<sup>TM</sup> (เซลลูโลส) เป็นสารทดแทนไขมันในมายองเนส โดยลดปริมาณไขมันจากร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 10 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ตัวอย่างที่มีไขมันร้อยละ 30 มีคะแนนความชอบสูงสุด โดยคุณลักษณะที่ใช้ทดสอบประสาทสัมผัสประกอบไปด้วย ความชื้น หนืด ความสามารถในการละลายได้ ความมันวาว และ รสมัน ตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนไขมันจะมี

ค่าความขุ่นหนืด ความสามารถในการละลาย ความมันวาว และรสมัน มีคะแนนน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้สารทดแทนไขมัน นอกจากนี้ยังพบว่าความขุ่นหนืดที่ได้จากการทดสอบด้านประสาทสัมผัส มีความสัมพันธ์กับความหนืดที่วัดด้วยเครื่องมือ และทุกตัวอย่างมีคะแนนความชอบรวมของมาของเนสจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน



## บทที่ 3

### วัสดุและวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 แป้งคัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลโดสตาอ์ฟอสเฟต มอลโตเดกซ์ทรินที่มี DE 3 ถึง 5 และแป้งโซเดียมออกเทนิลซัคซิเนต ซึ่งจากบริษัทสยามโมดิฟายด์สตาร์ช จำกัด ประเทศไทย

3.1.2 วัสดุดิบในการผลิตมายองเนสประกอบไปด้วย ไข่ไก่สดซึ่งจากฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี น้ำมันพืชตราอรุณ น้ำตาลทรายตรามิตรผล เกลือตราปทุมทิพย์ และน้ำส้มสายชูกลิ่นเข้มข้นร้อยละ 5 ตรา อสร. ซึ่งจากศูนย์การค้าในเขตจังหวัดนครราชสีมา

3.1.3 กรดเบนโซอิก (Benzoic acid, Ajax Finechem Pty Ltd, Australia)

3.1.4 กรดไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic acid, Scharlau, Spain)

3.1.5 กรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid, Fluka, Germany)

3.1.6 มาโลนัลดีไฮด์ (Malonaldehyde, Sigma, USA)

3.1.7 เอทานอล (Ethanol, Carlo Erba, Spain)

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

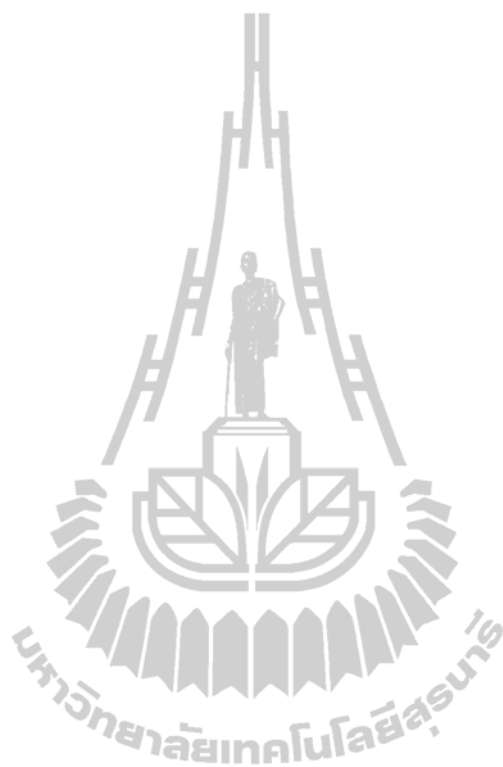
3.2.1 เครื่องวัดวิทยากระแส (Controlled stress Rheometer, TA instrument AR-G2, New Castle, DE, USA) และโปรแกรมสำเร็จรูปของเครื่อง (TA Instruments Advantage Software, version 5.0.1, US)

3.2.2 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer TA.TX2, Stable Microsystems, Kent, UK) และโปรแกรมสำเร็จรูปของเครื่อง (Texture Expert Software, Stable Microsystems, Kent, UK)

3.2.3 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Laser particle size analyzer Model Mastersizer S, Malvern Instrument, Ltd., UK)

3.2.4 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter, Mettler Teledo รุ่น MP220, Switzerland)

3.2.5 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV spectrophotometer, รุ่น Libra S22, Biochrom, UK)



- 3.3.6 เครื่องวัดสี Minolta (Chroma meter รุ่น CR-300, Konica Minolta, Osaka, Japan)
- 3.3.7 เครื่องตีผสมมายองเนสและ High speed hand blender (Moulinex รุ่น Easy Max perfect, Spain)
- 3.3.8 กล้องจุลทรรศน์ (Optical light microscope รุ่น Nikon 641463, ikon corp., Japan)
- 3.3.9 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Legand Mach 1.6R, Sorvall, Germany)
- 3.3.10 เครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyzer รุ่น IR120, DENVER Instrument, Germany)
- 3.3.11 เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Engineering Laboratories Inc., USA)
- 3.3.12 แผ่นทดสอบเชื้อสำเร็จรูป Aerobic count plates (3M™ Petrifilm™ Aerobic count plate, 3M, St. Paul, Minn., U.S.A.)

### 3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.3.1 การวัดคุณสมบัติเบื้องต้นของมายองเนสสูตรการค้า

ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนสสูตรการค้า ที่มีปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน จำนวน 5 ยี่ห้อ และอีก 1 ตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 40 หรือเทียบเท่ากับสูตรที่มีการใช้สารทดแทนไขมันร้อยละ 50 ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทอินโนเฟรช จำกัด นำตัวอย่างมาทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพดังต่อไปนี้

##### 3.3.1.1 วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

นำตัวอย่างมายองเนสมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยทำความสะอาดหัววัดด้วยน้ำกลั่นแล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษชำระ Calibrate ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 7.01 กับ 4.01 ทุกครั้งก่อนการวัด โดยการจุ่มหัววัดลงในตัวอย่างร่อนกว่าค่านิ่งวัด 3 ชั่วโมงต่อตัวอย่างบันทึกผล

##### 3.3.1.2 วัดสีในระบบ $L^* a^* b^*$

ตัวอย่างมายองเนสจะนำไปวัดสีด้วยเครื่องวัดสีโดยทำการสอบเทียบสีกับแผ่นสีมาตรฐานที่มีค่า  $L^* = 97.26$ ,  $a^* = +0.05$  และ  $b^* = 1.71$  โดยวัดค่าตัวอย่างละ 3 ชั่วโมง รายงานผลเป็น  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ตัวอย่างละ 3 ชั่วโมง

##### 3.3.1.3 วัดขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน

วัดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โดยเจือจางตัวอย่างอัตราส่วน 1:1000 ในสารละลาย Sodium dodecyl sulfate เข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อให้ตัวอย่างที่เกาะกลุ่มติดกันแยกออกจากกัน แล้วนำสารละลายตัวอย่างไปวัดค่าขนาดอนุภาคเม็ดไขมันด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค สารละลายตัวอย่างจะถูกละลายในน้ำปราศจากไอออนให้มีค่าความขุ่น (Obscuration)

ระหว่างร้อยละ 15 ถึง 30 เปิดเครื่องกวนผสมที่เป็นชุดอุปกรณ์ของเครื่องวัดขนาดอนุภาคให้มีความเร็วที่ระดับ 2 ตั้งค่า Refractive indices ของอนุภาคเม็ดไขมันและน้ำปราศจากไอออนเป็น 1.5295 และ 1.3300 โดยตั้งค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคเม็ดไขมันและน้ำเป็น 0.100 และ 0.00 ตามลำดับ ขนาดอนุภาคที่ได้จากการใช้โปรแกรมของเครื่องคำนวณขนาดของอนุภาคเม็ดไขมัน ซึ่งจะรายงานผลเป็นค่า  $D_{43}$  (Volume mean diameter)  $= \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3}$  โดยที่  $n_i$  คือจำนวนของอนุภาคที่มีขนาด  $d_i$  ละลายตัวอย่างละ 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัด 3 ครั้ง

#### 3.3.1.4 วัดคุณสมบัติวิทยากระแส

วัดคุณสมบัติวิทยากระแสของตัวอย่างมาของเนสด้วยเครื่องวัดวิทยากระแส โดยใช้หัววัดแบบ Parallel plate ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 40 มิลลิเมตร ตักตัวอย่างมาของเนสประมาณ 1.6 กรัมวางบน Pelteir plate หลังจากหัววัดเคลื่อนที่ลงมาที่ระยะห่างระหว่างเพลท 1000 ไมโครเมตร แล้วให้กวาดตัวอย่างที่มากเกินไปออกด้วยอุปกรณ์สำหรับกวาดตัวอย่างออกจากหัววัดและเริ่มการวิเคราะห์หลังจากตัวอย่างมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

##### 3.3.1.4.1 หาค่า Linear viscoelastic region, LVR

โดยตั้งโปรแกรมวัดในโหมดของ Strain sweep ให้มีค่าระหว่างร้อยละ 0.1 ถึง 100 ที่ความถี่คงที่ 5 เฮิร์ต ได้ผลการทดลองที่เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Log storage modulus กับความถี่

##### 3.3.1.4.2 วัดค่า Dynamic frequency sweep

โดยให้ค่า Strain คงที่ที่ร้อยละ 0.5 ซึ่งอยู่ในช่วง LVR แล้ววัดในช่วงความถี่ 0.1 ถึง 100 เฮิร์ต

##### 3.3.1.4.3 วัด Steady flow behavior

โดยตั้งโปรแกรมให้เพิ่มค่าอัตราเฉือนอย่างต่อเนื่องจาก 0 ถึง 300 ต่อวินาทีเป็นระยะเวลา 3 นาที แล้วลดค่าอัตราเฉือนลงจาก 300 ถึง 0 ต่อวินาทีทันทีภายในเวลา 3 นาทีต่อมา ข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนจะนำไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคำนวณคุณสมบัติด้านวิทยากระแสซึ่งจะใช้ Power's law model ในการวิเคราะห์ผลดังแสดงในสมการ

$$\sigma = K\gamma^n$$

โดยที่

$\sigma$  คือ shear stress (Pa)

$K$  คือ ดัชนีความคงตัว ( $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$ )

$\gamma$  คือ อัตราเฉือน ( $\text{s}^{-1}$ )

$n$  คือ flow behavior index

#### 3.3.1.5 การวัดค่าความแน่นเนื้อและค่าการยืดเกาะ

ใส่ตัวอย่างมาของเนส 40 กรัมลงไปในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร เพื่อให้ตัวอย่างมีความสูง 4 เซนติเมตร นำตัวอย่างไปวัดค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่มี load cell ขนาด 50 กิโลกรัมโดยวัดแบบ Compression mode ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 มิลลิเมตร กดเข้าไปในตัวอย่างด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้วยแรง 10 กรัม ลึก 10 มิลลิเมตร กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้กับเวลาจะถูกนำมาวิเคราะห์หาความแน่นเนื้อ ซึ่งบ่งบอกถึงแรงสูงสุดที่ใช้ขณะหัววัดกดลงไปในตัวอย่าง และค่าการยึดเกาะที่เป็นพื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นระหว่างดึงหัววัดออกจากตัวอย่างซึ่งมีค่าเป็นลบ แต่ละตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

### 3.3.2 การวัดคุณสมบัติเบื้องต้นของแป้งตัดแปร

#### 3.3.2.1 วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield

โดยเตรียมแป้งให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักดังนี้ ละลายแป้งในน้ำกลั่น แล้วนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยกวนตัวอย่างตลอดเวลา ทิ้งไว้ค้างคืนให้ตัวอย่างเย็นที่อุณหภูมิห้อง นำตัวอย่างไปวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดโดยใช้ตัวอย่าง 11 มิลลิลิตรใส่ในชุดวิเคราะห์ Small sample Adapter จากนั้นวัดความหนืดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที บันทึกค่าความหนืดเป็นเวลา 5 วินาที ทำการวัดซ้ำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.3.2.2 การวิเคราะห์หาค่าความข้นของตัวอย่างแป้งด้วยเครื่องวิเคราะห์ความข้น โดยวัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.3.2.3 วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยนำตัวอย่างที่เตรียมในข้อ 3.3.1.1 มาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.3.2.4 วัดสีของเจลแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2.1 นำเจลแป้งไปวัดสีเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.2

### 3.3.3 การเตรียมตัวอย่างแป้งตัดแปรเพื่อวิเคราะห์หาความหนืดที่เหมาะสมในการเป็นสารทดแทนไขมัน

เนื่องจากแป้งตัดแปรที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นแป้งที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำเย็นได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ทันที แต่ทั้งนี้พบว่า MD มีความสามารถในการดูดซึมน้ำในอัตราที่ต่ำ โดยใช้เวลาก่อนข้างนานกว่าที่น้ำจะซึมเข้าภายในโครงสร้างของสายโพลีเมอร์ ดังนั้นจึงดัดแป้งในอ่างที่ถูกควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีแล้วทิ้งไว้ให้เย็นและให้สร้างเจลเป็นเวลา 1 คืนที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่แป้ง HDP และ SSO สามารถละลายและวัดได้ทันที แป้งแต่ละชนิดจะแปรระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันดังนี้ HDP แป้งระดับความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8 ถึง 10 โดยน้ำหนัก โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ HDP สามารถ

ละลายน้ำได้ SSO แปรความเข้มข้นร้อยละ 10 ถึง 20 โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 เป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ SSO สามารถละลายน้ำได้ MD แปรความเข้มข้นร้อยละ 28 ถึง 30 และความเข้มข้นร้อยละ 30 เป็นความเข้มข้นสูงสุดที่ MD สามารถละลายน้ำได้ นำเจลแบ่งแต่ละชนิดที่เตรียมไปวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดคุณสมบัติวิทยากระแส โดยมีวิธีการใส่ตัวอย่างและการตั้ง โปรแกรมในเครื่องเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.4.3

### 3.3.4 การเตรียมตัวอย่างมายองเนส

การเตรียมมายองเนสสูตรไขมันเต็มและสูตรที่มีสารทดแทนไขมันจากแป้งดัดแปร โดยดัดแปลงจากสูตรของ Lui และคณะ (2007) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยเตรียมตัวอย่างละ 1.5 กิโลกรัม ทำตัวอย่างละ 2 ชั่วโมง

#### 3.3.4.1 วิธีเตรียมตัวอย่างมายองเนสสูตรไขมันเต็ม

ผลิตมายองเนสสูตรไขมันเต็มที่มีน้ำมันถั่วเหลือง ไข่แดงสด น้ำ น้ำตาลทรายเกลือ และ น้ำส้มสายชู ร้อยละ 80, 8, 2, 1, 1, และ 8 ตามลำดับ โดยนำน้ำตาลทรายเกลือ และน้ำตีผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Moulinex ด้วยหัวตะกร้อที่ความเร็วรอบต่ำสุด (เลข 1) เป็นเวลา 3 นาที เติมกรดเบนโซอิกร้อยละ 0.5 แล้วตามด้วยเติมไข่แดงลงไปในส่วนผสมแล้วตีผสมต่อเป็นเวลา 2 นาที ปรับความเร็วรอบไปที่ความเร็วรอบสูงสุด (หมายเลข 4) จากนั้นเทน้ำมันพืชลงไปอย่างช้า ๆ เมื่อเทน้ำมันพืชลงไปประมาณ 1 ใน 5 ส่วนแล้วจึงค่อย ๆ เทน้ำส้มสายชูลงในตัวอย่างพร้อมกับน้ำมันพืช จนส่วนผสมทั้งสองหมดภายในเวลา 15 นาที ถ่ายตัวอย่างใส่ภาชนะปลอดเชื้อที่มีฝาปิดสนิท แล้วนำตัวอย่างไปเก็บในตู้ที่ถูกล้างด้วยน้ำอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน ก่อนการวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

#### 3.3.4.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างมายองเนสสูตรไขมันต่ำ

ตัวอย่างมายองเนสที่ใช้แป้ง MD เป็นสารทดแทนไขมันเริ่มต้นด้วยการผสมเจล แป้งที่เตรียมทิ้งไว้ข้ามคืน น้ำ น้ำตาลทรายเกลือ และกรดเบนโซอิก เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้ความเร็วรอบหมายเลข 1 หลังจากนั้นใส่ไข่แดง แล้วตีผสมต่ออีก 2 นาที ค่อยเทน้ำมันพืชลงไปอย่างช้า ๆ เมื่อเทน้ำมันพืชลงไปประมาณ 1 ใน 5 ส่วนแล้วจึงค่อย ๆ เทน้ำส้มสายชูลงในตัวอย่างพร้อมกับน้ำมันพืช โดยยังใช้ความเร็วรอบเท่าเดิม โดยเทน้ำมันพืชให้หมดภายในระยะเวลา 5 นาที ส่วนผสมที่เตรียมได้ในขั้นตอนนี้เรียกว่าอิมัลชันหยาบ หลังจากนั้นเปลี่ยนอุปกรณ์ปั่นมาใช้หัวตีผสมความเร็วรอบสูง โดยใช้ที่ความเร็วรอบสูงสุด (เบอร์ 4) และใช้เวลาในการโฮโมจีไนซ์ 10 นาที แล้วถ่ายตัวอย่างใส่ภาชนะบรรจุที่ปลอดเชื้อที่มีฝาปิด เก็บตัวอย่างในตู้ที่ถูกล้างด้วยน้ำอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพในวันต่อไป ตัวอย่างมายองเนสที่ใช้แป้ง HDP และ SSO เป็นสารทดแทนไขมันมีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับมายองเนสที่ใช้แป้ง MD ยกเว้นให้ใส่แป้ง ดัดแปรแห้งในน้ำมันพืชโดยตรงโดยไม่ได้เตรียมให้เป็นเจลเหมือนกับ MD ผสมแป้ง HDP และ SSO ใน



น้ำมันลั่วเหลืองที่มีในแต่ละสูตรเพื่อป้องกันการจับตัวกันก้อนของแป้ง เนื่องจากแป้งทั้งสามชนิดสามารถสุกในน้ำเย็นได้ และเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดฟองในระหว่างการตีผสมเพราะแป้ง SSO สามารถสร้างพันธะไฮโดรโฟบิกกับฟองอากาศได้หากผสมโดยตรงกับน้ำและตีผสม ซึ่งทำให้มีฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ และส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสได้ ตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมเสร็จแล้ว จะนำไปตรวจวัดคุณภาพทางเคมีกายภาพ และตรวจสอบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ตามหัวข้อต่อไป

### 3.3.5 การตรวจสอบคุณภาพของมายองเนส

#### 3.3.5.1 วัดความเสถียรต่อการแยกชั้นไขมันของมายองเนส

##### 3.3.5.1.1 สังเกตการแยกชั้นไขมันด้วยสายตา

โดยตั้งตัวอย่างมายองเนสที่บรรจุในภาชนะขนาด 25 มิลลิลิตรแล้วปิดฝาและปั่นฝาภาชนะด้วยพาราฟิล์มอีกครั้งเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ เก็บตัวอย่างในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สังเกตการแยกชั้นของไขมันที่ระยะเวลาต่าง ๆ

##### 3.3.5.1.2 ใช้เทคนิคการปั่นเหวี่ยงตามวิธีการของ Mun และคณะ (2009)

นำตัวอย่างมายองเนส 20 กรัม ใส่ลงในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปปั่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง แล้วทิ้งตัวอย่างให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จดบันทึกน้ำหนักของไขมันที่แยกออกจากตัวอย่าง ทดสอบตัวอย่างละ 2 ซ้ำ คำนวณความเสถียรของมายองเนสจากน้ำมันที่แยกออกจากตัวอย่างดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละน้ำมันที่แยกออก} = (\text{น. ตัวอย่าง} - \text{น. น้ำมันที่แยกออก}) \times 100 / \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

#### 3.3.5.2 วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

นำตัวอย่างมายองเนสมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่างตามวิธีการในข้อ 3.3.1.1 แต่ละตัวอย่างวัด 3 ซ้ำ โดยตรวจสอบคุณภาพในทุก ๆ 2 สัปดาห์จนครบ 3 เดือน

#### 3.3.5.3 วัดสีในระบบ $L^* a^* b^*$

ตัวอย่างมายองเนสจะนำไปวัดสีตามหัวข้อ 3.3.1.2 นำผลที่วัดได้ตามระยะเวลาการเก็บมาคำนวณหาค่า  $\Delta E$  จากสมการ  $\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$  โดยใช้ค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ที่ระยะเวลาเริ่มต้นเป็นตัวอย่างอ้างอิง (Lennersten and Lingnert, 2000) แต่ละตัวอย่างวัด 3 ซ้ำ โดยตรวจสอบคุณภาพในทุก ๆ 2 สัปดาห์จนครบ 3 เดือน

#### 3.3.5.4 วัดขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน

วัดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันตามหัวข้อ 3.3.1.3 ละลายตัวอย่างละ 2 ซ้ำแต่ละซ้ำวัด 2 ครั้ง โดยตรวจสอบคุณภาพในทุก ๆ 2 สัปดาห์จนครบ 3 เดือน

### 3.3.5.5 วัดคุณสมบัติด้านวิทยากระแส

วัดคุณสมบัติด้านวิทยากระแสตามหัวข้อ 3.3.1.4 แต่ละตัวอย่างจะวิเคราะห์อย่างน้อยตัวอย่างละ 2 ครั้ง โดยจะวัดคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติกในทุก ๆ 2 สัปดาห์จนครบ 3 เดือน

### 3.3.5.6 วัดค่าความแน่นเนื้อและการยึดเกาะ

วัดคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของมายองเนสตามหัวข้อที่ 3.3.1.5 โดยวัดตัวอย่างละ 2 ซ้ำ โดย ตรวจสอบทุก ๆ 2 สัปดาห์จนครบ 3 เดือน

### 3.3.5.7 การศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของมายองเนสด้วยกล้องจุลทรรศน์

ใช้ปลายไม้จิ้มฟันจิ้มตัวอย่างมายองเนสวางลงบนแผ่นสไลด์ หยดสารละลายไอโอดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 ลงบนแผ่นสไลด์เพื่อย้อมสีของแป้งที่มีในเฟสต่อเนื่อง ปิดตัวอย่างด้วยกระจกปิดแผ่นสไลด์ นำตัวอย่างไปส่องด้วยกล้องที่อุณหภูมิห้องโดยใช้กำลังขยาย 1000 เท่า พร้อมบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัล (Model MTV-62VIP, MEIJI, Japan)

3.3.5.8 วิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันด้วยวิธี Thiobarbituric acid (TBA)

การวิเคราะห์หาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันด้วยวิธี TBA โดยดัดแปลงวิธีสกัดน้ำมันออกจากมายองเนสตามวิธีการของ Lagunes-Galuez และคณะ (2002) โดยการนำตัวอย่างมายองเนส 20 กรัมใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เติมน้ำปราศจากไอออน 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 xg เป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง เก็บน้ำมันที่แยกชั้นออกมาใส่หลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 1.5 มิลลิลิตร พันด้วยฝาหลอดด้วยพาราฟิล์ม นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำตัวอย่างไปวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันตามวิธีการของ Godwin และคณะ (2006) ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก โดยตรวจสอบค่า TBA ในทุก ๆ 2 สัปดาห์จนครบ 3 เดือน

## ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมมายองเนส

ปริมาณส่วนผสม(กรัม) ต่อการเตรียมตัวอย่าง 1.5 กิโลกรัม

สัญลักษณ์	ไข่แดง	น้ำตาลทราย	เกลือ	น้ำตาล	น้ำมันส่วนผสม	น้ำมันพืช	เจลแป้ง	
							แป้ง	น้ำตาลสำหรับละลายแป้ง
FF	120	120	15	15	30	1200	ND	ND
25H08	120	120	15	15	30	900	24	276
50H08	120	120	15	15	30	600	48	552
75H08	120	120	15	15	30	300	72	828
25H10	120	120	15	15	30	900	30	270
50H10	120	120	15	15	30	600	60	540
75H10	120	120	15	15	30	300	90	810
25S10	120	120	15	15	30	900	30	270
50S10	120	120	15	15	30	600	60	540
75S10	120	120	15	15	30	300	90	810
25S15	120	120	15	15	30	900	45	255
50S15	120	120	15	15	30	600	90	510
75S15	120	120	15	15	30	300	135	765
25M2	120	120	15	15	30	900	84	216
50M2	120	120	15	15	30	600	168	432
75M2	120	120	15	15	30	300	252	648
25M3	120	120	15	15	30	900	90	210
50M3	120	120	15	15	30	600	180	420
75M3	120	120	15	15	30	300	270	630

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ที่ใช้

ND ไม่มีในส่วนผสม

FF (Full fat) เป็นสูตรไขมันเต็ม

iiXjj ii ตัวเลขที่แสดงระดับร้อยละการแทนที่ไขมันจากสูตรที่มีปริมาณไขมันเต็ม (ไขมันร้อยละ 80 เทียบเท่ากับมีปริมาณไขมันร้อยละ 100), X คือตัวอักษรที่แสดงชื่อแรกของแป้งคัดแปร, H คือ HDP, S คือ SSO และ M คือ MD และตัวเลขสองตัวสุดท้ายในสูตรคือร้อยละของแป้งที่ใช้เพื่อทดแทนไขมัน

### 3.3.5.9 วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ประกอบด้วย

### 3.3.5.9.1 ปริมาณแบคทีเรียด้วยวิธี Total plate count

ซึ่งตัวอย่างมาของเนส 25 กรัม ละลายในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้นต่าง 7 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน แล้วเจือจางตัวอย่าง 10 เท่าด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้นต่าง 7 จากนั้นดูดตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรลงกลางแผ่นชุดทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ 3M™ Petrifilm™ Aerobic count plates แล้วกดแผ่นทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ให้ตัวอย่างกระจายตัว หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อ่านผลโดยสังเกตจุดสีแดงบนแผ่นฟิล์ม โดยตรวจวัดตัวอย่างมาของเนสในสัปดาห์ที่ 0, 2, 4, 8 และ 12

### 3.3.5.9.2 ปริมาณยีสต์และรา

ซึ่งตัวอย่างมาของเนสละลายในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 7 เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน ดูดตัวอย่างลงบนจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ผสมกรดทาทาร์ริก (Tartaric acid) ร้อยละ 1.8 โดยปริมาตร (จากสารละลายกรดทาทาร์ริกเข้มข้นร้อยละ 10) รอให้อาหารแข็งตัวแล้วนำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่ตู้ 25 องศาเซลเซียส สังเกตการเจริญเติบโตของยีสต์และราเป็นระยะเวลา 3 ถึง 5 วัน

### 3.3.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

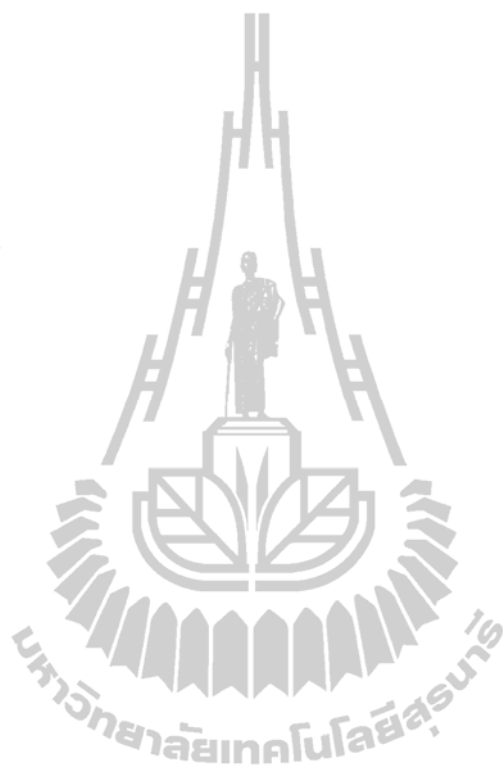
ศึกษาผลของการทดแทนไขมันในมาของเนสด้วยสารทดแทนไขมันจากแป้งคัดแปร ต่อการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค ที่มีต่อผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคการจัดลำดับความแตกต่าง นำตัวอย่างมาของเนสที่ผลิตโดยใช้แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไคสตาไรซ์ฟอสเฟต ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 8 ที่มีระดับการแทนที่ไขมันร้อยละ 25, 50 และ 75 เปรียบเทียบการจัดลำดับความต่างกับมาของเนสสูตรไขมันเต็ม โดยมีผู้ทดสอบชิม 50 คน ประกอบด้วยนักศึกษาปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 นักศึกษาปริญญาโท-เอก ผู้ช่วยวิจัย และเจ้าหน้าที่ในสาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบชิมมาวิเคราะห์สถิติ โดยใช้การเปรียบเทียบผลต่างของค่า Rank sum กับ  $LSD_{rank}$  ตามวิธีการคำนวณของ Fisher และ Yates (1942) ที่  $\alpha = 0.05$

## 3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ One –way analysis of variance (ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (Mean difference) ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 12.0 ( SPSS Inc., Illinois, USA)

### 3.5 สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอาหาร ห้องพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร  
ณ อาคารเครื่องมือ 3 และฝ่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่องมืออาคารเครื่องมือ 1 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์  
และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสสูตรการค้า

จากการสุ่มตัวอย่างมายองเนสที่มีจำหน่ายในท้องตลาดที่มีปริมาณน้ำมัน และส่วนผสมแตกต่างกันมาตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมี โดยมีส่วนผสมที่ระบุตามฉลากแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบของมายองเนสสูตรการค้าที่ระบุในฉลาก

ตัวอย่าง	ส่วนผสม (ร้อยละ)					
	น้ำมันพืช	ไข่แดง	น้ำส้มสายชู	เกลือ	น้ำตาล	แป้ง
A	76	12	5	1	6	ND
B	74	12	5	ND	6	ND
C	64	6.8	3.5	2.4	3.7	ND
D	60	10	9	1	20	ND
E	40	ND	ND	ND	ND	ND
F	25	5	8	3	8	2

หมายเหตุ : ND คือส่วนผสมที่ไม่ระบุในฉลาก

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพที่แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า ตัวอย่างมายองเนสมีค่า  $D_{43}$  อยู่ในช่วง 3.63 ถึง 24.98 ไมโครเมตร ค่าความสว่างอยู่ในช่วง 72.16 ถึง 94.16 ค่า  $a^*$  -3.57 ถึง -7.77 ซึ่งแสดงว่าสีของตัวอย่างมีแนวโน้มไปทางสีเขียวโดยที่ค่า  $b^*$  มีค่าอยู่ในช่วง 17.11 ถึง 23.94 แสดงว่าสีของตัวอย่างมีแนวโน้มไปทางสีเหลือง ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 3.08 ถึง 3.90 ค่าความแน่นเนื้อ และค่าความยืดเกาะมีค่าเท่ากับ 45.37 ถึง 80.92 กรัม และ 38.11 ถึง 73.04 กรัม.วินาที ตามลำดับ ค่าดัชนีความคงตัว มีค่าอยู่ในช่วง 35.56 ถึง 107.53 พาสคาลต่อวินาที Flow behavior index ( $n$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 0.2168 ถึง 0.3538 โดยจะมีค่า Thixotropic อยู่ในช่วง 6,439 ถึง 27,356 พาสคาลต่อวินาที แสดงว่าตัวอย่างมีคุณสมบัติด้านวิทยาการกระแสบบ Thixotropic shear thinning behavior เนื่องจากมีค่า  $n$  น้อยกว่า 1 และแสดงพฤติกรรมด้านการไหลที่ต้องขึ้นกับเวลา ค่ามอดูลัสสะสมมีค่าอยู่ในช่วง 263.35 ถึง 461.07 พาสคาล โดยค่ามอดูลัสสะสม

มีค่าสูงกว่าค่ามอดูลัสสูญเสียตลอดช่วงความถี่ที่ใช้ทดสอบ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมาของเนสมีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง (Solid-like behavior) จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่าง B ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 74 และมีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเล็กที่สุดจะมีความหนืด ค่าดัชนีความคงตัว ค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะ และค่ามอดูลัสสะสมสูงที่สุด แม้ว่าตัวอย่างดังกล่าวจะมีปริมาณไขมันน้อยกว่าตัวอย่าง A ก็ตาม นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่าง B มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.9 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า Isoelectric point ของโปรตีนในไข่แดง ซึ่งจะทำให้ประจุรวมของโปรตีนมีค่าต่ำสุดทำให้คุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติกมีค่าสูงสุด (Kiosseoglou and Sherman, 1983) จากการสุ่มตัวอย่างมาของเนสในท้องตลาดที่ผลิตจากบริษัทต่างกันที่มีปริมาณไขมันแตกต่างกันมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันกับคุณลักษณะทางกายภาพโดย Pearson's correlation coefficient (r) พบว่าปริมาณไขมันมีความสัมพันธ์กับค่ามอดูลัสสะสม และ ค่า  $D_{43}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยจะมีค่า r ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันกับ ค่ามอดูลัสสะสมและค่า  $D_{43}$  คือ 0.699 และ -0.683 ตามลำดับโดยจะเห็นได้ว่า r มีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต ปริมาณและชนิดของส่วนผสมรวมถึงชนิดของสารทดแทนไขมันและสารเพิ่มความเสถียรที่แต่ละบริษัทใช้ อาจมีผลทำให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมาของเนสแตกต่างกัน เช่นกรณีตัวอย่าง F แม้ไม่ได้ระบุว่ามีส่วนผสมของแป้งในฉลาดแต่เมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่าตัวอย่างดังกล่าวมีของแป้งที่ติดสีน้ำเงิน จึงทำให้ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคเม็ดไขมันมีค่าสูงโดยอาจไม่ได้เป็นผลมาจากปริมาณของไขมันที่มีในส่วนผสมของมาของเนส ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันต่อคุณสมบัติทางกายภาพของมาของเนสสูตรการค้าที่ไม่ทราบส่วนประกอบที่แน่นอนมีค่าผันผวนและมีค่าไม่สูงมากนัก

## 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งตัดแปร

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ใช้แป้งตัดแปร 3 ชนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยเตรียมตัวอย่างแป้งตัดแปรสำหรับวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield ที่มีความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 5 จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งทั้ง 3 ชนิดพบว่ามีความแตกต่างกัน โดย แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไคสตาโรซฟอสเฟต (HDP) มีความหนืดมากกว่าแป้งโซเดียมออกทินิลซัคซิเนต (SSO) และมอลโตเดกซ์ทริน (MD) ตามลำดับ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้แป้ง HDP มีค่าความหนืดสูงกว่าแป้งชนิดอื่นอาจเนื่องมาจากขนาดของสายโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ที่อยู่

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสสูตรการค้า

คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ	ตัวอย่าง					
	A	B	C	D	E	F
ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน ( $\mu\text{m}$ )	13.65±0.628 <sup>d</sup>	3.63±0.213 <sup>a</sup>	11.85±0.793 <sup>c</sup>	12.26±1.231 <sup>c</sup>	9.20±0.517 <sup>b</sup>	24.98 ±1.343 <sup>e</sup>
L*	86.34±0.76 <sup>c</sup>	89.59±0.34 <sup>c</sup>	94.16±0.30 <sup>f</sup>	79.07±0.08 <sup>b</sup>	72.16±0.13 <sup>a</sup>	87.26 ±0.23 <sup>d</sup>
a*	-4.92±0.11 <sup>c</sup>	-5.41±0.03 <sup>b</sup>	-4.67±0.03 <sup>d</sup>	-5.43±0.06 <sup>b</sup>	-7.77±0.03 <sup>a</sup>	-3.57 ±0.04 <sup>f</sup>
b*	17.11±0.29 <sup>b</sup>	21.81±0.15 <sup>e</sup>	17.74±0.08 <sup>c</sup>	15.48±0.31 <sup>a</sup>	23.94±0.15 <sup>f</sup>	20.79 ±0.05 <sup>d</sup>
ความเป็นกรด-ด่าง	3.35±0.01 <sup>b</sup>	3.9±0.01 <sup>f</sup>	3.44±0.03 <sup>c</sup>	3.08±0.05 <sup>a</sup>	3.59±0.05 <sup>d</sup>	3.67±0.03 <sup>e</sup>
ความแน่นเนื้อ (g)	45.37±2.19 <sup>a</sup>	80.92±3.58 <sup>c</sup>	67.18±1.73 <sup>b</sup>	48.31±3.64 <sup>a</sup>	48.75±0.57 <sup>a</sup>	69.20 ±0.52 <sup>b</sup>
แรงยึดเกาะ (g.s)	-42.60±0.12 <sup>c</sup>	-73.04±4.47 <sup>a</sup>	-52.62±1.52 <sup>b</sup>	-41.52±4.58 <sup>c</sup>	-38.11±0.62 <sup>c</sup>	-61.89 ±1.08 <sup>b</sup>
ค่าดัชนีความคงตัว (Pa.s)	62.58±4.42 <sup>b</sup>	107.53±20.05 <sup>d</sup>	83.12± 4.01 <sup>c</sup>	79.49±1.69 <sup>b</sup>	35.56±0.33 <sup>a</sup>	82.54±1.15 <sup>c</sup>
Flow behavior index (n)	0.3082± 0.0112 <sup>c</sup>	0.2490±0.028 <sup>b</sup>	0.2168±0.007 <sup>a</sup>	0.2535±0.0153 <sup>b</sup>	0.3538±0.0006 <sup>d</sup>	0.2903±0.003 <sup>c</sup>
Thixotropic (Pa/s)	11,096±851 <sup>a</sup>	27,356 ±569 <sup>c</sup>	10,211±405 <sup>a</sup>	18,015±191 <sup>b</sup>	6,439±161 <sup>a</sup>	9,814±280 <sup>a</sup>
ความหนืด ( Pa.s)	4.22±0.15 <sup>b</sup>	5.35±0.46 <sup>c</sup>	3.92±0.09 <sup>b</sup>	4.34±0.19 <sup>b</sup>	2.90±0.04 <sup>a</sup>	5.19±0.02 <sup>c</sup>
มอดุลัสสะสม (Pa)	521.87± 6.85 <sup>d</sup>	641.07±22.99 <sup>e</sup>	482.63±8.43 <sup>c</sup>	541.23±21.59 <sup>d</sup>	263.35±23.83 <sup>a</sup>	428.33±9.56 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ในเมื่อดึงไม้ได้ถูกทำลายขณะเดียวกันหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลที่แทนที่อยู่ในสายอะไมโลส และอะไมโลเพคติน มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง (Van-Hung and Morita, 2005) จึงทำให้มีโมเลกุลของน้ำแทรกซึมเข้าไปในเม็ดแป้งได้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำในเฟสต่อเนื่องมีปริมาณน้อยลงในขณะที่แป้ง SSO แม้จะมีหมู่ออกเทนิลซัคซินเนตอยู่ในสายโพลีแซคคาไรด์ แต่เนื่องจากหมู่ดังกล่าวไม่ชอบน้ำ น้ำส่วนใหญ่จึงกระจายอยู่ในเฟสต่อเนื่องได้มากกว่าทำให้ตัวอย่างสามารถไหลได้ง่ายกว่าและมีแรงต้านการไหลน้อยกว่า เนื่องจากแป้ง HPD เป็นแป้งที่ผ่านกระบวนการคัดแปรผสมกันระหว่างการเชื่อมข้ามกับมีหมู่แทนที่ไฮดรอกซีโพรพิลทำให้แป้งดังกล่าวมีความแข็งแรงและบางส่วนยังคงสภาพความเป็นเม็ดแป้งและเมื่อนำแป้ง HPD ไปวัดค่าการกระจายตัวของเม็ดแป้งจะพบการกระจายตัวของเม็ดแป้งมีขนาด 3 ถึง 80 ไมโครเมตร

ส่วน MD เป็นแป้งที่มีการคัดแปรโดยการย่อยด้วยเอนไซม์และ/หรือกรดที่ทำให้โมเลกุลของสายโพลีเมอร์มีขนาดเล็กส่งผลให้ Radius of gyration น้อยกว่าแป้งที่ไม่มีการคัดแปรด้วยวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์ จึงทำให้มีแรงต้านทานการไหลได้น้อยกว่า ดังนั้นแป้ง MD จึงมีความหนืดต่ำกว่าแป้งชนิดอื่น ๆ

เมื่อพิจารณาสีของตัวอย่างแป้งพบว่าเจลที่เตรียมจาก MD มีลักษณะขาวขุ่นเนื่องจากสายโพลีเมอร์ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของ MD มีขนาดสายโพลีเมอร์สั้นจึงทำให้การจัดเรียงตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นระเบียบและหนาแน่น ส่งผลให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นแสงที่สูงกว่าแป้งชนิดอื่น ๆ ทำให้ค่า  $L^*$  สูงกว่าแป้ง HDP และ SSO ซึ่งแป้งดังกล่าว มีการคัดแปรโดยมีการแทนที่หมู่ไฮดรอกซีในสายโพลีเมอร์ของแป้งด้วยหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลและหมู่ออกเทนิลซัคซินเนตตามลำดับ ทำให้ป้องกันการเกิดการจัดเรียงตัวของอะไมโลสกับอะไมโลเพคติน ส่งผลให้อะไมโลสกับอะไมโลเพคตินจัดเรียงตัวกันอย่างหลวม ๆ เจลที่เกิดขึ้นจึงมีความใส แต่ทั้งนี้ เจลแป้ง HDP จะมีความขุ่นกว่า SSO เล็กน้อยซึ่งเป็นผลมาจากมีพันธะเชื่อมข้ามระหว่างสายของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของแป้ง HDP ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงและยังคงความเป็นเม็ดแป้งไว้

ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง และความชื้นของแป้งเป็นผลมาจากกระบวนการผลิต การปรับกรด และสภาวะการทำแห้งซึ่งไม่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับชนิดของแป้งคัดแปร

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.3 พบว่าแป้งคัดแปรแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งเป็นผลมาจากการคัดแปรทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน ดังนั้นการนำแป้งทั้ง 3 ชนิดมาเป็นสารทดแทนไขมันจึงจำเป็นต้องทราบความเข้มข้นของแป้งแต่ละชนิดที่ให้ความหนืดที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นสารทดแทนไขมัน โดยพยายามให้มายองเนสสูตรที่ใช้แป้งคัดแปรเป็นสารทดแทนไขมันยังสามารถคงไว้ซึ่งลักษณะทางกายภาพและเนื้อสัมผัสของมายองเนสสูตรดั้งเดิมไว้ ดังนั้นความหนืดของแป้งคัดแปรแต่ละ

ชนิดถูกเตรียมที่ระดับความเข้มข้นของแป้งแตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบกับมายองเนสสูตรไขมันเต็ม (FF) โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาระดับความเข้มข้นของแป้งแต่ละชนิดที่มีความหนืดเหมาะสมและสามารถนำมาใช้แทนที่ไขมันในมายองเนสได้ โดยมีสมมุติฐานว่าเมื่อแทนที่ไขมันในมายองเนสด้วยแป้งคัดแปรที่ให้ความหนืดเท่ากัน ในปริมาณการแทนที่ไขมันเท่ากับปริมาณที่นำไขมันออก จะมีผลทำให้คงไว้ซึ่งคุณลักษณะทางกายภาพของมายองเนสสูตรดั้งเดิม นอกจากนี้การหาระดับความเข้มข้นของแป้งคัดแปรแต่ละชนิดที่ให้ความหนืดเท่ากับมายองเนสสูตรดั้งเดิมจะช่วยในแง่ต่อการแปรผลและสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งคัดแปรแต่ละชนิดได้

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิด

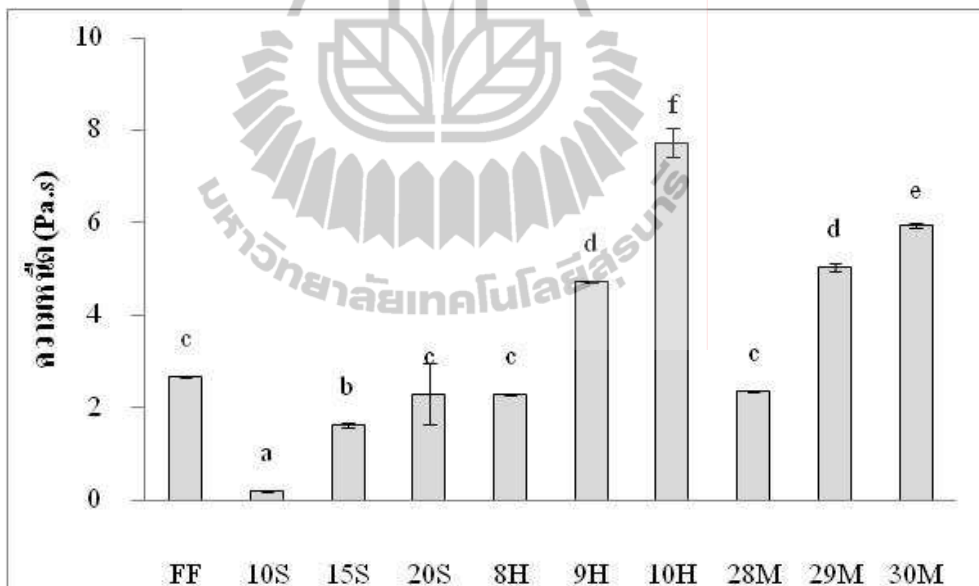
ตัวอย่าง	ความเป็นกรด-ด่าง <sup>1</sup>	Moisture content (%)	Viscosity <sup>1</sup> (Cps)	L <sup>2*</sup>	a <sup>2*</sup>	b <sup>2*</sup>
HPD	7.62±0.12 <sup>c</sup>	5.50±0.12 <sup>b</sup>	75.83±1.53 <sup>c</sup>	19.48±0.097 <sup>b</sup>	2.22±0.126 <sup>b</sup>	-1.29±0.227 <sup>a</sup>
SSO	5.05±0.01 <sup>a</sup>	5.59±0.18 <sup>b</sup>	35.33±0.58 <sup>b</sup>	18.19±0.770 <sup>a</sup>	2.60±0.261 <sup>c</sup>	-1.68±0.680 <sup>a</sup>
MD	5.69±0.19 <sup>b</sup>	4.91±0.02 <sup>a</sup>	1.67±0.29 <sup>a</sup>	33.35±0.307 <sup>c</sup>	1.19±0.239 <sup>a</sup>	-9.34±0.016 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : <sup>1</sup>เตรียมที่ความเข้มข้นของแป้งคัดแปรร้อยละ 5 และ <sup>2</sup>เตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการทดลองแปรความเข้มข้นของแป้ง MD ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 28 ถึง 30 แป้ง HDP ให้ความเข้มข้นร้อยละ 8 ถึง 10 และแป้ง SSO ให้ความเข้มข้นร้อยละ 10 ถึง 20 เพื่อหาระดับความเข้มข้นของแป้งแต่ละชนิดที่ให้ความหนืดเท่ากับความหนืดของ FF พบว่าความเข้มข้นของแป้งคัดแปรแต่ละชนิดที่ให้ความหนืดไม่แตกต่างจาก FF (2.662 พาสคาล.วินาที) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) มีค่าความเข้มข้นของ MD, SSO และ HDP เท่ากับร้อยละ 28, 20 และ 8 ตามลำดับ โดยมีความหนืด 2.354, 2.295 และ 2.2815 พาสคาล.วินาที ตามลำดับ แต่พบว่าเมื่อนำแป้ง SSO ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 ไปใช้เป็นส่วนทดแทนไขมันในมายองเนสที่ระดับการแทนที่ 25 และ 50 จะทำให้ตัวอย่างมีความหนืดมากจนไม่สามารถโฮโมจีไนซ์ได้ ผลดังกล่าวอาจเป็นเพราะแป้ง SSO เป็นแป้งคัดแปรที่มีคุณสมบัติไฮโดรโฟบิกซึ่งไม่เพียงใช้เป็นสารทดแทนไขมัน แต่ในระหว่างการโฮโมจีไนซ์

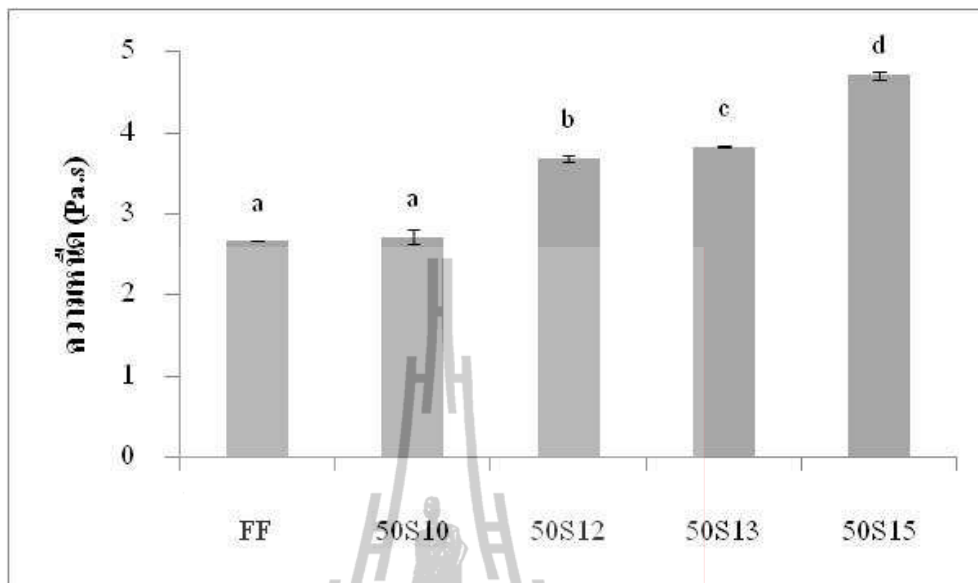
ยังทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Tesch et al., 2002) ช่วยเลซิดิน หรือ โปรตีนในไข่แดงอีกด้วย ทำให้ตัวอย่างที่ผลิตโดยใช้แป้ง SSO มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่เล็กกว่าตัวอย่างที่ใช้แป้งดัดแปรชนิดอื่น ส่งผลให้ตัวอย่างมาของเนสสุตรไขมันต่ำดังกล่าวมีความหนืดสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับความหนืดของแป้ง SSO เริ่มต้น (ไม่ได้แสดงข้อมูล)

ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองผลิตมาของเนสที่ใส่แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมันโดยการแปรความเข้มข้นของแป้งในช่วงร้อยละ 10 ถึง 15 ที่ระดับการแทนที่ไขมันร้อยละ 50 ของมาของเนสสุตรไขมันเต็ม เพื่อเลือกหาช่วงความเข้มข้นของแป้ง SSO ที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นสารทดแทนไขมัน โดยมีผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2 จากผลการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของแป้ง SSO ร้อยละ 10 จะให้ความหนืดของตัวอย่างมาของเนสไม่แตกต่างกับ FF ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของแป้ง HDP, MD และ SSO ที่ระดับความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 8, 28 และ 10 ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งในการเป็นสารทดแทนไขมันในมาของเนสสุตรไขมันต่ำ



**รูปที่ 4.1** ความหนืดที่ให้อัตราเฉือนต่อวินาทีเท่ากับ 50 ของแป้งดัดแปรที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันโดยที่ 10S, 15S และ 20S คือความเข้มข้นของแป้ง SSO ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 15 และ 20 ตามลำดับ 8H, 9H และ 10 H คือความเข้มข้นของแป้ง HPD ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ 28M, 29M และ 30M คือความเข้มข้นของแป้ง MD ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 28, 29 และ 30 ตามลำดับ

:ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันที่แสดงบนกราฟแห่งหมายถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



**รูปที่ 4.2** ความหนืดของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่อัตราเกลือต่อวินาทีเท่ากับ 50 โดยที่ 50S10, 50S12, 50S13 และ 50S15 คือใช้แป้ง SSO ที่ระดับการแทนที่ไขมันร้อยละ 50 ที่เตรียมจากแป้งที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 10, 12, 13 และ 15 ตามลำดับ FF คือมายองเนสสูตรไขมันเต็ม

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันที่แสดงบนกราฟนี้หมายถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.3 อิทธิพลของชนิดแป้งดัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนส

เมื่อนำแป้งดัดแปรแต่ละชนิดมาเตรียมมายองเนสสูตรไขมันต่ำ โดยใช้แป้ง HDP ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ใช้แป้ง MD ที่ความเข้มข้นร้อยละ 28 และใช้ SSO ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นสารทดแทนไขมันที่มีระดับการแทนที่ของไขมันที่แตกต่างกันคือ ร้อยละ 25, 50 และ 75 ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4

##### 4.3.1 อิทธิพลของแป้งดัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อค่าเฉลี่ยอนุภาคเม็ดไขมัน

ผลการทดลองพบว่าตัวอย่าง FF มีค่า  $D_{43}$  เท่ากับ 10.13 ไมโครเมตร (ตารางที่ 4.4) ซึ่งมีขนาดใหญ่รองจากตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP สำหรับการเตรียมตัวอย่าง FF มีข้อจำกัดในการใช้แรงที่มีความดันสูงหรือแรงปั่นสูงเพื่อลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน โดยไม่ควรใช้แรงตีปั่นที่มากเกินไป อันอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสในระหว่างการลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันได้ ดังนั้นการเตรียมตัวอย่าง FF ในการทดลองครั้งนี้ จึงเป็นการเตรียมอิมัลชันแบบชั้นตอนเดียว โดย

ไม่ได้มีขั้นตอนการ โฮโมจิไนซ์เหมือนกับตัวอย่างสูตรที่ใช้สารทดแทนไขมัน ทั้งนี้ในตัวอย่าง อิมัลชันที่มีปริมาณไขมันมาก จะมีสัดส่วนของปริมาตรของอนุภาคเม็ดไขมันต่อปริมาตรของเฟส ต่อเนื่อง (Volume fraction) สูง และเมื่อสัดส่วนปริมาตรของเม็ดไขมันเข้าใกล้กับค่าวิกฤต (Critical volume fractions) ที่มีค่าประมาณ  $\sim 0.8$  จะทำให้อนุภาคเม็ดไขมันมีโอกาสหลอมรวมตัวกันและเกิดการเปลี่ยนเฟสในระหว่างการเกิดอิมัลชันในสภาวะที่มีแรงกระทำได้ง่าย (McClements, 2005; Worrasinchai et al., 2006) ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ไม่สามารถโฮโมจิไนซ์ตัวอย่าง FF ได้ ทำให้ตัวอย่าง FF มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนไขมันซึ่งมีปริมาณไขมันต่ำกว่า นอกจากนี้ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่าง FF มีขนาดใหญ่กว่าตัวอย่างอื่นๆ อาจเป็นผลมาจากปริมาณสัดส่วนของไข่แดงที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ต่อปริมาณน้ำมันในสูตร FF มีสัดส่วนของอิมัลซิไฟเออร์น้อยกว่าสูตรที่ใช้แบ่งคิดแปรเป็นสารทดแทนไขมัน เนื่องจากสูตรการผลิตมายองเนสในการทดลองครั้งนี้ปริมาณของไข่แดงเท่ากันทุกชุดการทดลอง ดังนั้นสูตรที่มีการแทนที่ไขมันด้วยแบ่งคิดแปรน้อยกว่าจะมีสัดส่วนของไข่แดงต่อปริมาณไขมันต่ำเช่นกัน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการกักรวมตัวกันของอนุภาคเม็ดไขมันขณะกระบวนการโฮโมจิไนซ์ของตัวอย่าง FF มีประสิทธิภาพต่ำส่งผลให้ตัวอย่าง FF มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันใหญ่กว่าตัวอย่างสูตรไขมันต่ำ

เมื่อพิจารณาค่า  $D_{43}$  ของตัวอย่างมายองเนสที่ใช้แบ่ง HDP เป็นสารทดแทนไขมันพบว่า มีค่า  $D_{43}$  ใหญ่กว่าตัวอย่าง FF และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มการแทนที่ไขมัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากเม็ดแบ่ง HDP ที่เพิ่มขึ้นในระบบ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.3

ส่วนตัวอย่างมายองเนสที่ใช้แบ่ง MD เป็นสารทดแทนไขมันจะมีค่า  $D_{43}$  เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ของไขมัน โดยผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Dockic-Baucal และคณะ (2004) ที่ได้ศึกษาการเตรียมอิมัลชันด้วย MD ที่มีค่า DE ประมาณ 10 และ 5 แบ่ง MD ทั้งสองตัวอย่างดังกล่าวเมื่อนำมาเตรียมอิมัลชันที่มีปริมาณไขมันแตกต่างกัน แต่มีระดับความเข้มข้นของแบ่งเท่ากัน พบว่าการลดปริมาณน้ำมันลงมีผลทำให้ตัวอย่างมีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันใหญ่ขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยตัวอย่างที่เตรียมจาก MD ที่มีค่า DE ต่ำ (ความหนืดสูง) จะสามารถผลิตอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันได้เล็กกว่า

สำหรับตัวอย่างที่เตรียมด้วยแบ่ง SSO มีค่า  $D_{43}$  น้อยที่สุดและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมัน ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของแบ่ง SSO (Tesch et al., 2002) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแบ่ง SSO ในระบบส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนสที่ใช้แป้งคัดแปรแตกต่างกันเป็นสารทดแทนไขมันที่มีระดับการแทนที่ไขมันแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	D <sub>43</sub> (μm)	L*	a*	b*	Firmness (g)	Adhesiveness (g.s)
FF	10.13 ± 1.76 <sup>d</sup>	91.63 ± 0.41 <sup>b</sup>	-6.20 ± 0.67 <sup>a</sup>	25.85 ± 0.49 <sup>f</sup>	55.52 ± 6.94 <sup>de</sup>	-45.95 ± 8.28 <sup>b</sup>
25H08	12.38 ± 0.47 <sup>e</sup>	94.65 ± 0.11 <sup>d</sup>	-4.49 ± 0.02 <sup>de</sup>	22.99 ± 0.03 <sup>d</sup>	60.06 ± 1.43 <sup>e</sup>	-45.25 ± 1.09 <sup>bc</sup>
50H08	21.55 ± 1.24 <sup>f</sup>	95.09 ± 0.37 <sup>d</sup>	-4.02 ± 0.06 <sup>c</sup>	20.64 ± 0.36 <sup>c</sup>	50.98 ± 0.61 <sup>d</sup>	-34.84 ± 9.77 <sup>cd</sup>
75H08	31.29 ± 0.51 <sup>g</sup>	94.95 ± 0.01 <sup>d</sup>	-4.29 ± 0.01 <sup>de</sup>	22.61 ± 0.20 <sup>d</sup>	41.74 ± 0.15 <sup>c</sup>	-32.08 ± 1.36 <sup>d</sup>
25M28	7.89 ± 0.02 <sup>c</sup>	93.04 ± 0.03 <sup>c</sup>	-5.17 ± 0.02 <sup>bc</sup>	24.81 ± 0.01 <sup>e</sup>	34.54 ± 0.52 <sup>b</sup>	-31.30 ± 2.73 <sup>d</sup>
50M28	8.88 ± 1.15 <sup>cd</sup>	92.51 ± 0.10 <sup>c</sup>	-5.05 ± 0.03 <sup>c</sup>	24.98 ± 0.07 <sup>e</sup>	23.74 ± 1.26 <sup>a</sup>	-19.74 ± 3.78 <sup>e</sup>
75M28	9.71 ± 0.08 <sup>d</sup>	89.43 ± 0.31 <sup>a</sup>	-5.58 ± 0.04 <sup>b</sup>	27.15 ± 0.21 <sup>g</sup>	19.80 ± 0.01 <sup>a</sup>	-9.47 ± 3.57 <sup>e</sup>
25S10	4.25 ± 0.24 <sup>b</sup>	96.11 ± 0.39 <sup>e</sup>	-4.67 ± 0.14 <sup>cd</sup>	19.71 ± 0.47 <sup>b</sup>	70.82 ± 0.90 <sup>f</sup>	-65.13 ± 7.24 <sup>a</sup>
50S10	3.56 ± 0.01 <sup>ab</sup>	96.71 ± 0.49 <sup>f</sup>	-4.21 ± 0.26 <sup>de</sup>	18.01 ± 0.31 <sup>a</sup>	52.70 ± 3.84 <sup>d</sup>	-39.43 ± 1.27 <sup>bcd</sup>
75S10	2.16 ± 0.56 <sup>a</sup>	96.21 ± 0.45 <sup>f</sup>	-4.53 ± 0.39 <sup>de</sup>	19.55 ± 0.21 <sup>b</sup>	21.74 ± 1.67 <sup>a</sup>	-13.84 ± 0.63 <sup>c</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

### 4.3.2 อิทธิพลของแป้งคัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมัน

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของแป้งคัดแปรต่อการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดไขมันในตัวอย่างมายองเนส โดยเปรียบเทียบในตัวอย่างที่มีการแทนที่ไขมันร้อยละ 50 เทียบกับตัวอย่าง FF (รูปที่ 4.3) พบว่าความกว้างของกราฟการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่างเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้คือ FF 50M28, 50S10 และ 50H08 ตามลำดับโดยค่าการกระจายตัวของเม็ดไขมันในตัวอย่าง FF อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 80 ไมโครเมตร และมีค่า  $D_{43}$  เท่ากับ 10.13 ไมโครเมตร 50M28 มีค่าการกระจายตัวของเม็ดไขมันอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 60 ไมโครเมตร มีค่า  $D_{43}$  เท่ากับ 8.88 ไมโครเมตร และ 50S10 มีค่าการกระจายตัวของเม็ดไขมันตัวอย่างอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 20 ไมโครเมตรและมีค่า  $D_{43}$  เท่ากับ 3.56 ไมโครเมตร โดยกราฟการกระจายตัวของเม็ดไขมันทั้งหมดที่กล่าวมามีลักษณะเป็นกราฟเดี่ยว ส่วนตัวอย่าง 50H08 จะมีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่างมี 2 กลุ่มประชากร โดยในกลุ่มแรกแสดงค่าการกระจายตัวของเม็ดไขมันอยู่ที่ 0.5 ถึง 7 ไมโครเมตรและในกลุ่มที่ 2 พบการกระจายตัวของเม็ดแป้งของแป้ง HPD มีค่าระหว่าง 10 ถึง 80 ไมโครเมตรโดยมีค่า  $D_{43}$  เท่ากับ 21.55 ไมโครเมตร จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมันจะส่งผลให้ค่า  $D_{43}$  ที่ผลิตจากการใช้ HDP เป็นสารทดแทนไขมันมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

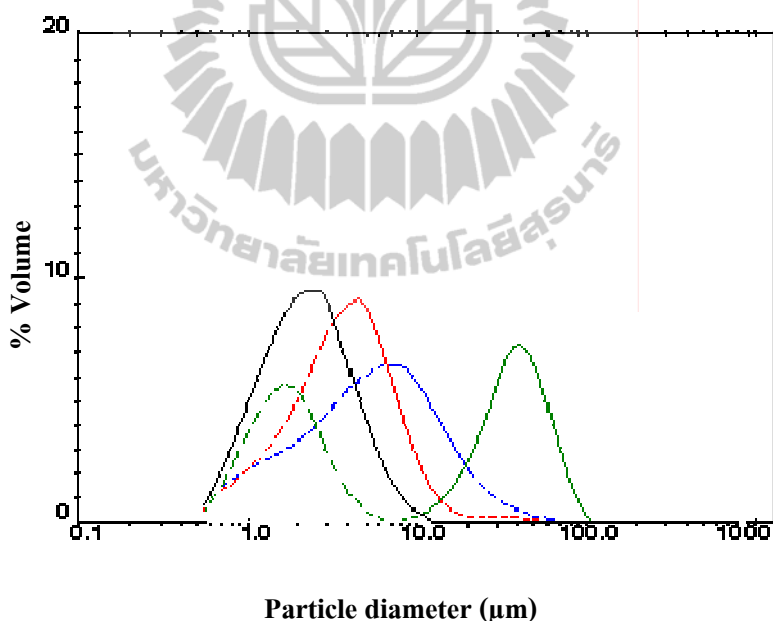
รูปที่ 4.4 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันในมายองเนสที่มีการใช้แป้งคัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันที่แตกต่างกัน โดยย้อมตัวอย่างมายองเนสด้วยสารละลายไอโอดีนเพื่อระบุส่วนที่เป็นแป้งซึ่งจะเห็นเป็นสีน้ำเงิน-ดำ ที่เกิดจากไอโอดีนถูกกักอยู่ในเกลียวของอะไมโลส (Murphy, 1999) จากรูปพบว่าอนุภาคเม็ดไขมันของตัวอย่าง FF มีขนาดใหญ่และอยู่ใกล้ชิดกัน และพบว่าอนุภาคเม็ดไขมันที่เล็กกว่าจะซ่อนอยู่ในอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่าดังแสดงด้วยลูกศรสีแดง ในขณะที่ตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนไขมันมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าและมีแนวโน้มว่าจะระยะห่างระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมันด้วยแป้งคัดแปร ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในตัวอย่างที่มีระดับการแทนที่ไขมันที่ร้อยละ 50 และ 75

จากรูปที่ 4.4 ที่แสดงตัวอย่างที่ใช้แป้ง HDP และ แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมัน พบว่าขนาดอนุภาคเม็ดไขมันมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมัน แม้ว่าในตัวอย่างที่ใช้แป้ง HDP เป็นสารทดแทนไขมันค่า  $D_{43}$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมันก็ตาม ทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณของเม็ดแป้ง HDP ที่เพิ่มขึ้นเมื่อระดับการแทนที่ไขมันเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ใช้แป้ง HDP เป็นสารทดแทนไขมันจะพบเม็ดแป้งย้อมติดสีน้ำเงินกระจายตัวอยู่ทั่วไปในระบบมายองเนส ในขณะที่สัดส่วนของอนุภาคเม็ดไขมันมีจำนวนลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออนุภาคเม็ดไขมันบางอนุภาคแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างของเม็ดแป้ง HDP ดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว โดยอาจเป็นผลมาจากประจุบวกของโปรตีนไข่แดงที่ล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมันนั้นสามารถสร้างพันธะไอออนิกกับประจุลบ

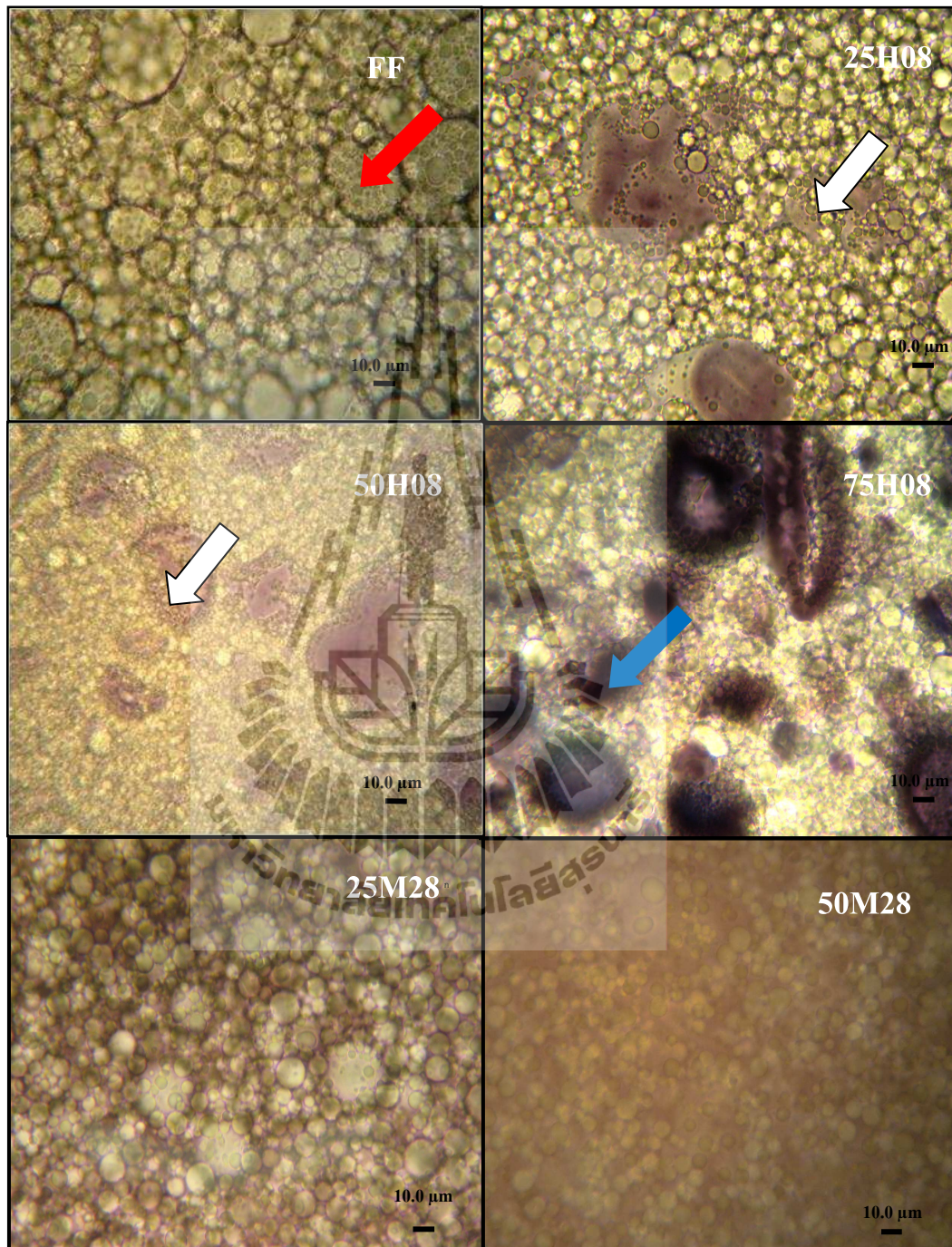


ของหมู่ฟอสเฟตที่อยู่ในโครงสร้างของแป้ง HDP ได้ แต่ทั้งนี้จากการทดลองของ Prochaska, Kędziora, Le Thanhb และ Lewandowicz (2007) พบว่าตัวอย่างแป้งดัดแปรชนิดเชื่อมข้ามได้แก่ ไคสตาร์ชฟอสเฟต (Distarch phosphate) อะซิทธิลเตทไคสตาร์ชฟอสเฟต (Acetylated distarch phosphate) และอะซิทธิลเตทไคสตาร์ชอะดิเปต (Acetylated distarch adipate) ไม่มีคุณสมบัติเป็นสาร Surface active ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ ที่พบว่าแป้ง HDP มีโครงสร้างทางกายภาพไม่เอื้ออำนวยต่อการเป็นสาร Surface active ดังปรากฏด้วยภาพที่มองผ่านกล้องจุลทรรศน์

ส่วนตัวอย่างที่ใช้แป้ง MD เป็นสารทดแทนไขมันพบว่าขนาดของเม็ดไขมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ (รูป 4.4) ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่า  $D_{43}$  โดยจะพบอนุภาคเม็ดไขมันกระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้างของเจลแป้ง MD ซึ่งข้อมติคสิมวง แต่ไม่พบว่ามีเม็ดแป้งของ MD เพราะแป้ง MD ได้เสถียรภาพของโครงสร้างของเม็ดแป้งจากการย่อยด้วยเอนไซม์ และจากกระบวนการทำแห้ง และเมื่อเพิ่มอัตราการแทนที่ไขมันด้วยแป้ง MD พบว่าระยะห่างระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันมีระยะห่างเพิ่มขึ้น โดยจะมีสัดส่วนของอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่างลดลง

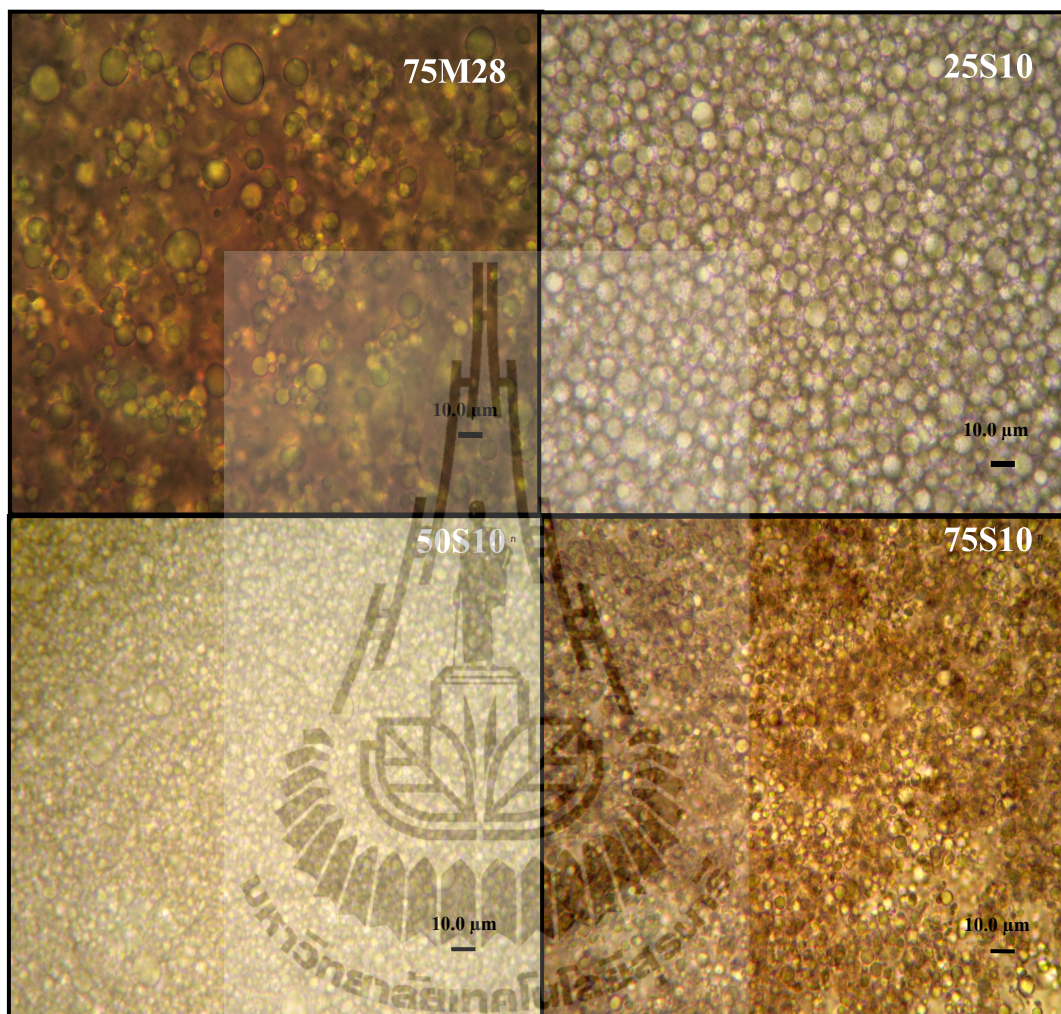


รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันของมายองเนส ( —) FF, ( —) 50H08, ( —) 50M28, ( —) 50S10



รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันจากห้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า ลูกศรสีแดงแสดงอนุภาคเม็ดไขมันขนาดเล็กซ่อนอยู่ในอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่าลูกศรสีขาวแสดงอนุภาคเม็ดไขมันที่แทรกอยู่ในเม็ดแป้ง HDP และลูกศรสีน้ำเงินแสดงเม็ดแป้ง HDP





**รูปที่ 4.4 (ต่อ)** การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า ลูกศรสีแดงแสดงอนุภาคเม็ดไขมันขนาดเล็กซ่อนอยู่ในอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่าลูกศรสีขาวแสดงอนุภาคเม็ดไขมันที่แทรกอยู่ในเม็ดแป้ง HDP และลูกศรสีน้ำเงินแสดงเม็ดแป้ง HDP

ส่วนตัวอย่างที่ใช้แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมัน (รูปที่ 4.4) จะพบการซ้อนติดสีของแป้ง SSO ล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมัน โดยจะเห็นว่าอนุภาคเม็ดไขมันกระจายตัวอย่างสม่ำเสมออยู่ในเฟสต่อเนื่องที่มีแป้ง SSO

#### 4.3.3 อิทธิพลของแป้งตัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อสีของมายองเนส

สีของมายองเนสเป็นผลมาจากปริมาณไขมัน ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันและสีที่มาจากไข่แดง จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมายองเนสมีค่าความสว่างค่อนข้างสูง (มีค่า  $L^*$  สูง) สีเหลืองอ่อน (มีค่า  $b^*$  เป็นบวก) และสีเขียวเล็กน้อย (มีค่า  $a^*$  เป็นลบ) โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสว่างของตัวอย่างมายองเนสได้แก่ ความเข้มข้นของอนุภาคไขมันและขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน

(McClements, 2005) ซึ่งในทางทฤษฎีตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของไขมันมาก และมีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเล็กจะทำให้การสะท้อนกลับของแสงมีมากส่งผลให้  $L^*$  สูงขึ้น

จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างมายองเนสที่มีการใช้สารทดแทนไขมันทุกตัวอย่างมีค่าความสว่างสูงกว่าตัวอย่าง FF แม้จะมีปริมาณไขมันต่ำกว่าตัวอย่าง FF ก็ตาม โดยสามารถอธิบายได้ว่าตัวอย่างมายองเนสสูตรไขมันต่ำมีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่เล็กกว่าตัวอย่าง FF ทำให้มีการสะท้อนกลับของแสงที่สูงมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่าง FF มี  $b^*$  และ  $-a^*$  สูงกว่าตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนไขมัน ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าค่าความเข้มของสี (Color intensity) หรือสีเหลือง (Croma) จะมีค่าแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเล็กลง (Chantrapornchai, Clydesdale and McClements, 1999) ซึ่งการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Karas, Skvarca และ Zlender (2002); Worrasinchai และคณะ (2006) และ Santipanichwong และ Suphantharika (2007)

ค่าสีเหลืองของมายองเนสได้จากไข่แดงที่มีรงควัตถุลูทีน และเบต้า-แคโรทีน โดยจะปรากฏสีเป็นเหลือง-แดง รงควัตถุทั้งสองละลายได้ดีในไขมัน ดังนั้นตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันน้อยจะแสดงค่า  $b^*$  ต่ำกว่าตัวอย่างที่มีไขมันสูงกว่า (Windin and Hall, 2001) การแทนที่ไขมันด้วย HDP พบว่าระดับการแทนที่ไขมันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของตัวอย่างมายองเนส โดยตัวอย่างมายองเนสทุกตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง HDP มีค่า  $L^*$  และ  $-a^*$  สูงกว่า แต่มีค่า  $b^*$  ต่ำกว่าตัวอย่าง FF ส่วนตัวอย่างที่เตรียมจาก MD เป็นสารทดแทนไขมันพบว่าค่า  $L^*$  มีแนวโน้มลดลงในขณะที่  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการแทนที่ไขมัน

สำหรับตัวอย่างที่ใช้ SSO เป็นสารทดแทนไขมันจะมีค่า  $L^*$  สูงกว่า FF และมายองเนสทุกตัวอย่างที่ใช้แป้งคัดแปรชนิดอื่นเป็นสารทดแทนไขมันเนื่องจากมีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่เล็กกว่าโดยระดับการแทนที่ไขมันด้วยแป้ง SSO ไม่มีผลต่อค่าสีของตัวอย่างมายองเนส

จะเห็นว่าชนิดของแป้งคัดแปรที่ใช้เป็นสารทดแทนไขมันที่แตกต่างกันมีผลต่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน และส่งผลโดยตรงต่อค่าสีของตัวอย่างมายองเนส การทดลองนี้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Santipanichwong และ Suphantharika (2007) ที่พบว่าตัวอย่าง มายองเนสสูตรลดไขมันจะมีค่า  $L^*$  สูงกว่าตัวอย่าง FF ในขณะที่มีค่า  $b^*$  ต่ำกว่า และมีค่า  $a^*$  ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

#### 4.3.4 อิทธิพลของแป้งคัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส

ค่าความแน่นเนื้อคือค่าที่แสดงถึงแรงสูงสุดที่เกิดในระหว่างการกดหัววัดลงในตัวอย่าง และค่าการยืดเกาะคือค่าที่แสดงพื้นที่ใต้กราฟขณะที่ดึงหัววัดขึ้นจากตัวอย่าง โดยปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมายองเนสประกอบไปด้วยปริมาณน้ำมันที่มีในส่วนผสมและขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน ผลการทดลอง (ตารางที่ 4.4) พบว่าตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจากแป้งคัดแปรแตกต่างกัน จะมีค่าความแน่นเนื้อและค่าการยืดเกาะลดลงเมื่อระดับของการแทนที่ไขมันสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่ม

ระดับการแทนที่ไขมันส่งผลให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันเพิ่มขึ้น (Ungerer, 2007) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จึงส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะมีค่าลดลง

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะของตัวอย่างสูตรไขมันต่ำกับตัวอย่าง FF พบว่าตัวอย่าง 25S10 ค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะสูงกว่าตัวอย่าง FF อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ตัวอย่างที่ใช้แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมันมีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่เล็กกว่า (Worrasinchai et al., 2006) รวมไปถึงตัวอย่างที่ใช้แป้ง SSO อาจมีการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิกระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันด้วยกัน และ/หรือ ระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันกับสายโพลีเมอร์แป้ง และ/หรือ ระหว่างสายโพลีเมอร์ด้วยกันเอง ในตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเล็กจะทำให้เพิ่มพื้นที่ในการสัมผัส ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูงและมีแรงต้านแรงเฉือน และแรงกดส่งผลทำให้ค่าความหนืดและค่าความแน่นเนื้อสูงขึ้น (Liu et al., 2007) เมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมันพบว่าค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะลดลงเนื่องมาจากในระบบมีส่วนของอนุภาคเม็ดไขมันลดลง

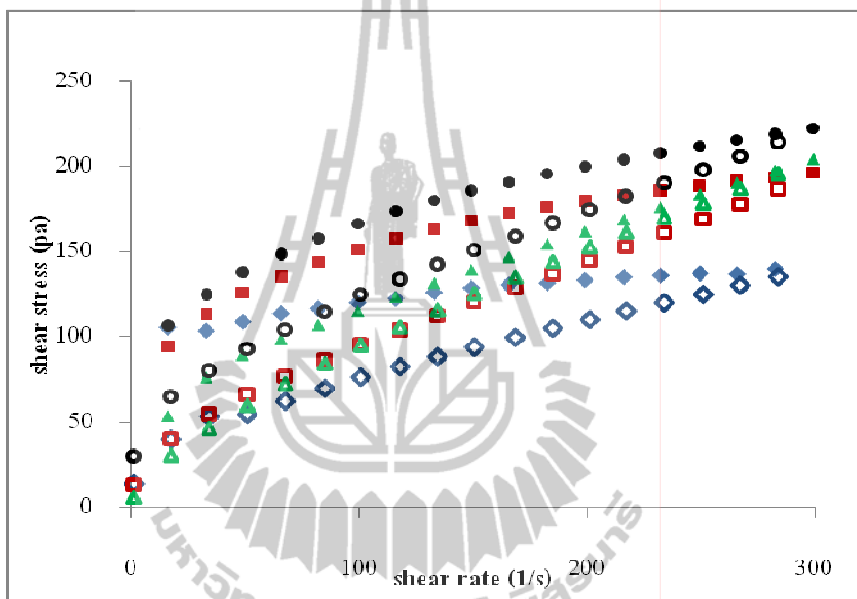
ตัวอย่าง 25H08 และ 50H08 มีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างจากตัวอย่าง FF อาจเป็นผลมาจากแป้ง HDP ที่มีลักษณะเป็นเม็ดแป้ง ที่ทนต่อแรงเฉือนและมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง (Van-Hung and Morita, 2005) การที่เม็ดแป้งดูดซึมน้ำได้สูงจะทำให้ตัวอย่างแสดงค่าความแน่นเนื้อและมีความยึดเกาะสูง นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดอนุภาคเม็ดไขมันของตัวอย่าง 25H08 และ 50H08 มีขนาดเล็กกว่าในตัวอย่าง FF (รูปที่ 4.4) จึงเป็นเหตุผลสนับสนุนที่ทำให้ค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะในตัวอย่างดังกล่าวมีค่าเท่ากับตัวอย่าง FF แม้ว่าตัวอย่างจะมีปริมาณน้ำมันน้อยกว่าก็ตาม และเมื่อเพิ่มการแทนที่ไขมันพบว่าค่าความแน่นเนื้อและการยึดเกาะมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง SSO

สำหรับตัวอย่างที่ใช้แป้ง MD เป็นสารทดแทนไขมันทุกตัวอย่างมีค่าความแน่นเนื้อและการยึดเกาะน้อยกว่าตัวอย่าง FF ซึ่งมีเหตุผลสองประการโดยเหตุผลแรกเป็นผลมาจากปริมาณไขมันในตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง MD มีปริมาณไขมันที่ต่ำกว่า FF จึงทำให้สัดส่วนของอนุภาคเม็ดไขมันที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของมายองเนสลดลง ขณะเดียวกันแป้ง MD จะมีขนาดของสายโพลีเมอร์ของแป้งลดลงเมื่อผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ จึงทำให้โครงสร้าง 3 มิติของเจล MD เสื่อมสภาพ และเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมันค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง SSO และ HDP

#### 4.3.5 อิทธิพลของแป้งดัดแปรและระดับการแทนที่ไขมันต่อคุณสมบัติด้านวิทยากระแส

จากผลการทดลองพบว่ามายองเนสทุกตัวอย่างแสดงพฤติกรรมแบบ Thixotropic shear thinning behavior (รูปที่ 4.5) เนื่องมาจากความหนืดของตัวอย่างขึ้นกับแรงเฉือนและเวลาโดยจะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน ค่าของแรงเค้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ ที่ระดับแรงเฉือนสูง

ๆ และเมื่อลดแรงเฉือนลงจะพบว่า ค่าของแรงเค้นที่ระดับแรงเฉือนเท่ากันมีค่าต่ำกว่าค่าแรงเค้นที่ได้ในช่วงที่เพิ่มแรงเฉือนให้กับตัวอย่างในขั้นตอนแรก โดยอนุภาคเม็ดไขมันจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านวิทยากระแสของตัวอย่างมาของเนสให้มีโครงสร้างคล้ายของแข็ง (Solid-like structure) การเพิ่มแรงเฉือนให้กับตัวอย่าง แรงเฉือนจะไปทำลายโครงสร้างหรือทำลายอนุภาคเม็ดไขมันที่เกาะกลุ่มกันอยู่ให้แยกออกจากกัน ส่งผลให้ความหนืดลดลง



รูปที่ 4.5 พฤติกรรมการไหลของมาของเนสสูตรสัญลักษณ์ที่บแสดงค่า up flow สัญลักษณ์โปร่ง แสดงค่า Down flow ◆ FF, ■ 50H08, ▲ 50M28, ● 50S10

Hysteresis loop หรือพื้นที่ของกราฟที่เกิดขึ้นในระหว่างที่เพิ่มอัตราเฉือน (Up flow) และลดอัตราเฉือน (Down flow) ในขณะที่วัดพฤติกรรมการไหล หรือเรียกพื้นที่นี้ว่า Thixotropic area ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเสถียรภาพของโครงสร้างของตัวอย่าง ตัวอย่างที่มีค่า Thixotropic สูงแสดงว่าตัวอย่างมีการเสถียรภาพมากหรืออาจหมายความว่าตัวอย่างดังกล่าวจะต้องใช้เวลานานกว่าที่โครงสร้างของตัวอย่างสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ (McClements, 2005; Worrasinchai et al., 2006)

เมื่อใช้ Power's law model ในการวิเคราะห์ข้อมูลของพฤติกรรมการไหลของมาของเนสพบว่าค่าดัชนีความคงตัว ค่า Thixotropic และค่าความหนืดของมาของเนสที่ใช้แป็งัดแปรเป็นสารทดแทนไขมันมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมัน (ตารางที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่าไขมันมีผลต่อการแสดงพฤติกรรมด้านวิทยากระแสของตัวอย่าง โดยปริมาณไขมันมากส่งผลให้ค่าดัชนีความคงตัวและค่าความหนืดสูง ในขณะที่การเพิ่มระดับการแทนที่ไขมันมีผลทำให้ค่า n มีแนวโน้มสูงขึ้น



แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีแนวโน้มการไหลเข้าใกล้กับนิวโตเนียน อย่างไรก็ตามแม้ตัวอย่าง FF มีปริมาณไขมันสูงกว่าตัวอย่างมาของเนสสูตรลดไขมัน แต่พบว่ามีความหนืดน้อยกว่ามาของเนสสูตร 25H08 และ 25S10 อาจเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคเม็ดไขมันของมาของเนสสูตร FF มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่าตัวอย่าง 25H08 และ 25S10 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งส่งผลต่อแรงต้านการไหลได้น้อยกว่า ค่าความหนืดที่วัดได้จึงมีค่าต่ำ (Liu et al., 2008) ขณะเดียวกันมาของเนสที่เตรียมจากแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิดเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมันด้วยแป้งมีผลทำให้ค่า Thixotropic มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากในตัวอย่างดังกล่าวมีปริมาณอนุภาคเม็ดไขมันในระบบลดลง ซึ่งอนุภาคเม็ดไขมันเป็นตัวกำหนดโครงสร้างของมาของเนส แต่ทั้งนี้พบว่าตัวอย่าง FF มีค่า Thixotropic ต่ำกว่า 25H08, 50H08, 25M28, 25S10 และ 50S10 อาจเป็นผลมาจากตัวอย่างสูตรลดไขมันซึ่งมีโพลีแซคคาไรด์อยู่ในเฟสต่อเนื่องจะขัดขวางการคืนสภาพของโครงสร้างของอนุภาคเม็ดไขมัน จึงทำให้ตัวอย่างสูตรลดไขมันมีค่า Thixotropic สูงกว่าตัวอย่าง FF

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านวิทยากระแสของมาของเนสที่ใช้แป้งคัดแปรต่างชนิดเป็นสารทดแทนไขมันพบว่าแม้ HDP ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 8 และแป้ง MD ที่ความเข้มข้นร้อยละ 28 มีความหนืดสูงกว่า SSO ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 ( $p \leq 0.5$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 แต่เมื่อนำมาแทนที่ไขมันที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 25 และ 50 ค่าความหนืดของตัวอย่างมาของเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP และ MD มีค่าต่ำกว่ามาของเนสที่เตรียมจากแป้ง SSO สามารถอธิบายได้ว่าระหว่างกระบวนการโฮโมจีไนซ์ตัวอย่างมาของเนส แรงเฉือนที่ใส่ให้กับตัวอย่างจะทำลายโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ให้มีขนาดเล็กลง (Modig, Nilsson, Bergenstahl and Wahlund, 2006) ซึ่งธรรมชาติของโครงสร้างเจลของ MD และ SSO จะไม่ทนต่อแรงเฉือน และจะถูกทำลายในระหว่างการโฮโมจีไนซ์ได้ง่าย จึงทำให้ Radius of gyration ของโพลีเมอร์ในเฟสต่อเนื่องลดลง โดยเมื่อโครงสร้างโพลีเมอร์ของ SSO ถูกทำให้เล็กลงจะส่งผลให้ความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของแป้ง SSO มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้มาของเนสที่ได้มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเล็กลง และยังช่วยให้อิมัลชันมีความเสถียรเนื่องจากสายโพลีเมอร์ของแป้ง SSO อาจมีการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิกระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันด้วย ผลที่ได้นี้ตรงกันข้ามกับตัวอย่างที่ผลิตจากแป้ง MD ที่ไม่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์

เมื่อพิจารณารูปที่มองผ่านกล้องจุลทรรศน์ (รูปที่ 4.4) ของตัวอย่าง 25S10 พบว่าเม็ดไขมันมีการกระจายตัวที่หนาแน่นและมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าตัวอย่างอื่น จึงทำให้ความหนืดของ 25S10 มีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่น ส่วนแป้ง HDP ที่มีคุณสมบัติทนต่อแรงเฉือน ดังนั้นแรงที่ใช้ในระหว่างโฮโมจีไนซ์จึงไม่มีผลทำลายโครงสร้างของเม็ดแป้ง โดยที่เม็ดแป้งและอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่าง 25H08 จะทำให้มีแรงต้านการไหลสูงจึงส่งผลให้ตัวอย่างดังกล่าวมีความหนืดสูงกว่า FF มาของเนสสูตรไขมันต่ำทุกตัวอย่างที่เตรียมจากแป้งทั้ง 3 ชนิดเมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ไขมันจะส่งผลให้มีปริมาณอนุภาคเม็ดไขมันในระบบลดลงจึงส่งผลให้ค่าความหนืดมีแนวโน้มลดลงด้วย



เมื่อพิจารณาชนิดของแป้งตัดแปรต่อค่า Thixotropic พบว่าตัวอย่างที่ผลิตจากแป้ง HDP มีค่า Thixotropic สูงกว่าตัวอย่างที่ผลิตจากแป้งชนิดอื่นที่มีระดับการแทนที่ไขมันเท่ากัน ปრაกฏการณ์เช่นนี้อาจเป็นผลมาจากเม็ดแป้ง HPD ที่มีขนาดใหญ่อาจจะขัดขวางการคืนสภาพของโครงสร้าง ภายของเนสหรือการคืนสภาพของอนุภาคเม็ดไขมัน และตัวอย่างที่ผลิตมาจากแป้ง SSO จะมีค่า Thixotropic ต่ำกว่าตัวอย่างที่ผลิตมาจากแป้งชนิดอื่น ๆ อาจเป็นผลมาจากแป้ง SSO สามารถสร้างอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกระหว่างสายโพลีแซคคาไรด์ด้วยกันเอง หรือระหว่างสายโพลีแซคคาไรด์กับอนุภาคเม็ดไขมันจึงเป็นการช่วยให้ตัวอย่างมีการคืนสภาพได้เร็วขึ้น

ส่วนคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติกของมายองเนสพบว่า ช่วงความถี่ครีปร้อยละ 0.1 ถึง 8 เป็นช่วงที่ทุกตัวอย่างมีค่ามอดุลัสสะสมเป็นเส้นตรง (ภาคผนวกรูปที่ ข.3 ถึง ข.5) ดังนั้นการวัดแบบ Frequency sweep เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของตัวอย่างจึงใช้ความถี่ครีปที่ร้อยละ 0.5 ผลการทดลอง (รูปที่ 4.6) พบว่าตัวอย่างมายองเนสทุกตัวอย่างแสดงคุณสมบัติคล้ายเจล (Gel-like structure) โดยพบว่าค่ามอดุลัสสะสมสูงกว่าค่ามอดุลัสสูญเสียตลอดช่วงความถี่ที่ใช้วัด แสดงว่าตัวอย่างดังกล่าวแสดงคุณสมบัติของส่วนที่เป็นของแข็งได้มากกว่าส่วนที่เป็นของเหลว โดยคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติกของมายองเนสส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการสร้าง Interlinked network structure ของโปรตีนไข่แดง ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของอนุภาคเม็ดไขมันให้เป็นโครงสร้างของมายองเนส (Kiosseoglou and Sherman, 1983) และตัวอย่างที่มีปริมาณอนุภาคไขมันมากกว่า จะมีค่ามอดุลัสสะสมสูงกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันน้อย เนื่องจากอนุภาคเม็ดไขมันจะเป็นตัวกำหนดลักษณะคล้ายเจลของมายองเนส (Ma and Barbosa-Canovas, 1995) ขณะเดียวกันค่ามอดุลัสสะสมจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน โดยตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเล็ก ตัวอย่างจะแสดงพฤติกรรมคล้ายของแข็งมากกว่า หรือแสดงด้วยค่ามอดุลัสสะสมสูงกว่าตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันขนาดใหญ่ (Langton et al., 1999; Marutama, Sakashita, Hagura and Suzuki 2006; Worrasinchai et al., 2006)

ผลการทดลองพบว่ามายองเนสทุกตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง HDP เป็นสารทดแทนไขมัน รวมถึงตัวอย่าง 25S10 และ 50S10 มีค่ามอดุลัสสะสมสูงกว่าตัวอย่าง FF (ตารางที่ 4.5) แม้ว่าตัวอย่างเหล่านั้นจะมีปริมาณไขมันต่ำกว่า ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากตัวอย่างเหล่านั้นมีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่เล็กกว่าจึงทำให้ค่ามอดุลัสสะสมสูงกว่า และเม็ดแป้ง HDP ยังทำหน้าที่เป็นเสมือนอนุภาคที่ส่งผลให้ค่ามอดุลัสสะสมมีค่าสูงขึ้นด้วย

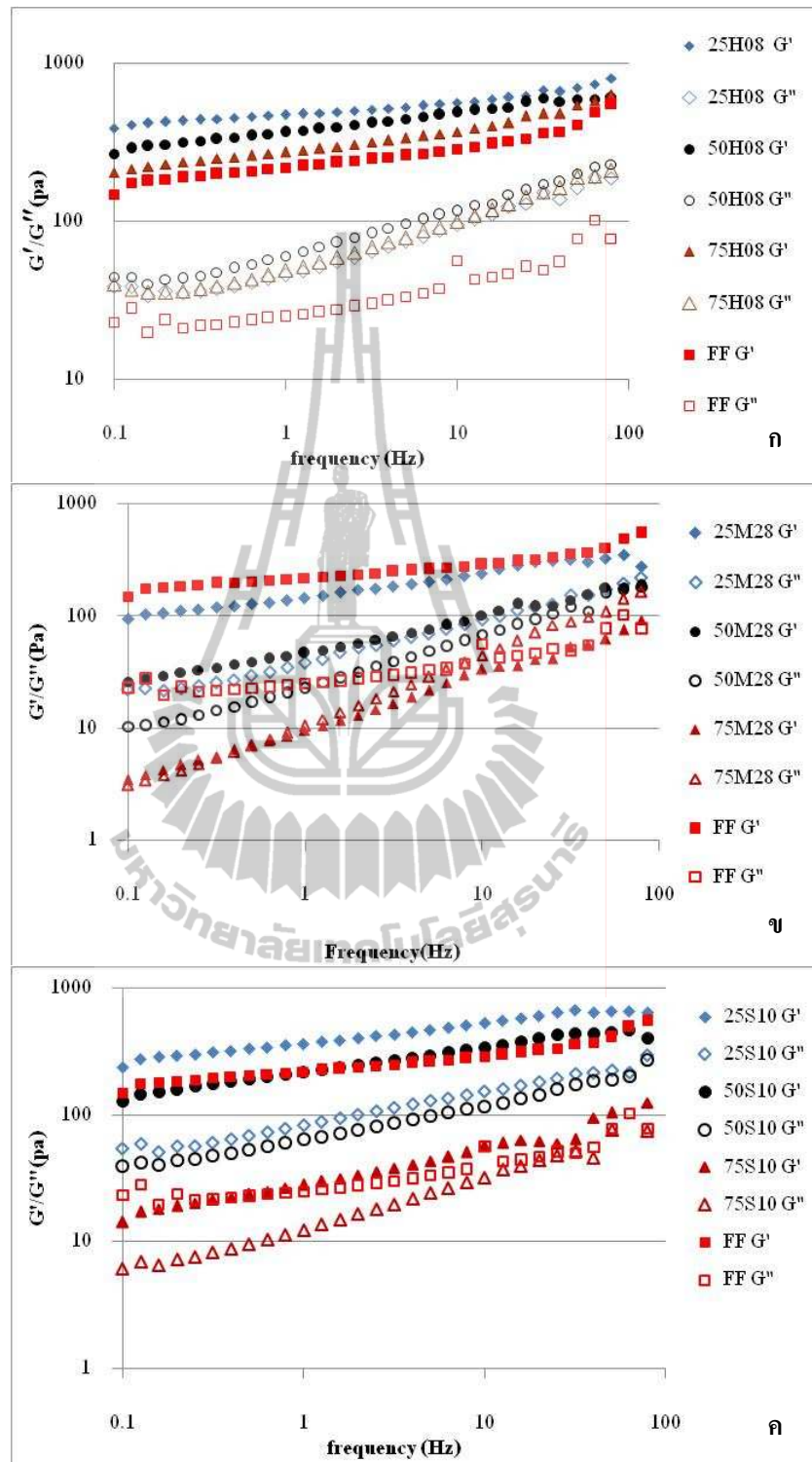
ในขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้แป้ง MD เป็นสารทดแทนไขมันทุกตัวอย่างที่ระดับการแทนที่ไขมันเท่ากัน พบว่าค่ามอดุลัสสะสมมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากแป้งตัดแปรชนิดอื่น และยังต่ำกว่า FF อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.5$ )

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติคานาวิทยากระแสของมายองเนส

ตัวอย่าง	K (Pa.s)	Flow behavior index (n)	Thixotropic (Pa/s)	Viscosity (Pa.s)	Storage modulus (Pa)
FF	43.54 ± 3.85 <sup>d</sup>	0.2850±0.021 <sup>d</sup>	6802 ± 112 <sup>b</sup>	2.663± 0.002 <sup>dc</sup>	220.15±9.12 <sup>d</sup>
25H08	79.94±3.31 <sup>g</sup>	0.2094±0.01 <sup>b</sup>	24910±4426 <sup>c</sup>	3.424± 0.186 <sup>f</sup>	458.15±19.37 <sup>g</sup>
50H08	48.93±14.2 <sup>f</sup>	0.2513±0.053 <sup>b</sup>	14835±2662 <sup>d</sup>	2.542± 0.217 <sup>d</sup>	367.78±11.82 <sup>f</sup>
75H08	29.15±1.59 <sup>c</sup>	0.3002±0.01 <sup>d</sup>	8511±506 <sup>b</sup>	1.922± 0.442 <sup>c</sup>	279.85±11.30 <sup>c</sup>
25M28	82.29±2.67 <sup>h</sup>	0.1083±0.009 <sup>a</sup>	23710±1148 <sup>c</sup>	2.628± 0.095 <sup>dc</sup>	140.40±9.92 <sup>c</sup>
50M28	13.69±2.31 <sup>b</sup>	0.4710±0.024 <sup>f</sup>	7499±584 <sup>b</sup>	1.815 ±0.163 <sup>c</sup>	46.81±7.78 <sup>b</sup>
75M28	6.70±1.17 <sup>a</sup>	0.5402±0.015 <sup>g</sup>	5816±632 <sup>ab</sup>	1.161±0.139 <sup>b</sup>	9.51±1.90 <sup>a</sup>
25S10	97.68±8.67 <sup>i</sup>	0.2423± 0.036 <sup>c</sup>	16412±805 <sup>d</sup>	4.887±0.104 <sup>g</sup>	363.88±38.29 <sup>f</sup>
50S10	51.24±2.21 <sup>c</sup>	0.2558±0.009 <sup>c</sup>	12193±603 <sup>c</sup>	2.790±0.121 <sup>c</sup>	216.05±7.18 <sup>d</sup>
75S10	6.88±2.72 <sup>a</sup>	0.4104±0.005 <sup>c</sup>	3026±1146 <sup>a</sup>	0.942±0.011 <sup>a</sup>	27.96±11.48 <sup>ab</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาค่าแทนเคลต้า (( $\tan(\delta)$ )) ที่คำนวณได้จากอัตราส่วนของมอดูลัสสูญเสียต่อมอดูลัสสะสม ( $G''/G'$ ) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงสัดส่วนของการแสดงสถานะของการเป็นวัสดุไหลหนืดต่อสถานะการยืดหยุ่น โดยตัวอย่างที่มีค่าแทนเคลต้าน้อยกว่า 1 แสดงว่าตัวอย่างแสดงลักษณะของแข็งมากกว่าของเหลว และถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าตัวอย่างแสดงลักษณะความเป็นของเหลวมากกว่า ผลการทดลองพบว่าตัวอย่าง FF, 25H08, 50H08, 75H08, และ 25S10 มีค่าแทนเคลต้าน้อยกว่า 1 และมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงความถี่ที่วัด (ข้อมูลไม่ได้แสดง) ตัวอย่าง 50S10, 75S10 และ 25M28 ค่าแทนเคลต้าแนวโน้มเข้าใกล้ 1 ที่ระดับความถี่สูง ๆ ส่วนตัวอย่าง 75M28 มีค่าแทนเคลต้าอยู่ในช่วง 0.90 ถึง 1.99 ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้วัดแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแสดงลักษณะของเหลวมากกว่าการแสดงลักษณะของแข็ง



รูปที่ 4.6 คุณสมบัติวิสโคอีลาสติกของมาของเนสสูตรไขมันต่ำ โดยวัดในโหมดของ Frequency Sweep ที่มีค่า strain ร้อยละ 0.5 สัญลักษณ์ที่บแสดงค่ามอดุลัสสะสมและ สัญลักษณ์ไปรุ่งแสดงค่ามอดุลัสสูญเสีย ที่เตรียมจากแป้ง HDP (ก), MD (ข), และ SSO (ค)

#### 4.3.6 ความสัมพันธ์ของระดับการแทนที่ไขมันจากแป้งคัดแปรแต่ละชนิดต่อคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนส

เมื่อนำคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนสที่เตรียมโดยใช้แป้งแต่ละประเภทเป็นสารทดแทนไขมัน มาวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้น  $r$  (Maruyama et al., 2006) เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการแทนที่ไขมันหรือปริมาณน้ำมันในตัวอย่างกับคุณสมบัติทางกายภาพ (ตารางที่ 4.6 ถึง 4.8) พบว่าตัวอย่างมายองเนสที่ใช้แป้ง HDP เป็นสารทดแทนไขมัน ปริมาณการแทนที่ไขมันจะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนสได้แก่ ค่าความสว่าง ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน ค่าความหนืด ค่ามอดูลัสสะสม ค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะ ค่าดัชนีความคงตัว ค่า  $n$  และ ค่า Thixotropic ส่วนขนาดอนุภาคเม็ดไขมันจะมีความสัมพันธ์กับค่าความสว่าง ค่าความหนืด ค่ามอดูลัสสะสม ค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะ ค่าดัชนีความคงตัว ค่า  $n$  และค่า Thixotropic อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.6)

คุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนสที่เตรียมโดยใช้แป้ง MD เป็นสารทดแทนไขมันพบว่า ปริมาณการแทนที่ไขมันหรือปริมาณน้ำมันมีความสัมพันธ์กับ ค่าความสว่าง ค่า  $a^*$  ค่า  $b^*$  ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน ค่าความหนืด ค่ามอดูลัสสะสม ค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะ ค่าดัชนีความคงตัว  $n$  และค่า Thixotropic ส่วนขนาดอนุภาคเม็ดไขมันจะมีความสัมพันธ์กับค่าความสว่าง ค่าความหนืด ค่ามอดูลัสสะสม ค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะ ค่าดัชนีความคงตัว ค่า  $n$  และค่า Thixotropic อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.7)

ตัวอย่างที่ใช้แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมัน พบว่าปริมาณน้ำมันมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพคือ ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน ค่าความหนืด ค่ามอดูลัสสะสม ค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะ ค่าดัชนีความคงตัว ค่า  $n$  และค่า Thixotropic ส่วนขนาดอนุภาคเม็ดไขมันจะมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืด ค่ามอดูลัสสะสม ค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะ ค่าดัชนีความคงตัวและค่า Thixotropic อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.8)

จากการใช้สมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ไขมันด้วยแป้งคัดแปรและขนาดอนุภาคเม็ดไขมันกับคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนส พบว่าระดับการแทนที่ไขมันด้วยแป้งคัดแปรและขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนสสูตรไขมันต่ำ แตกต่างกันตามชนิดของแป้งคัดแปรที่นำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมัน

ตารางที่ 4.6 Pearson's correlation coefficients ของมายองเนสที่ใช้แป้ง HDP เป็นสารทดแทนไขมันกับคุณสมบัติทางกายภาพ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. ระดับการแทนที่ (%)	1										
2. L*	0.896**	1.000									
3. a*	0.438	0.578	1.000								
4. b*	-0.155	-0.350	-0.948***	1.000							
5. เม็ดไขมัน (µm)	0.999***	0.894**	0.459	-0.175	1.000						
6. ความหนืด (Pa.s)	-0.998***	-0.879**	-0.450	0.169	-0.998***	1.000					
7. มอดูลัสสะสม (Pa)	0.955***	-0.879**	-0.268	-0.01	-0.949***	0.94***	1.000				
8. ความแน่นเนื้อ(g)	-0.996***	-0.883**	-0.429	0.150	-0.992***	0.995***	0.987***	1.000			
9. การยืดเกาะ(g.s)	-0.823**	-0.729*	-0.566	0.370	-0.830**	0.826**	0.858**	0.839**	1.000		
10. ดัชนีความคงตัว (Pa.s)	-0.965***	-0.771*	-0.222	-0.078	-0.961***	0.966***	0.938***	0.966***	-0.747*	1.000	
11. Flow behavior index (n)	0.850**	0.642*	-0.082	0.376	0.838**	-0.842**	-0.833**	-0.857**	0.583	-0.947***	1.000
12. Thixotropic (Pa/s)	-0.924***	-0.776*	-0.431	0.173	-0.918***	0.932***	0.903**	0.952***	-0.798**	0.915***	-0.809**

หมายเหตุ : \*\*\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ( $p \leq 0.0$ )

\*\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ( $p \leq 0.01$ )

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.7 Pearson's correlation coefficients ของมายองเนสที่ใช้แป้ง MD เป็นสารทดแทนไขมันกับคุณสมบัติทางกายภาพ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. ระดับแทนที่(%)	1.000										
2. L*	-0.926**	1.000									
3. a*	-0.752*	0.942**	1.000								
4. b*	0.895**	-0.997***	-0.963*	1.000							
5. เม็ดไขมัน ( $\mu\text{m}$ )	0.845*	-0.752*	-0.567	0.717	1.000						
6. ความหนืด (Pa.s)	-0.996***	0.891**	0.694	-0.854*	-0.839*	1.000					
7. มอดูลัสสะสม (Pa)	0.948**	0.768*	0.518	-0.717	-0.791*	0.972***	1.000				
8. ความแน่นเนื้อ (g)	-0.962**	0.794*	0.548	-0.746*	-0.868**	0.980***	0.989**	1.000			
9. การยืดเกาะ(g.s)	-0.965***	0.888**	0.701	-0.86*	-0.901**	0.959**	0.903***	0.948**	1.000		
10.ดัชนีความคงตัว (Pa)	-0.889**	0.672	0.391	-0.615	-0.778*	0.934**	0.987***	0.979***	-0.877*	1.000	
11. Flow behavior index (n)	0.923**	-0.711	-0.442	0.657	0.796*	-0.952**	-0.993***	-0.988***	0.898**	-0.998***	1.000
12.Thixotropic (Pa/s)	-0.909**	0.687	0.413	-0.633	-0.791*	0.940**	0.981***	0.981***	-0.897**	0.996***	-0.997***

หมายเหตุ : \*\*\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ( $p \leq 0.001$ )  
 \*\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ( $p \leq 0.01$ )  
 \* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.8 Pearson's correlation coefficients ของมายองเนสที่ใช้แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมันกับคุณสมบัติทางกายภาพ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.ระดับแทนที่ (%)	1.000										
2. L*	0.031	1.000									
3. a*	0.145	0.898**	1.000								
4. b*	0.117	-0.906**	-0.958**	1.000							
5. เม็ดไขมัน ( $\mu\text{m}$ )	-0.944**	0.176	-0.013	-0.249	1.000						
6. ความหนืด (Pa.s)	-0.997***	-0.040	-0.174	-0.093	0.934**	1.000					
7. มอดูลัสสะสม (Pa)	0.999***	-0.025	-0.154	-0.113	0.952**	0.997***	1.000				
8. ความแน่นเนื้อ(g)	-0.985***	0.057	-0.014	-0.237	0.947**	0.97***	0.981***	1.000			
9. การยืดเกาะ(g.s)	-0.99***	0.011	-0.141	-0.111	0.952**	0.987***	0.990***	0.974***	1.000		
10.ดัชนีความคงตัว (Pa)	-0.997***	-0.085	-0.206	-0.058	0.927**	0.998***	0.997***	0.971***	-0.985***	1.000	
11. Flow behavior index (n)	0.964***	-0.197	-0.116	0.372	-0.950**	-0.951**	-0.962**	-0.987***	0.95**	-0.944**	1.000
12.Thixotropic (Pa/s)	-0.977***	0.172	0.046	-0.300	0.967***	0.968***	0.977***	0.987***	-0.980***	0.962**	-0.99***

หมายเหตุ : \*\*\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ( $p \leq 0.001$ )

\*\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ( $p \leq 0.01$ )

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ( $p \leq 0.05$ )



#### 4.4 อิทธิพลความเข้มข้นของแป้งดัดแปรในมายองเนสสูตรไขมันต่ำต่อคุณสมบัติทางกายภาพ

การผลิตมายองเนสเชิงการค้าอาจมีความจำเป็นต้องใช้สารทดแทนไขมันที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันที่ต้องการทดแทน ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต้องการ ความเสถียรของผลิตภัณฑ์ และข้อจำกัดของต้นทุนในการผลิตของผู้ผลิต จากการทดลองพบว่าการเตรียมแป้ง HDP ที่ร้อยละ 8 แป้ง SSO ที่ร้อยละ 10 และแป้ง MD ที่ร้อยละ 28 ให้คุณสมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่ที่ใกล้เคียงกับมายองเนสสูตร FF ที่มีระดับการแทนไขมันเพียงร้อยละ 50 เท่านั้น ดังนั้นการทดลองในขั้นตอนนี้จึงใช้วิธีเพิ่มความเข้มข้นของแป้งดัดแปรในการใช้เป็นสารทดแทนไขมันในมายองเนส เพื่อศึกษาความสามารถเชิงหน้าที่ของแป้งแต่ละชนิดในการเป็นสารทดแทนไขมัน และเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตมายองเนสที่มีการใช้แป้งดัดแปรที่ระดับการแทนที่สูง ๆ ให้เทียบเท่าหรือมากกว่าที่ระดับการแทนที่ไขมันร้อยละ 75 ของปริมาณไขมันเต็ม จากรูปที่ 4.1 แป้ง HDP มีความสามารถละลายน้ำเย็นได้สูงสุดที่ร้อยละ 10 และมีความหนืด 7.73 พาสคาล.วินาที แป้ง MD สามารถละลายและสร้างเจลที่ให้ลักษณะอ่อนนุ่มได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 และมีความหนืด 5.942 พาสคาล.วินาที ในขณะที่แป้ง SSO ความเข้มข้นร้อยละ 15 มีความหนืด 1.642 พาสคาล.วินาที และจากหัวข้อ 4.3.5 เมื่อนำข้อมูลไปเขียนสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นพบว่าปริมาณการแทนที่ไขมันจะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน ค่าความสว่าง ค่าความหนืด ค่ามอดูลัสสะสม ค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะ และค่าดัชนีความคงตัว (ตารางที่ 4.6 ถึง 4.8) ดังนั้นในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของแป้งดัดแปรแต่ละชนิด ต่อลักษณะทางกายภาพของมายองเนสในขั้นตอนนี้ จึงเลือกพิจารณาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของแป้ง โดยแยกพิจารณาแป้งดัดแปรแต่ละชนิดต่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน ค่าความแน่นเนื้อ ดัชนีความคงตัวและมอดูลัสสะสม (ตารางที่ 4.9)

##### 4.4.1 ผลของความเข้มข้นของแป้งดัดแปรต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมัน

รูปที่ 4.7 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันที่วัดจากเครื่องวัด Laser particle size analyzer ที่ใช้แป้งดัดแปร HDP เป็นสารทดแทนไขมัน โดยเปรียบเทียบการกระจายตัวของเม็ดไขมันที่ใช้แป้งที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน

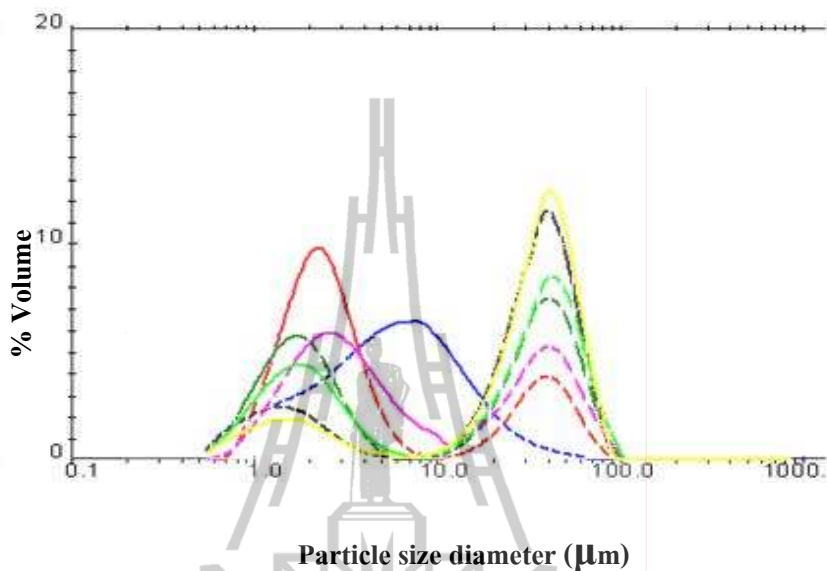
ผลของความเข้มข้นของแป้งดัดแปรต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่างมายองเนสที่ใช้ HDP เป็นสารทดแทนไขมันพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแป้งมีผลทำให้ค่า  $D_{43}$  มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณของเม็ดแป้งในระบบ แต่เมื่อพิจารณากราฟการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่างมายองเนสพบว่า ที่ระดับการแทนที่ไขมันร้อยละ 25 และเพิ่มความเข้มข้นของแป้งจากร้อยละ 8

เป็นร้อยละ 10 มีผลทำให้กราฟการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันช่วงแรก มีขนาดของอนุภาคกว้างขึ้นดังรูปที่ 4.7 ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของแป้งหรือเพิ่มเม็ดแป้งในระบบอิมัลชัน ทำให้การเคลื่อนที่ของอิมัลซิไฟเออร์เพื่อไปล้อมจับรอบอนุภาคเม็ดไขมันช่วงแรก ความหนืดของเฟสต่อเนื่องที่สูงขึ้นอาจทำให้ประสิทธิภาพของแรงที่ใช้เพื่อลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในขั้นตอนการโฮโมจิไนซ์ลดลงด้วย และนอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของเม็ดแป้ง HDP อาจส่งเสริมให้เกิด Depletion flocculation ของเม็ดไขมันและส่งเสริมให้อนุภาคเม็ดไขมันที่ผ่านกระบวนการลดขนาดแล้วเกิดการรวมตัวกันอีกครั้งได้ดีขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวจึงอาจส่งผลให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันของตัวอย่าง 25H10 มีขนาดใหญ่กว่า 25H08 เห็นได้จากกราฟการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันที่กว้างขึ้น ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการแทนที่ไขมันร้อยละ 50 และ 75 ซึ่งในระบบมีความเข้มข้นของน้ำมันน้อยกว่า ทำให้โอกาสที่อนุภาคเม็ดไขมันที่ผ่านการลดขนาดแล้วมาชนกันในระหว่างกระบวนการโฮโมจิไนซ์มีน้อยกว่า จึงส่งผลให้การกลับมารวมตัวกันของอนุภาคเม็ดไขมันมีน้อยตามไปด้วย ดังนั้นปริมาณเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นจึงไม่มีผลต่อการกระจายตัวของเม็ดไขมันในตัวอย่างที่มีการแทนที่ไขมันด้วยแป้ง HDP ที่ร้อยละ 50 และ 75

ส่วนตัวอย่างที่ใช้ MD เป็นสารทดแทนไขมันพบว่าค่า  $D_{43}$  มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ MD ที่ระดับการแทนที่ไขมันเท่ากัน (ตารางที่ 4.9) เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของเจลแป้ง MD จะทำให้ระบบมีความหนืดสูงขึ้น ส่งผลให้อนุภาคเม็ดไขมันที่ผ่านกระบวนการลดขนาดแล้ว มีโอกาสการชนกันและกลับมารวมตัวกันอีกครั้งได้น้อยกว่าตัวอย่างที่มีความหนืดต่ำกว่า (McClements, 2005) ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของเจลแป้ง MD จึงเป็นการเพิ่มความเสถียรให้กับอนุภาคเม็ดไขมันในระบบมายองเนส และการที่โครงสร้างเจลของแป้ง MD ไม่ทนต่อแรงเฉือนในระหว่างการโฮโมจิไนซ์ ส่งผลให้การเพิ่มความเข้มข้นของ MD ไม่ทำให้ความหนืดของระบบสูงมากเกินไป ที่จะขัดขวางประสิทธิภาพของเครื่องโฮโมจิไนเซอร์เหมือนในกรณีของแป้ง HDP

กรณีการใช้แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมันพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้ง SSO ที่ระดับการแทนที่ไขมันเท่ากันมีผลทำให้อนุภาคเม็ดไขมันมีแนวโน้มลดลง ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.9) โดยสามารถอธิบายได้ 2 เหตุผลคือ อาจเป็นผลมาจากแป้ง SSO มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งการเพิ่มปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์จะทำให้สามารถลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันได้ดีกว่าและช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมันได้ดีกว่า จึงทำให้ง่ายต่อการลดขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในระหว่างขั้นตอนการโฮโมจิไนซ์ อีกเหตุผลอาจเกิดจากการเพิ่มความเข้มข้นของแป้ง SSO เป็นการเพิ่มความหนืดให้กับเฟสต่อเนื่อง ซึ่งทำให้ลดโอกาสที่อนุภาคเม็ดไขมันจะมาชนกันและเกิดการรวมตัวกัน ด้วยเหตุนี้ตัวอย่างมายองเนสที่ใช้แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมันจึงมีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่เล็กลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งและการเพิ่มระดับการแทนที่ไขมันเป็นการเพิ่ม

สัดส่วนของอิมัลซิไฟเออร์ต่อน้ำมันให้เพิ่มขึ้น จึงทำให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันมีขนาดเล็กลงตามไปด้วย



รูปที่ 4.7 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่างมาของเนส (—) FF, (—) 25H08, (—) 50H08, (—) 75H08, (—) 25H10, (—) 50H10, (—) 75H10

#### 4.4.2 ผลของความเข้มข้นของแป้งตัดแปรต่อเนื้อสัมผัส

จากผลการทดลองพบว่าค่าความแน่นเนื้อในตัวอย่างมาของเนสมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแป้ง และชนิดของแป้งตัดแปร โดยค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างมาของเนสมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้ง ยกเว้นตัวอย่าง 25H08 ที่มีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่า 25H10 แม้ตัวอย่าง 25H08 มีความเข้มข้นของแป้ง HDP ต่ำกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากตัวอย่าง 25H10 มีขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่าตัวอย่าง 25H08 (รูปที่ 4.7) จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ตัวอย่าง 25H10 มีความแน่นเนื้อต่ำกว่าตัวอย่าง 25H08 ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการแทนที่ไขมันร้อยละ 50 และ 75 ด้วยแป้ง HDP ค่าความแน่นเนื้อสูงขึ้นตามความเข้มข้นของแป้ง ส่วนการใช้แป้ง MD เป็นสารทดแทนไขมันพบว่าค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย ( $p > 0.05$ ) ตามความเข้มข้นของแป้ง

ตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมันพบว่าที่ระดับการแทนที่ไขมันเท่ากัน ค่าความแน่นเนื้อสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.9) เมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อ การเพิ่มความเข้มข้นของแป้ง SSO อาจทำให้มีแป้งส่วนที่ละลายอยู่ในเฟสต่อเนื่องสร้างพันธะไฮโดรโฟบิกระหว่างสายโพลีเมอร์ที่อยู่ในเฟสต่อเนื่อง และ/หรือระหว่างโพลีเมอร์ที่ล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมันกับโพลีเมอร์ที่อยู่ในเฟสต่อเนื่อง และ/หรือการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิก

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของมายองเนสที่ใช้แป้งตัดแปรที่มีความเข้มข้น และมีระดับการแทนที่ไขมันแตกต่างกัน

ชนิดของแป้ง	ระดับการแทนที่ (%)	ความเข้มข้นของแป้ง (%)	D <sub>43</sub> ( $\mu$ m)	ความแน่นเนื้อ (g)	ดัชนีความคงตัว (Pa.s)	มอดูลัสสะสม (Pa)	<sup>1</sup> น้ำมันที่แยกออก (%)
HDP	25	8	12.38± 0.47 <sup>a</sup>	60.06± 1.43 <sup>c</sup>	79.94±3.31 <sup>c</sup>	458.15 ±19.37 <sup>c</sup>	0
		10	16.77±1.06 <sup>b</sup>	50.14 ±3.45 <sup>b</sup>	ND	449.00 ±39.23 <sup>c</sup>	46.02 ± 1.79 <sup>b</sup>
	50	8	21.55± 1.24 <sup>c</sup>	50.98± 0.61 <sup>b</sup>	48.93±14.2 <sup>b</sup>	367.78± 11 82 <sup>b</sup>	0
		10	23.69 ±0.50 <sup>d</sup>	63.21± 5.28 <sup>c</sup>	ND	707.30 ±36.20 <sup>d</sup>	10.85 ± 2.17 <sup>a</sup>
	75	8	31.29± 0.51 <sup>e</sup>	41.74 ±0.15 <sup>a</sup>	29.15±1.59 <sup>a</sup>	279.85± 11.30 <sup>a</sup>	0
		10	34.55± 1.63 <sup>f</sup>	62.76± 0.37 <sup>e</sup>	ND	696.55 ±11.78 <sup>d</sup>	0
MD	25	28	7.89± 0.02 <sup>bc</sup>	34.54 ±0.52 <sup>d</sup>	82.29±2.67 <sup>d</sup>	140.40± 9.92 <sup>d</sup>	44.68 ± 1.54 <sup>c</sup>
		30	6.65 ±0.014 <sup>a</sup>	36.43 ±1.24 <sup>d</sup>	112.7±5.43 <sup>c</sup>	224.11 ±41.53 <sup>c</sup>	43.68 ± 0.84 <sup>c</sup>
	50	28	8.88± 1.15 <sup>cd</sup>	23.74± 1.26 <sup>bc</sup>	13.69±2.31 <sup>b</sup>	46.81 ±7.78 <sup>b</sup>	27.05 ± 2.30 <sup>b</sup>
		30	7.32± 0.11 <sup>ab</sup>	26.11± 1.28 <sup>c</sup>	20.13±1.32 <sup>c</sup>	56.58 ±4.83 <sup>c</sup>	20.68 ± 9.07 <sup>b</sup>
	75	28	9.71± 0.08 <sup>d</sup>	19.80 ±0.01 <sup>a</sup>	6.698±1.17 <sup>a</sup>	9.51 ±1.90 <sup>a</sup>	12.67± 0.31 <sup>a</sup>
		30	9.28± 0.19 <sup>d</sup>	21.33 ±1.91 <sup>ab</sup>	11.74±3.15 <sup>b</sup>	20.60± 5.99 <sup>ab</sup>	10.52 ±0.82 <sup>a</sup>
SSO	25	10	4.25 ±0.24 <sup>d</sup>	70.82 ±0.90 <sup>d</sup>	97.68 ±8.67 <sup>c</sup>	363.88± 38.29 <sup>c</sup>	0
		15	2.95± 0.66 <sup>bc</sup>	96.69± 3.85 <sup>f</sup>	177.1±5.91 <sup>f</sup>	398.23 ±11.06 <sup>f</sup>	0
	50	10	3.56 ±0.01 <sup>cd</sup>	52.70 ±3.84 <sup>c</sup>	51.24±2.21 <sup>c</sup>	216.05± 7.18 <sup>c</sup>	0
		15	2.69±0.26 <sup>bc</sup>	82.68 ±3.73 <sup>c</sup>	67.42±2.27 <sup>d</sup>	320.28± 7.60 <sup>d</sup>	0
	75	10	2.16 ±0.56 <sup>b</sup>	21.74 ±1.67 <sup>a</sup>	6.885±2.72 <sup>a</sup>	27.96 ±11.48 <sup>a</sup>	0
		15	1.66± 0.39 <sup>a</sup>	34.09 ±1.36 <sup>b</sup>	17.93±1.56 <sup>b</sup>	69.71± 8.74 <sup>b</sup>	0

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเปรียบกับแป้งตัดแปรชนิดเดียวกัน

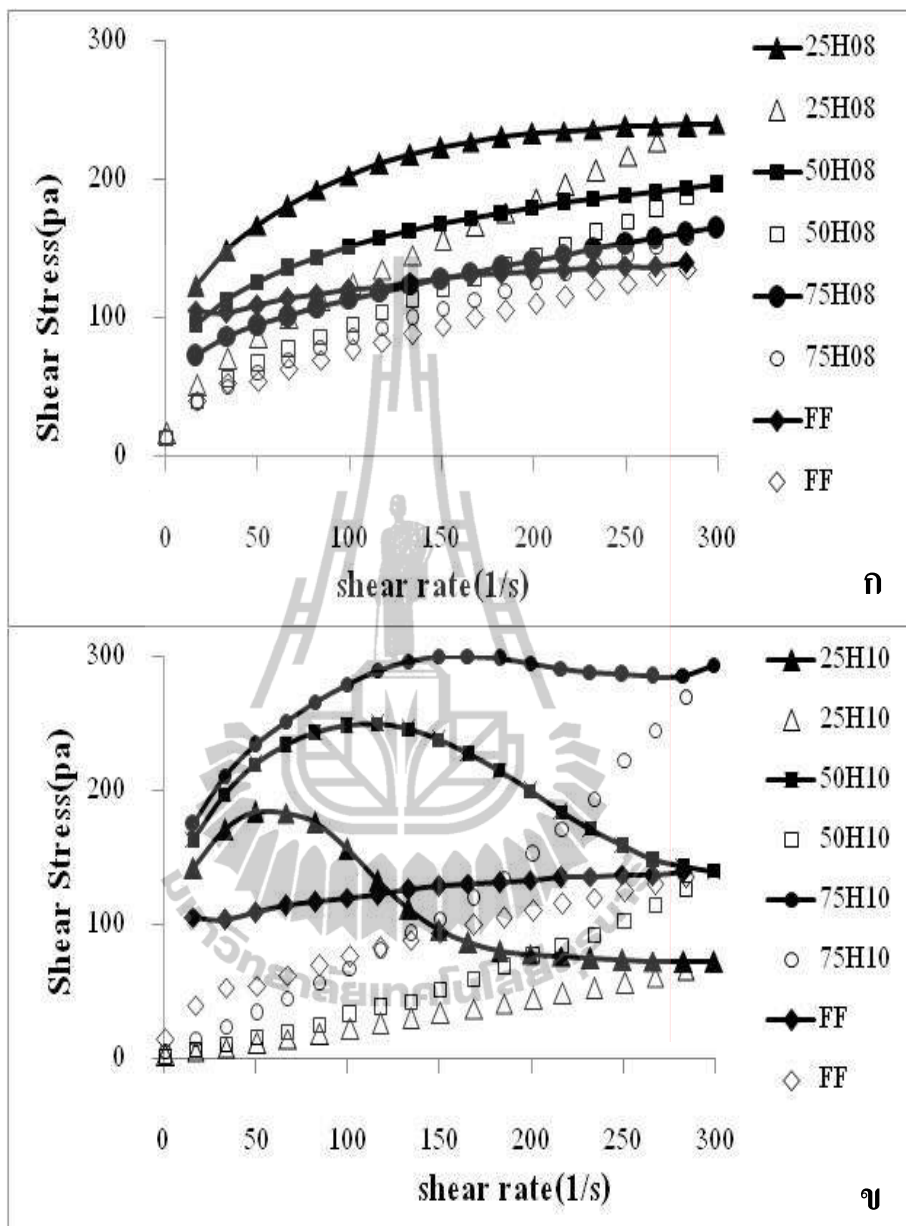
ND ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ และ <sup>1</sup> ปริมาณน้ำมันที่แยกออกด้วยวิธีการปั่นเหวี่ยง

ระหว่างโพลีเมอร์ที่ล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมันด้วยตัวเอง และการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งมีผลทำให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันเล็กลง จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ค่าความแน่นเนื้อมีค่าสูงขึ้น

#### 4.4.3 ผลของความเข้มข้นของแป้งตัดแปรต่อคุณสมบัติด้านวิทยากระแส

จากตารางที่ 4.9 พบว่าที่ระดับการแทนที่ไขมันเท่ากันการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งตัดแปรมีผลทำให้ค่า K สูงขึ้น ยกเว้นกรณีที่ใช้แป้ง HDP เป็นสารทดแทนไขมัน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 10 มีผลทำให้ปริมาณเม็ดแป้งในเฟสต่อเนื่องมีค่าสูงขึ้น และเมื่อวัดพฤติกรรมการไหลของตัวอย่างมาของเนสที่แทนที่ไขมันด้วย HDP เข้มข้นร้อยละ 10 พบว่าขณะใส่แรงเฉือนให้กับตัวอย่างที่ระดับหนึ่ง ค่าความเค้นเฉือนลดลงอย่างรวดเร็ว อธิบายได้ว่าขณะให้แรงเฉือนแก่ตัวอย่าง ตัวอย่างจะไหลไปในทิศทางเดียวกับแรงที่ใส่ แล้วเม็ดแป้งที่มากเกินพอในเฟสต่อเนื่องจะส่งเสริมให้เกิด Hydrodynamic flow ในระหว่างที่ใส่แรงเฉือนให้กับตัวอย่าง ทำให้อนุภาคเม็ดไขมันเกิด Depletion flocculation และรวมตัวกันแยกชั้นไขมันออกมา (Barnes, 1995) ชั้นของน้ำมันที่เกิดขึ้นจะทำตัวเสมือนสารหล่อลื่นระหว่างหัววัดส่งผลให้ค่าแรงเค้นลดลงอย่างรวดเร็วเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Slipping effect (Barnes, 1995) จะเห็นได้จากลักษณะของกราฟรูปที่ 4.8 ของตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง HDP ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันสูงแรงเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็วกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันต่ำ โดยตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันสูงทำให้โอกาสที่อนุภาคเม็ดไขมันจะมาชนกันและเกิดการรวมตัวกันและแยกเฟสเป็นไขมันมีมากกว่าในตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่า ดังนั้นตัวอย่างที่เกิดปรากฏการณ์ Slipping effect จึงไม่สามารถใช้กฎของ Power's law model มาวิเคราะห์ผลได้ แต่ปรากฏการณ์ดังกล่าวไม่พบในตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง SSO กับ MD

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเข้มข้นของแป้งตัดแปรกับคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติก พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งตัดแปรมีแนวโน้มทำให้ค่ามอดูลัสสะสมเพิ่มขึ้นในทุกชนิดของแป้งที่ระดับการแทนที่ไขมันเท่ากัน (ตาราง 4.9) ยกเว้นค่ามอดูลัสสะสมของตัวอย่าง 25H08 มีค่าสูงกว่า 25H10 ซึ่งมีความสอดคล้องกับความแน่นเนื้อที่วัดได้จากเครื่องวัดเนื้อสัมผัสที่ได้อธิบายเหตุผลไว้ก่อนหน้านี้แล้ว ตัวอย่างมาของเนสที่เตรียมจากแป้ง MD ที่ระดับการแทนที่ไขมันร้อยละ 50 และ 75 การเพิ่มความเข้มข้นไม่มีผลต่อการเพิ่มค่ามอดูลัสสะสม ( $p > 0.05$ ) สำหรับตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง SSO พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นมีผลทำให้ค่ามอดูลัสสะสมสูงขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) แต่ทั้งนี้ค่ามอดูลัสสะสมของตัวอย่าง 75S10 และ 75S15 ยังมีค่าต่ำกว่าตัวอย่าง FF ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณไขมันที่น้อยกว่าจึงทำให้คุณสมบัติทางด้านวิสโคอีลาสติกของมาของเนสมีลักษณะเป็นของเหลวมากกว่า



รูปที่ 4.8 พฤติกรรมการไหลของมายองเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 (ก) และ 10 (ข) สัญลักษณ์ที่บแสดงค่า up flow สัญลักษณ์โปร่งแสดงค่า down flow

#### 4.4.4 ผลของความเข้มข้นของแป้งตัดแปรต่อความเสถียร

โดยปกติในตัวอย่างอิมัลชันที่มีปริมาณไขมันสูง อนุภาคเม็ดไขมันจะอยู่อย่างใกล้ชิดกันมาก จนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงทำให้อิมัลชันมีความเสถียร แต่เมื่อปริมาณน้ำมันลดลงมีผลให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันมีค่าสูงและตัวอย่างมีความหนืดลดลง ส่งผลทำให้อนุภาคเม็ดไขมันเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นในการผลิตมายองเนสสูตรไขมันต่ำจึงมักมีการเติมสารเพิ่มความข้น



หนัก เช่น สารประเภทไบโอโพลีเมอร์เข้าไปในระบบอิมัลชัน เพื่อให้ระบบอิมัลชันมีความหนืดสูงขึ้นและลดการเคลื่อนที่ของอนุภาคเม็ดไขมัน ส่งผลให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียร

เมื่อนำตัวอย่างที่ผลิตในสัปดาห์แรกไปทดสอบการแยกชั้นของไขมันด้วยเทคนิคการปั่นเหวี่ยงตามวิธีการของ Mun และคณะ (2009) ผลการทดลองพบว่าตัวอย่าง FF มีปริมาณน้ำมันที่แยกออกมาร้อยละ 58.07 และตัวอย่างที่ใช้แป้ง MD เป็นสารทดแทนไขมันสูตร 25M28, 50M28 และ 75M28 พบการแยกของไขมันออกจากตัวอย่างหลังปั่นเหวี่ยงมีค่าร้อยละ 44.68, 27.05 และ 12.67 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้ง MD เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 พบว่าปริมาณการแยกของน้ำมันลดลงเพียงเล็กน้อย ( $p > 0.05$ )

ตัวอย่างมาของเนสที่ผลิตโดยใช้แป้ง HDP ที่มีความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 8 ทุกตัวอย่างไม่พบการแยกชั้นของไขมันหลังการปั่นเหวี่ยง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งเป็นร้อยละ 10 พบว่ามีการแยกชั้นของไขมันในตัวอย่าง 25H10 และ 50H10 ร้อยละ 46.02 และ 10.85 ตามลำดับ ซึ่งกรณีนี้เป็นผลมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งจะทำให้เม็ดแป้งไปเบียดอนุภาคของเม็ดไขมันมากขึ้นเมื่อได้รับแรงจากการปั่นเหวี่ยงจะทำให้เม็ดแป้งที่มากเกินไปเกิดการเคลื่อนที่หนีแรงศูนย์กลางและทำให้อนุภาคเม็ดไขมันเกิดการ Depletion flocculation ได้มากขึ้นจึงเกิดการชนกันและรวมตัวกันได้มากกว่าตัวอย่างที่ใช้แป้ง HDP ที่ระดับการแทนที่ต่ำกว่า

ตัวอย่างที่ผลิตโดยใช้แป้ง SSO ไม่พบการแยกชั้นของไขมัน ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่างที่เตรียมโดย SSO มีขนาดเล็กและแป้ง SSO สามารถช่วยให้อนุภาคเม็ดไขมันมีความเสถียรด้วยแรง Steric enhancement (Tesch et al., 2002)

จากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำมันที่แยกออกจากตัวอย่างหลังการปั่นเหวี่ยงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำมันที่มีในมาของเนส การเพิ่มระดับแทนที่ไขมันทำให้มีปริมาณน้ำมันแยกออกจากตัวอย่างลดลง โดยตัวอย่าง FF มีน้ำมันแยกออกมาในปริมาณที่สูงเนื่องจากในระบบไม่มีสารเพิ่มความข้นหนืด เมื่อใส่แรงกระทำที่เป็นแรงปั่นเหวี่ยงจึงทำให้อนุภาคเม็ดไขมันเกิดการรวมตัวกันได้ง่าย ทำให้ระบบไม่มีความเสถียร (Mun et al., 2009)

#### 4.5 อิทธิพลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของมายองเนส

##### 4.5.1 ผลของระยะเวลาการเก็บต่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน

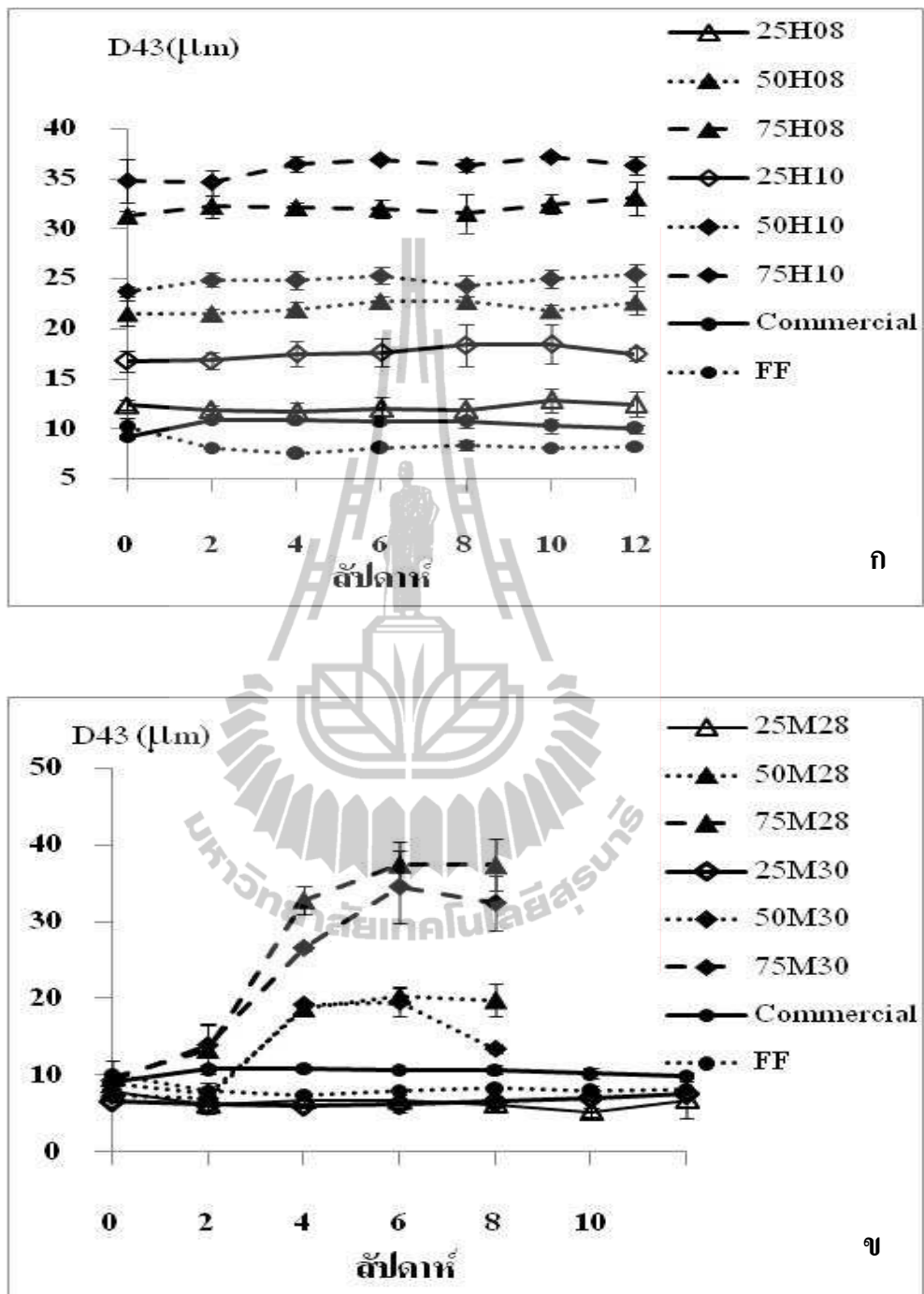
รูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า  $D_{43}$  ในมายองเนสตลอดระยะเวลาการเก็บ 3 เดือน เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคเม็ดไขมันในตัวอย่างมายองเนสเชิงการค้าที่ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทอินโนเฟรช จำกัด จ.นครนายก ที่มีไขมันร้อยละ 40 หรือเทียบเท่ากับสูตรที่มีการแทนที่ไขมันที่ระดับร้อยละ 50 ผลการทดลองพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า  $D_{43}$  ของมายองเนสเชิงการค้าตลอดการเก็บ 3 เดือน



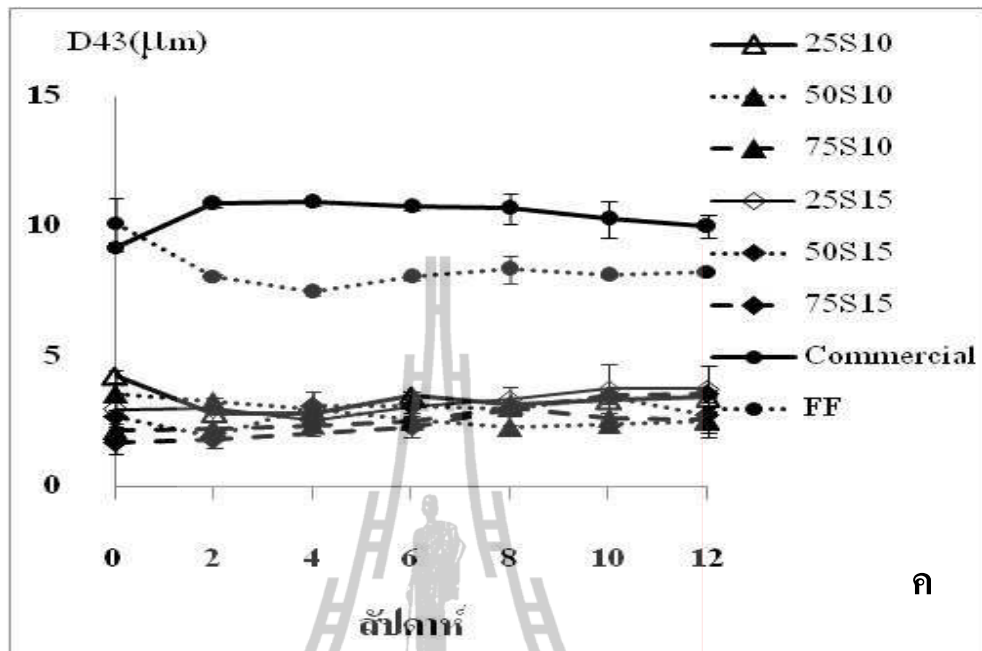
ตัวอย่างมาของเนสที่ใช้แป้ง HDP (รูปที่ 4.9 ก) เป็นสารทดแทนไขมันทุกตัวอย่างไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ  $D_{43}$  ตลอดการเก็บ 3 เดือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่จากรูปกราฟแสดงการกระจายของขนาดเม็ดไขมัน (รูปที่ 4.10) พบว่าตัวอย่าง 75H08 ที่ระยะเวลาจัดเก็บ 3 เดือนขนาดอนุภาคเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเป็นผลมาจากการเกิดการรวมตัวของอนุภาคเม็ดไขมันให้ใหญ่ขึ้นเนื่องจากตัวอย่าง 75H08 มีความหนืดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างมาของเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP ด้วยกันจึงทำให้เม็ดไขมันเคลื่อนที่สะดวกและเกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคเม็ดไขมันที่ใหญ่ขึ้นได้ง่าย การที่ค่า  $D_{43}$  ในตัวอย่าง 75H08 ที่เตรียมจากแป้ง HDP มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการจัดเก็บอาจเป็นผลมาจากเม็ดแป้ง HDP ที่มีในระบบมีปริมาณสูงจึงไม่ส่งผลต่อค่า  $D_{43}$  ในตัวอย่างในภาพรวม

ตัวอย่างมาของเนสที่ใช้ MD (รูปที่ 4.9 ข) เป็นสารทดแทนไขมันพบว่าค่า  $D_{43}$  มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา โดยอัตราการเพิ่มขนาดอนุภาคเม็ดไขมันจะขึ้นกับอัตราการแทนที่ไขมัน และพบว่าความเข้มข้นของแป้ง MD ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของค่า  $D_{43}$  ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนั้นอาจเป็นผลมาจากกระบวนการคืนสภาพของแป้งหรือการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ของ MD ที่เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายอะไมโลสด้วยกันเอง หรือกับบริเวณที่เป็นเส้นตรงในสายอะไมโลเพคตินเกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โดยในระหว่างสร้างโครงสร้างจะผลักอนุภาคเม็ดไขมันออกนอกโครงสร้าง 3 มิติ แล้วส่งเสริมให้เกิด Depetion-flocculation ของอนุภาคเม็ดไขมัน ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างที่มีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในระบบมาก จะมีโอกาสเกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วกว่าตัวอย่างที่มีอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในระบบน้อย ดังนั้นตัวอย่างที่มีระดับการแทนที่ไขมันสูง ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันจะเพิ่มเร็วกว่าตัวอย่างที่มีระดับการแทนที่ไขมันต่ำ

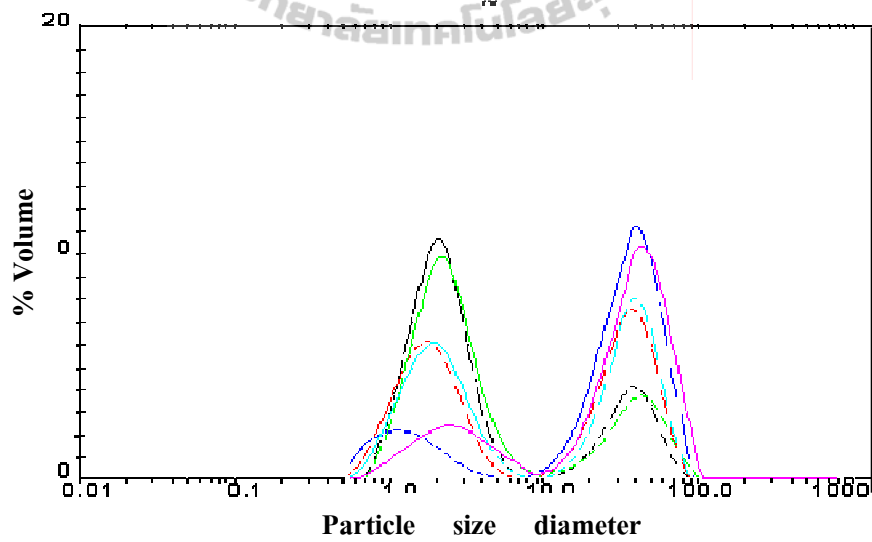
ส่วนกรณีค่า  $D_{43}$  ของตัวอย่างมาของเนสที่ใช้แป้ง SSO (รูปที่ 4.9 ค) เป็นสารทดแทนไขมันไม่พบการเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคเม็ดไขมันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งแสดงให้เห็นว่า SSO ช่วยให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียรป้องกันการรวมกันของอนุภาคเม็ดไขมันได้



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเม็ดไขมันที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ของตัวอย่างมาของเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP (ก), MD (ข), และ SSO (ค) เปรียบเทียบกับตัวอย่างมาของเนสสูตรไขมันเต็มและสูตรการค้า



รูปที่ 4.9 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเม็ดไขมันตลอดการเก็บรักษาของตัวอย่างมาของเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP (ก) MD (ข) และ SSO (ค) เปรียบเทียบกับตัวอย่างมาของเนสสูตรไขมันเต็มและสูตรการค้า



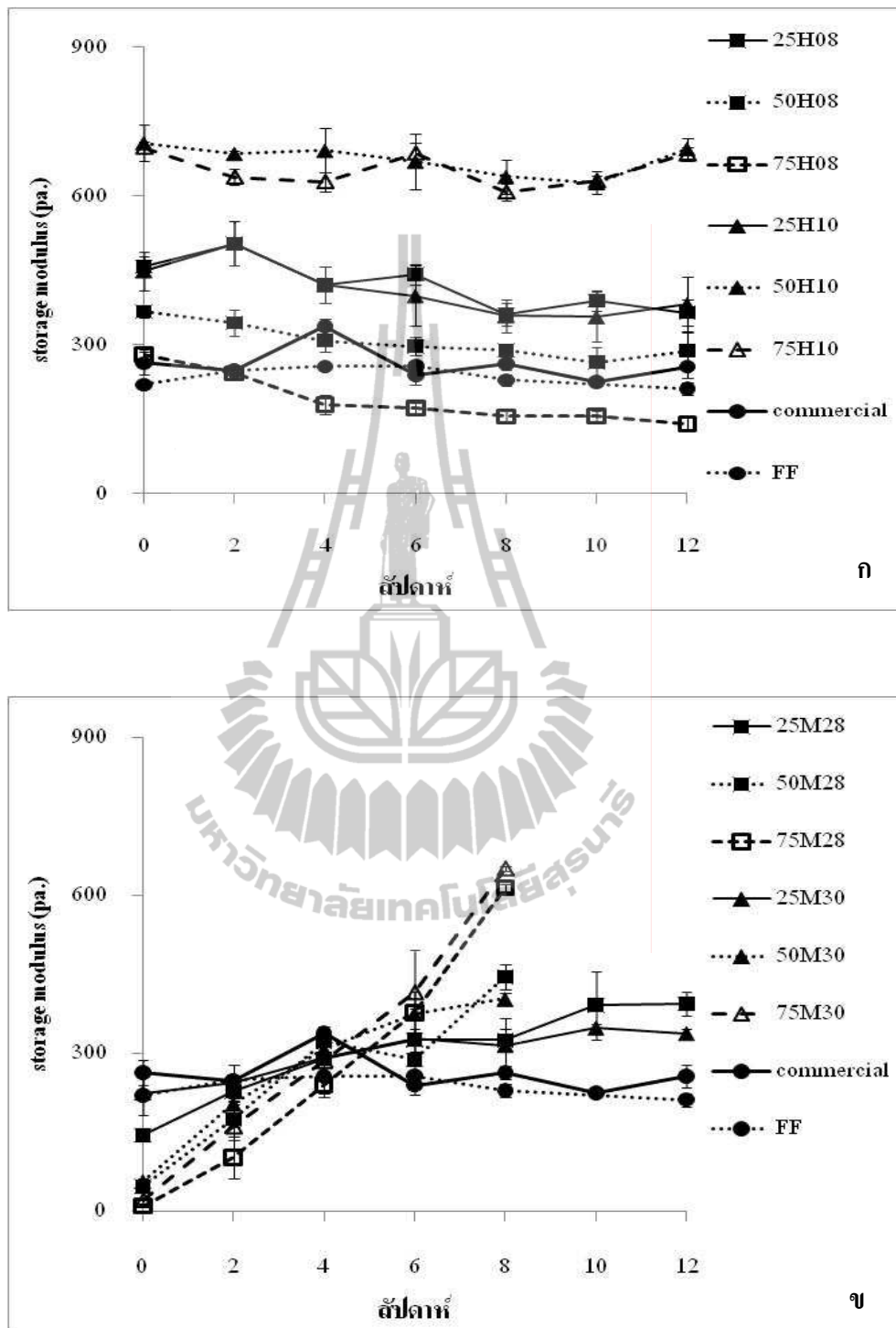
รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันในมาของเนสสูตรไขมันต่ำที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน (—) 25H08, (—) 50H08, (—) 75H08 แสดงการกระจายตัวของเม็ดไขมันที่ระยะเวลาเริ่มต้น (—) 25H08, (—) 50H08, (—) 75H08 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันที่ระยะเวลาการเก็บ 12 สัปดาห์

#### 4.5.2 ผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติก

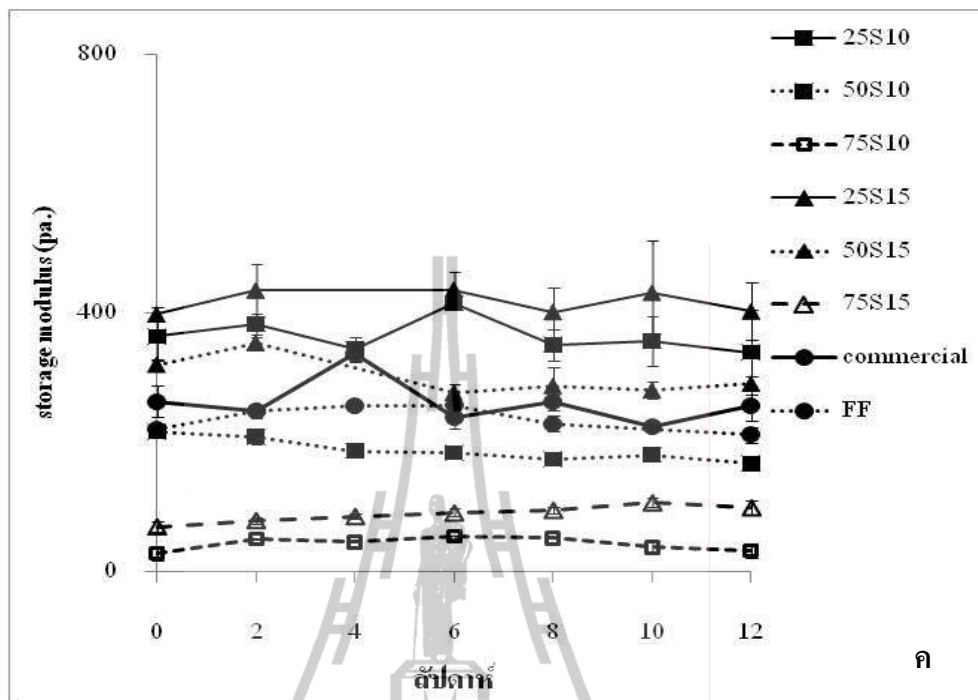
ผลของระยะเวลาการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติก (รูปที่ 4.11) โดยตัวอย่าง FF และตัวอย่างสูตรการค้ำมีค่ามอดุลัสสะสมก่อนข้างคงที่ตลอด 12 สัปดาห์ ส่วนตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง HDP พบว่าค่ามอดุลัสสะสมส่วนใหญ่ก่อนข้างคงที่ ยกเว้นตัวอย่าง 75H08 และตัวอย่าง 50H08 ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสสะสมค่อนข้างมาก โดยตัวอย่าง 75H08 ค่ามอดุลัสสะสมลดลงจาก 279.85 เป็น 140.73 พาสคาล ในสัปดาห์ที่ 12 และตัวอย่าง 50H08 มีค่าลดลงจาก 367 เป็น 288 พาสคาลในสัปดาห์ที่ 12 โดยเป็นผลมาจากอนุภาคเม็ดไขมันเกิดการรวมตัวกันทำให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น โดยจะเห็นได้ชัดเจนในตัวอย่าง 75H08 (รูปที่ 4.10) สัปดาห์แรกเส้นกราฟสีน้ำเงิน และสัปดาห์ที่ 12 เส้นกราฟสีชมพู) ที่พบว่าค่าการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันพิกแรก มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บที่ระยะเวลา 12 จึงส่งผลให้ค่ามอดุลัสสะสมมีค่าลดลง (Langton et al., 1999; Marutama et al., 2006; Worrasinchai et al., 2006)

ตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง MD มีค่ามอดุลัสสะสมเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในตัวอย่างที่มีการแทนที่ไขมันสูง ซึ่งอธิบายได้ว่าในกรณีการใช้ MD เป็นสารทดแทนไขมัน อะไมโลส อะไมโลเพคติน ที่กระจายอยู่ทั่วไปในระบบจะเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโพลีเมอร์เกิดเป็นโครงสร้างเจล (Chronakis, 1998) ทำให้ตัวอย่างมีค่ามอดุลัสสะสมสูงขึ้น Biliaderis (1992) รายงานว่าเจลของ MD เป็นระบบที่ไม่เสถียร โดยจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่ามอดุลัสสะสมมีค่าสูงขึ้น

ส่วนตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจาก SSO เป็นสารทดแทนไขมันทุกตัวอย่างไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่ามอดุลัสสะสม ซึ่งเป็นผลมาจากแป้งดังกล่าวมีความสามารถในการรักษาความเสถียรทำให้อนุภาคเม็ดไขมันไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงส่งผลให้คุณสมบัติด้านวิสโคอีลาสติกมีความเสถียรด้วย



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสสะสมของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ที่เตรียมจากแป้ง HDP (ก), MD (ข) และ SSO (ค) เปรียบเทียบกับ FF และมายองเนสสูตรการค้า ที่ความถี่ 1 เฮิร์ต และ กำหนดให้ค่า Strain ร้อยละ 0.5

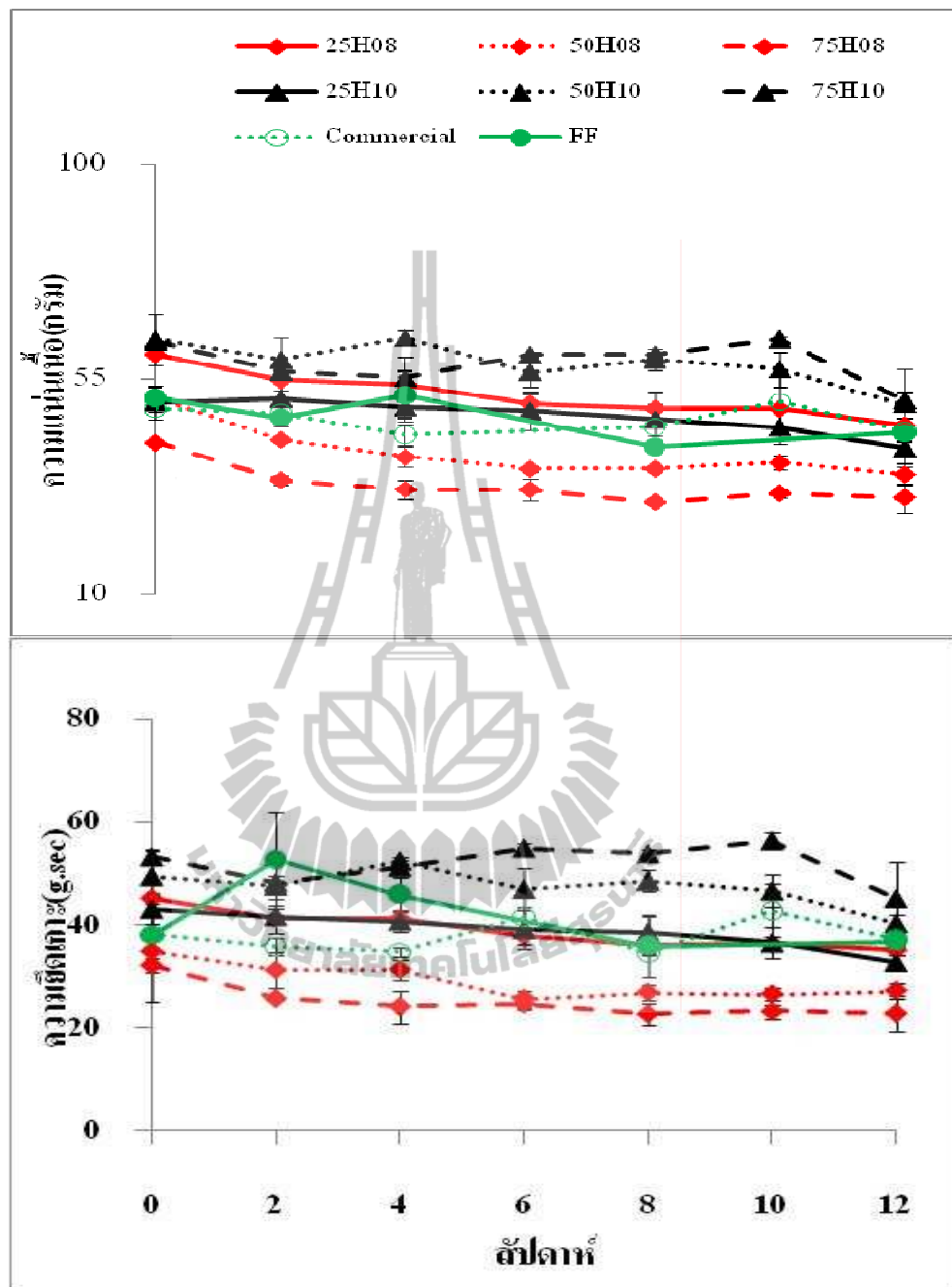


รูปที่ 4.11 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสที่สะสมของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ที่เตรียมจากแป้ง HDP (ก), MD (ข) และ SSO (ค) เปรียบเทียบกับ FF และ มายองเนสสูตรการค้า ที่ความถี่ 1 เฮิร์ต และ ค่าความเครียดร้อยละ 0.5

#### 4.5.3 ผลของระยะเวลาการเก็บต่อเนื้อสัมผัส

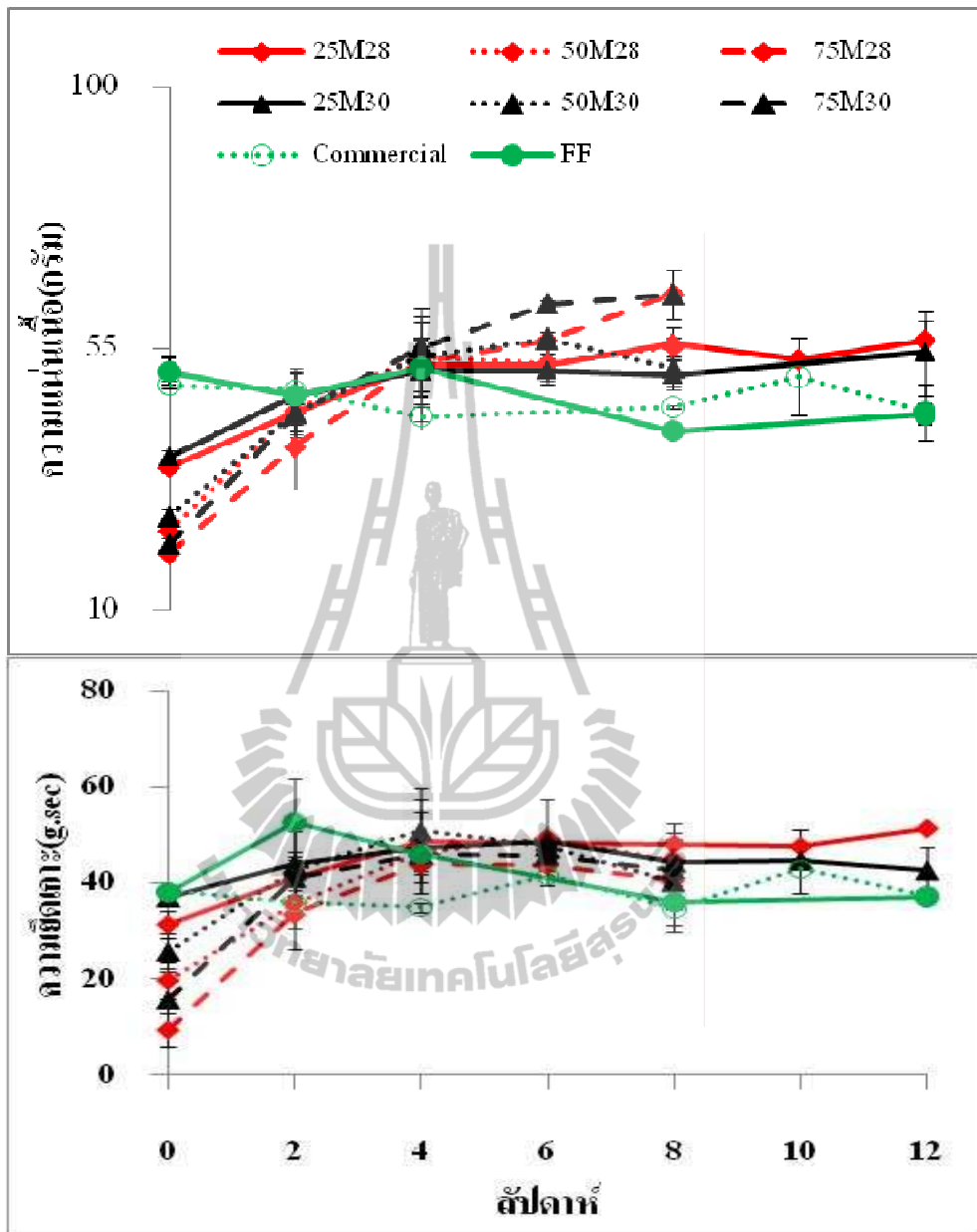
ตัวอย่างสูตรทางการค้าและตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง HDP และแป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมันพบว่าค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะมีการลดลงของเพียงเล็กน้อย ( $p > 0.05$ ) (รูปที่ 4.12 และ 4.14) ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ Worrasinchai และคณะ (2006) และ Santipanichwong และคณะ (2007) โดยคาดว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลมาจากการเกิดการเกาะกลุ่มและรวมตัวกันของอนุภาคเม็ดไขมันขนาดเล็กที่มีในระบบ (Paraskevopoulou, Kiosseoglou, Alevisopoulos and Kasapis, 1999) จึงทำให้ค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บ

ในขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้ MD เป็นสารทดแทนไขมันมีค่าความแน่นเนื้อและการยึดเกาะโดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาการเก็บ 1 สัปดาห์ (รูปที่ 4.13) ซึ่งเป็นผลจากการเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของอะไมโลสทำให้เกิดการสร้างเป็นโครงสร้าง 3 มิติโดยที่ค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ โดยการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Yang และ Xu (2007)

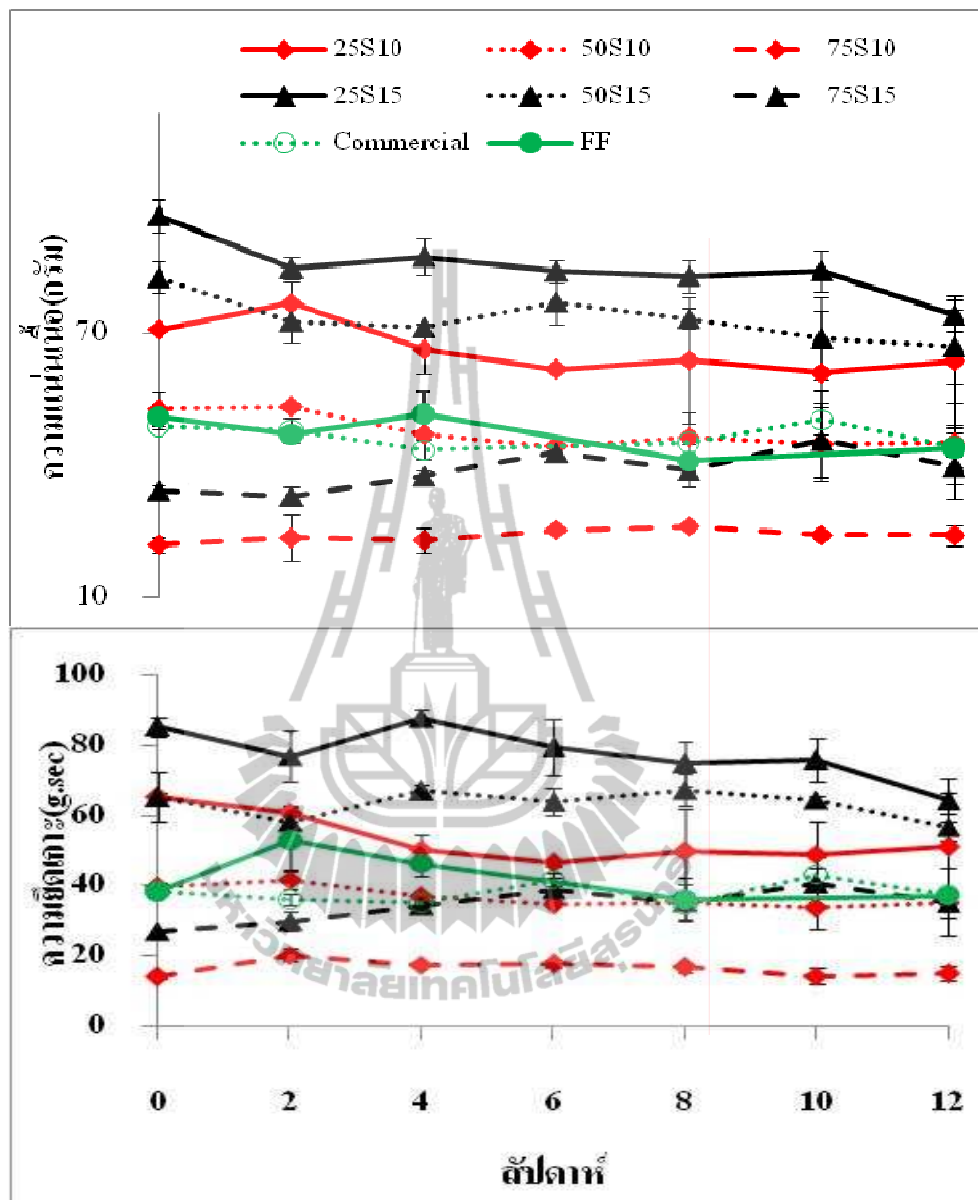


รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อและค่าการยืดเกาะของตัวอย่างของเนสที่เตรียมจาก แป้ง HDP ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ





รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อและค่าการยืดเกาะของตัวอย่างของเนสที่เตรียมจาก แป้ง MD ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ



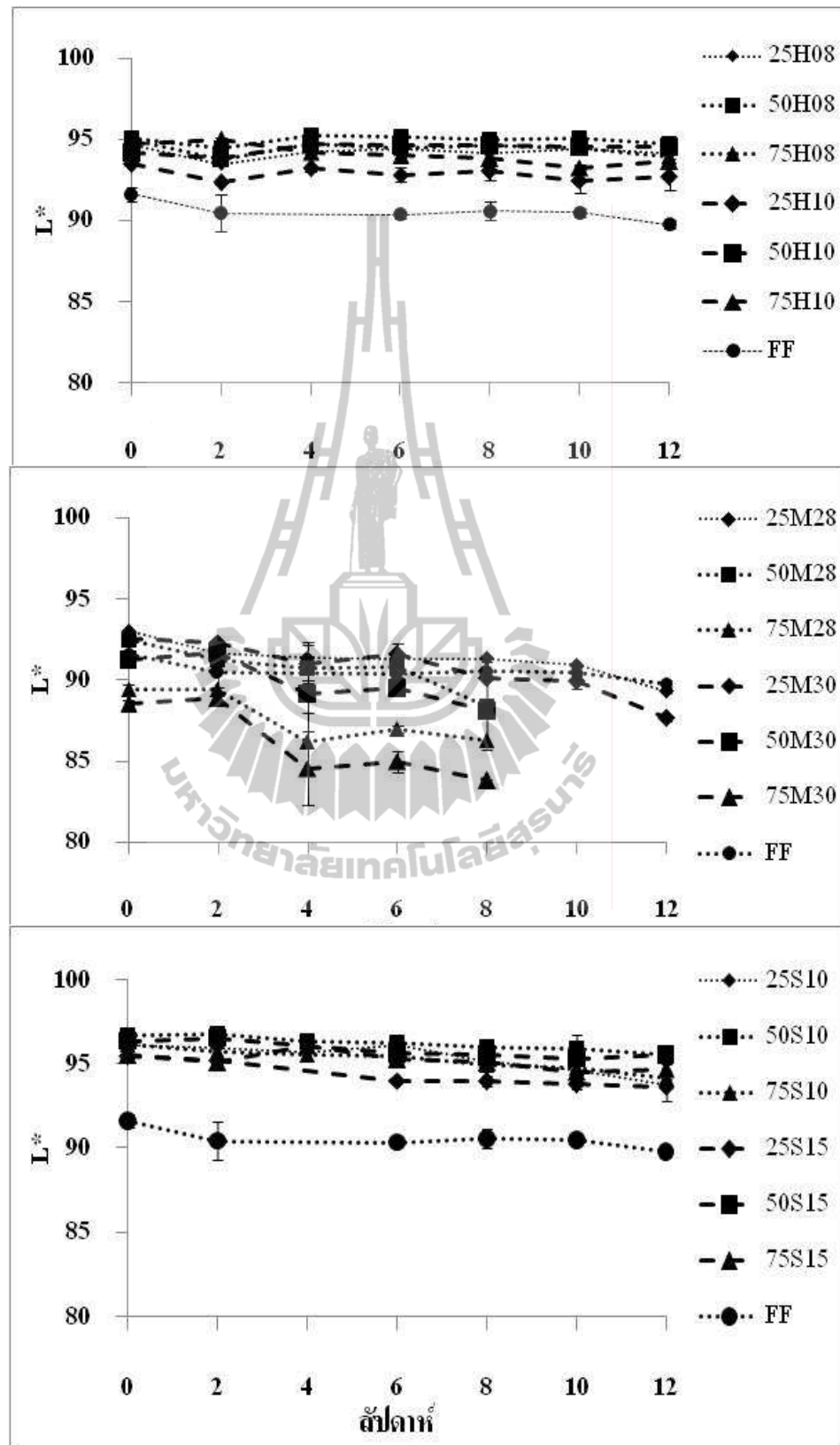
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อและค่าการยืดเกาะของตัวอย่างมาของเนสที่เตรียมจาก SSO ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ

#### 4.5.4 ผลของระยะเวลาการเก็บต่อสี

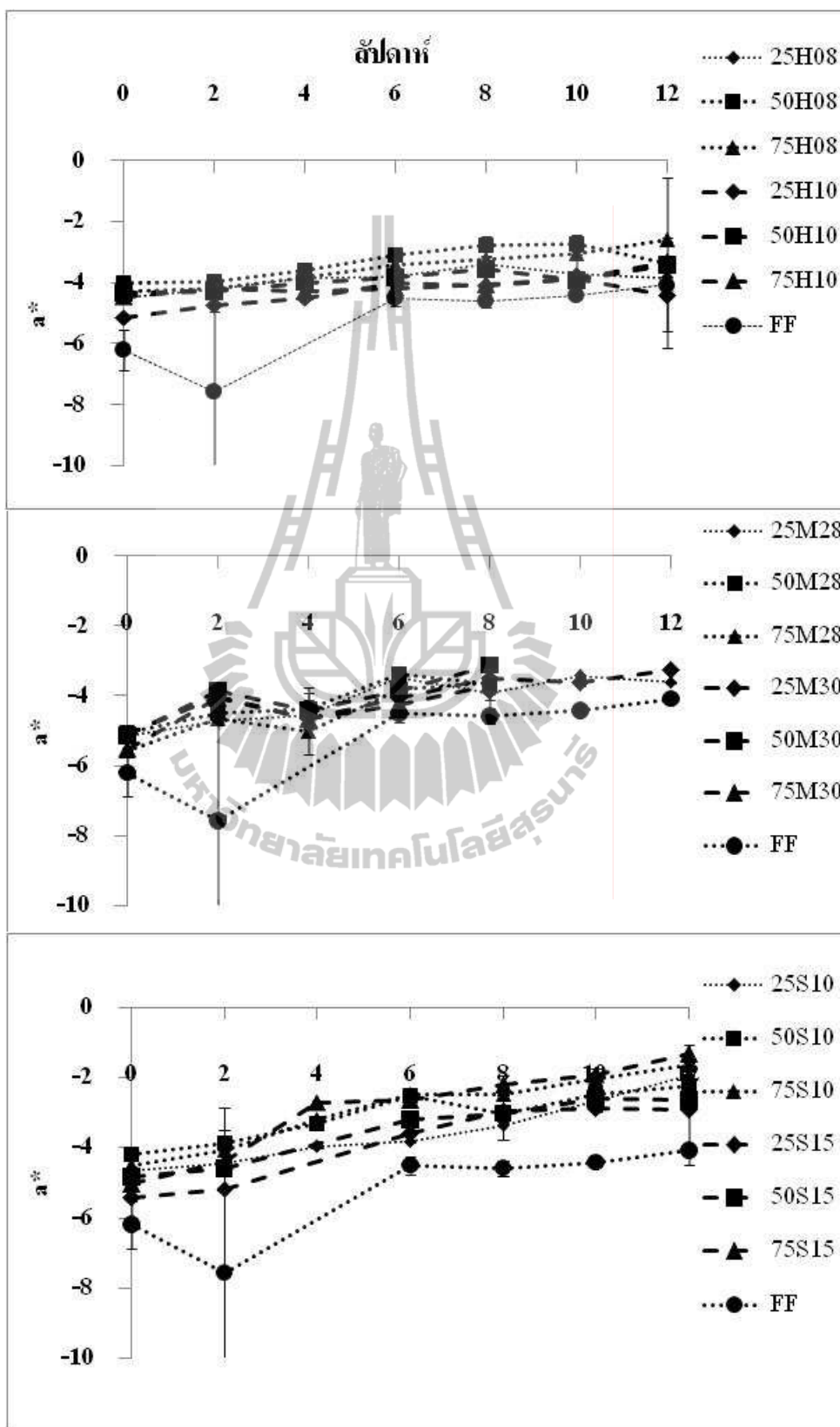
สีของมายอนเนสเป็นผลมาจากปริมาณไขมัน ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน และจากรงควัตถุที่มีในไข่แดง เช่น ลูทีน และเบต้า-เคโรทีน เป็นต้น โดยค่า  $L^*$  จะสูงเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคเม็ดไขมันสูง ในขณะที่ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  จะให้ผลตรงกันข้ามเนื่องจากการสะท้อนกลับของคลื่นแสงจะทำให้ค่าความเข้มของสีอ่อนลง (Chantrapornchai, Clydesdale and McClements, 1999; McClements and Demetriades, 1998; Santipanichwong et al., 2007; Worrasinchai et al., 2006) แต่การเก็บรักษาอาจส่งผลให้ค่าสีของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไปได้ (รูปที่ 4.15 ถึง 4.18) จากการทดลองพบว่าตัวอย่างที่เตรียมจาก HDP และ SSO มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $L^*$  เพียงเล็กน้อยในขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมจาก MD มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $L^*$  ค่อนข้างมาก (รูปที่ 4.15) โดยพบการเปลี่ยนแปลงค่า  $L^*$  สูงตามระดับการแทนที่ไขมัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าขนาดอนุภาคเม็ดไขมันของตัวอย่างที่เตรียมจาก MD มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาจัดเก็บ จึงส่งผลต่อการสะท้อนกลับของคลื่นแสงที่ใช้วัดค่าสี ทำให้ค่า  $L^*$  มีค่าลดลง โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวไม่พบในตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง HDP และ SSO

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีรวม ( $\Delta E$ ) พบว่าทุกตัวอย่างมีค่า  $\Delta E$  แนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าสีของตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง HDP และ SSO เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เป็นหลัก (รูปที่ 4.16 ถึง 4.17)

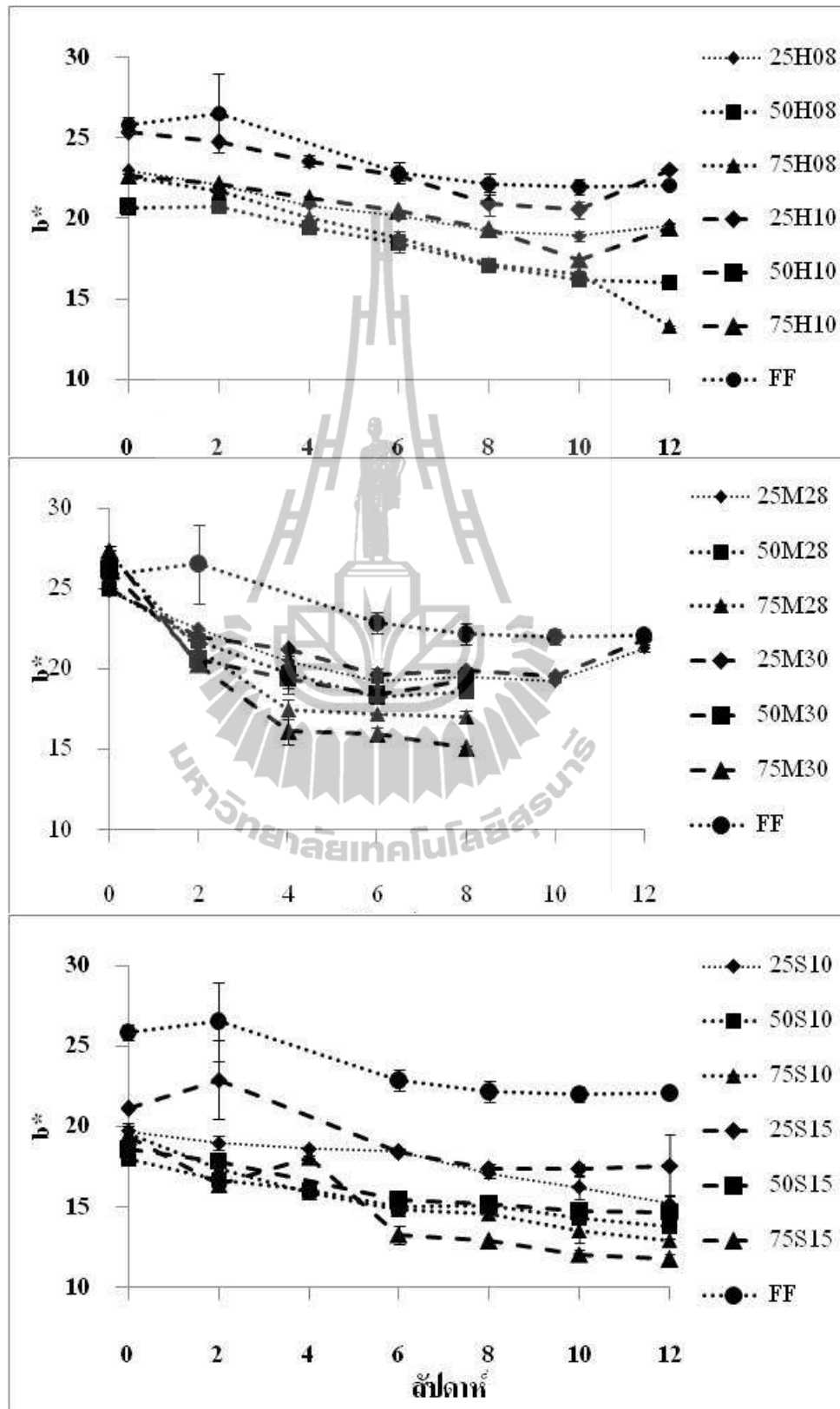
และเมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\Delta E$  พบว่าตัวอย่างที่มีระดับการแทนที่ไขมันสูงจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า  $\Delta E$  ได้เร็วกว่าตัวอย่างที่มีอัตราการแทนที่ไขมันต่ำ โดยการเปลี่ยนแปลงค่า  $\Delta E$  ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่า  $b^*$  ที่เป็นผลมาจากรงควัตถุลูทีน และเบต้า-เคโรทีน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลืองในไข่แดงเกิดการเสียดสีสภาพอันเนื่องมาจากแสงในระหว่างการเก็บ (Aman, Schieber and Carle, 2005; Lennersten and Lingnert, 2000; Santipanichwong et al., 2007) โดย รงควัตถุทั้งสองมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (Borel, Grolier, Armand, Partier, Lafont and Lairon, 1996) ที่ละลายในไขมัน ดังนั้นตัวอย่างที่มีไขมันน้อยจะพบการเปลี่ยนแปลงของค่า  $b^*$  สูงกว่าตัวอย่างที่มีไขมันมากกว่า เนื่องมาจากมีรงควัตถุเหลือในเฟสต่อเนื่องสูงกว่า ทำให้มีโอกาสที่ถูกทำลายโครงสร้างจากแสงในระหว่างการเก็บได้มากกว่าส่งผลให้ค่า  $\Delta E$  สูงตามไปด้วย ในขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมจากแป้ง MD การเปลี่ยนแปลงค่า  $\Delta E$  เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของ  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ร่วมกัน



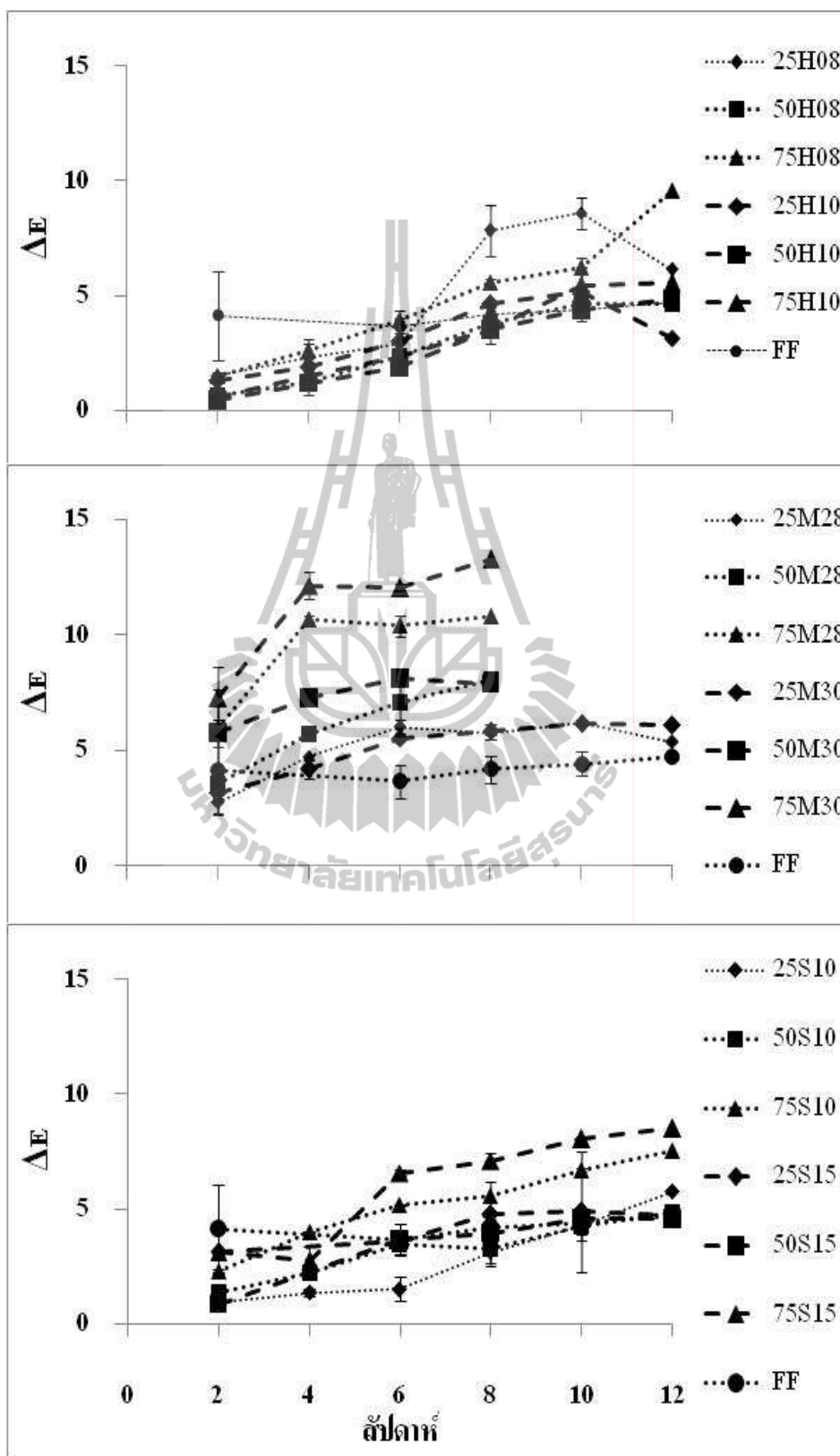
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่า L\* ของตัวอย่างมาของเนสที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  ของตัวอย่างมายองเนสที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่า  $b^*$  ของตัวอย่างมาของเนสที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ



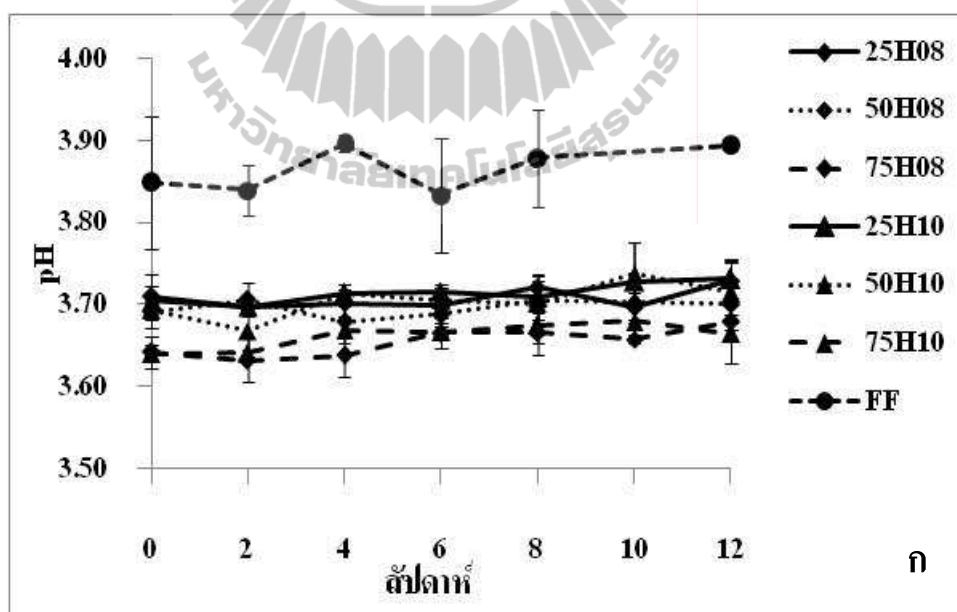
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่า  $\Delta E$  ของตัวอย่างมาของเนสที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ



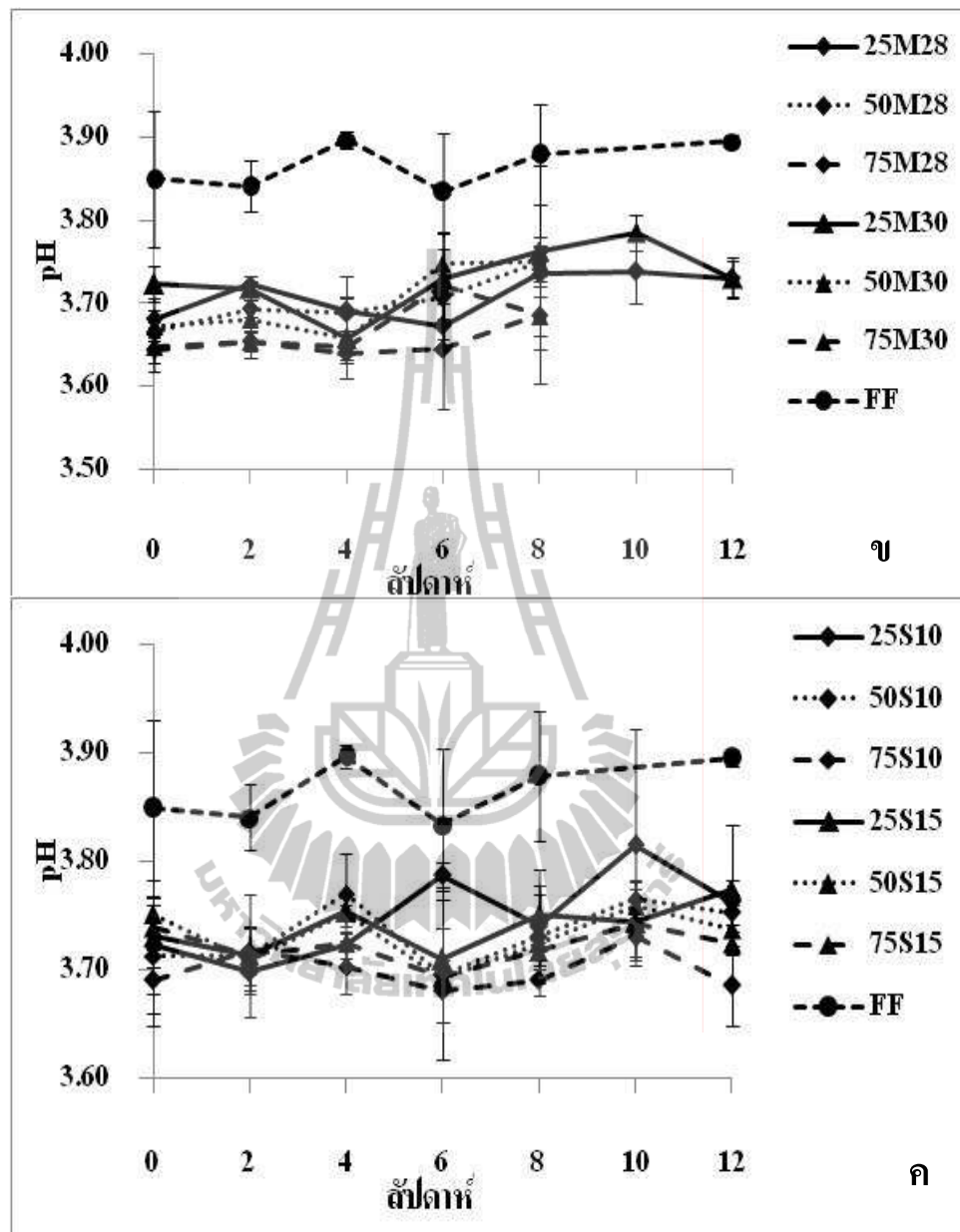
#### 4.5.5 ผลของระยะเวลาการเก็บต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างมาของเนสที่ระยะเวลาเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง 3.6 ถึง 3.9 จากผลการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ตลอดระยะเวลาการเก็บ 12 สัปดาห์ (รูปที่ 4.19) พบว่าตัวอย่างมาของเนสส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ก่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บ 12 สัปดาห์

มาของเนสถือเป็นอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำ ซึ่งมีข้อดีคือเป็นการยับยั้งและป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ต่ำกว่า 4.4 จะสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ (Smittle, 2000) และการที่ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เปลี่ยนแปลงอาจมีเป็นเหตุผลที่ไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งตรงกันข้ามกับการทดลองของ Worrasinchai และคณะ (2006) พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างที่ใช้เบต้า-กลูเคนเป็นสารทดแทนไขมันมีค่าลดลงหลังจากที่จัดเก็บที่อุณหภูมิห้องผ่านไป 2 เดือน ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ประเภทกรดแลคติกซึ่งสามารถผลิตกรดออกมาจึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าต่ำลง โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง จากการทดลองดังกล่าวจะลดลงมากในตัวอย่างที่มีการแทนที่ไขมันสูง



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ที่เตรียมจากแป้ง HDP (ก), MD (ข) และ SSO (ค)



รูปที่ 4.19 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ ที่เตรียมจาก แป้ง HDP (ก), MD (ข) และ SSO (ค)

#### 4.5.6 ผลของระยะเวลาการเก็บต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน

ผลการวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันโดยแสดงผลในรูปแบบ TBA reactivity ที่บ่งบอกถึงค่าการดูดซับคลื่นแสงที่ 532 นาโนเมตร (รูปที่ 4.20 ถึง 4.22) พบว่าทุกตัวอย่างมีค่า TBA reactivity เพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา ยกเว้นตัวอย่างที่เตรียมจาก SSO โดยตัวอย่างที่ใช้แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมันมีปริมาณ TBA reactivity เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 4 ถึง 6

หลังจากนั้นค่า TBA reactivity มีแนวโน้มคงที่ ซึ่งอธิบายได้ว่าในช่วงแรกของการเก็บรักษาค่า TBA reactivity สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว นั้น เป็นผลมาจากออกซิเจนที่มีในเฟสต่อเนื่องอาจอยู่ในรูปของ ฟองอากาศที่เกิดขึ้นในระหว่างการโฮโมจิไนซ์ กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันอิสระที่มีในเฟสต่อเนื่อง เกิดการสร้างและการแตกสลายของสารประกอบเพอร็อกไซด์ให้เป็น สารประกอบจำพวก อัลดีไฮด์ คีโตน หรือแอลกอฮอล์ โดยสารมาโลนัลดีไฮด์ เป็นสารประกอบหลักที่เกิดจากการแตกสลายของสารเพอร็อกไซด์ จึงมักนิยมใช้เป็นสารหลักที่ใช้ตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งมาโลนัลดีไฮด์ทำปฏิกิริยากับสารประกอบไทโอบาร์บิทรูริคจะให้สารสีชมพูที่มีค่าการดูดซับคลื่นแสงที่ 532 นาโนเมตร เมื่อสารประกอบเพอร็อกไซด์แตกสลายหมด ปริมาณมาโลนัลดีไฮด์จะคงที่ เนื่องจากออกซิเจนหรืออนุมูลอิสระไม่มีโอกาสเคลื่อนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่อยู่ในเฟสกระจายได้ เพราะมีแป้ง SSO ล้อมจับรอบ ๆ อนุภาคเม็ดไขมันที่เป็นเกราะป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรืออนุมูลอิสระเคลื่อนที่ไปยังพื้นผิวของอนุภาคเม็ดไขมันได้ ดังนั้นจึงไม่เกิดการสร้างและการแตกสลายสารประกอบเพอร็อกไซด์เพิ่ม ผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับ Matsumura (2000, 2003) ที่พบว่ากัมมะราบิก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสาร Surfactant สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน โดยการป้องกันไม่ให้เอนไซม์ไลโปอกซิจีเนส (Lipoxygenase) และอนุมูลอิสระมาจับที่พื้นผิวอนุภาคเม็ดไขมัน ส่วน Pasaskevopoulou และคณะ (2007) ได้ใช้กัมมะราบิกและ โพรพิลีน ไกลคอลอัลจินต เป็นสารให้ความคงตัวและเป็นอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำสลัด พบว่าโพลีแซคคาไรด์ดังกล่าวมีความสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน อันเป็นผลมาจากคุณสมบัติด้านแอมฟิฟิลิก โดยกัมมะราบิกจะมีคุณสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันได้มากกว่า ดังนั้นตัวอย่างที่ใช้ SSO เป็นสารทดแทนไขมันซึ่งมีคุณสมบัติเป็นแอมฟิฟิลิก เช่นเดียวกับกัมมะราบิกจึงสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันได้

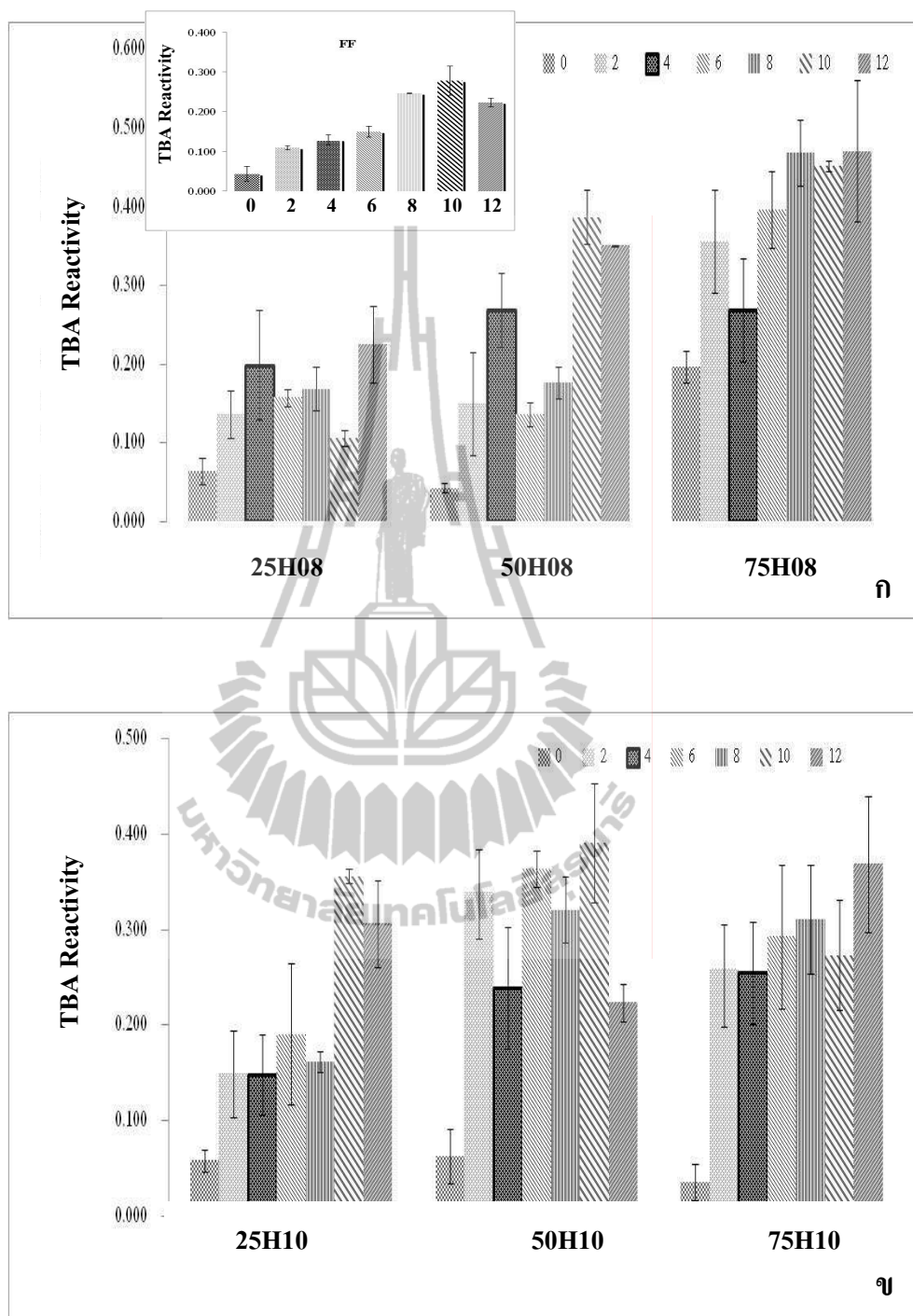
ส่วนตัวอย่างมายองเนสที่มีการใช้แป้ง HPD เป็นสารทดแทนไขมันพบปริมาณ TBA reactivity สูงกว่าในตัวอย่างอื่นซึ่งอาจเป็นผลมาจากแป้งดังกล่าวไม่ได้ทำหน้าที่ในการป้องกันออกซิเจนหรือสารเร่งปฏิกิริยาในเฟสต่อเนื่องที่จะไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคเม็ดไขมัน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับแป้ง MD โดยการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Matsumura (2000, 2003) ที่พบว่า MD ไม่ได้มีผลต่อการยับยั้งการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption) และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันในระบบอิมัลชัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากแป้งดังกล่าวไม่ได้มีคุณสมบัติเป็น Surface active เห็นได้จากค่า TBA reactivity ของตัวอย่างที่เตรียมจาก HDP และ MD ยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ

ตัวอย่างที่มีปริมาณการแทนที่ไขมันสูงจะมีอัตราการเพิ่มของ TBA reactivity เร็วกว่าตัวอย่างที่มีการแทนที่ไขมันต่ำ ๆ เนื่องจากในตัวอย่างอิมัลชันที่มีปริมาณไขมันมากกว่าจะทำให้

กรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในอนุภาคเม็ดไขมัน ได้มากกว่า จึงเป็นการลดการเกิดปฏิกิริยาของสารพวก Prooxidant ในเฟสต่อเนื่อง ทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน โดยตัวอย่างที่ใช้สารทดแทนไขมันที่ร้อยละ 75 มีค่า TBA reactivity เพิ่มสูงกว่าในตัวอย่าง FF และตัวอย่างที่มีการแทนที่ไขมันร้อยละ 25 และ 50 นอกจากนั้นยังสามารถอธิบายได้ว่า ตัวอย่างที่มีสารทดแทนไขมันสูงจะทำให้มีสารประกอบฟอสโฟไลปิดจากไข่แดงเหลืออยู่ในเฟสต่อเนื่องได้มากกว่า เพราะมีปริมาณเกินพอที่จะไปจับกับที่ผิวอนุภาคเม็ดไขมัน เนื่องจากในตัวอย่างมาของเนสสูตรไขมันต่ำมีปริมาณไขมันน้อยกว่า โดยฟอสโฟไลปิดที่เหลืออยู่ในเฟสต่อเนื่องจะถูกออกซิไดซ์ได้เป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์แล้วแตกสลาย ส่งผลให้มีปริมาณมาโลนัลดีไฮด์สูงกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันสูง ซึ่งการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับ Osborn และ Akoh (2004) ที่พบว่าตัวอย่างอิมัลชันที่มีปริมาณไขมันต่ำจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันได้สูงกว่าในตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันสูง เนื่องมาจากน้ำเป็นตัวพาตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาให้สามารถเคลื่อนที่ให้เกิดอนุมูลอิสระของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในขณะที่เดียวกันน้ำจะเป็นตัวละลายออกซิเจนได้ดีทำให้ส่งเสริมการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์เปอร์ออกไซด์ได้มากขึ้น

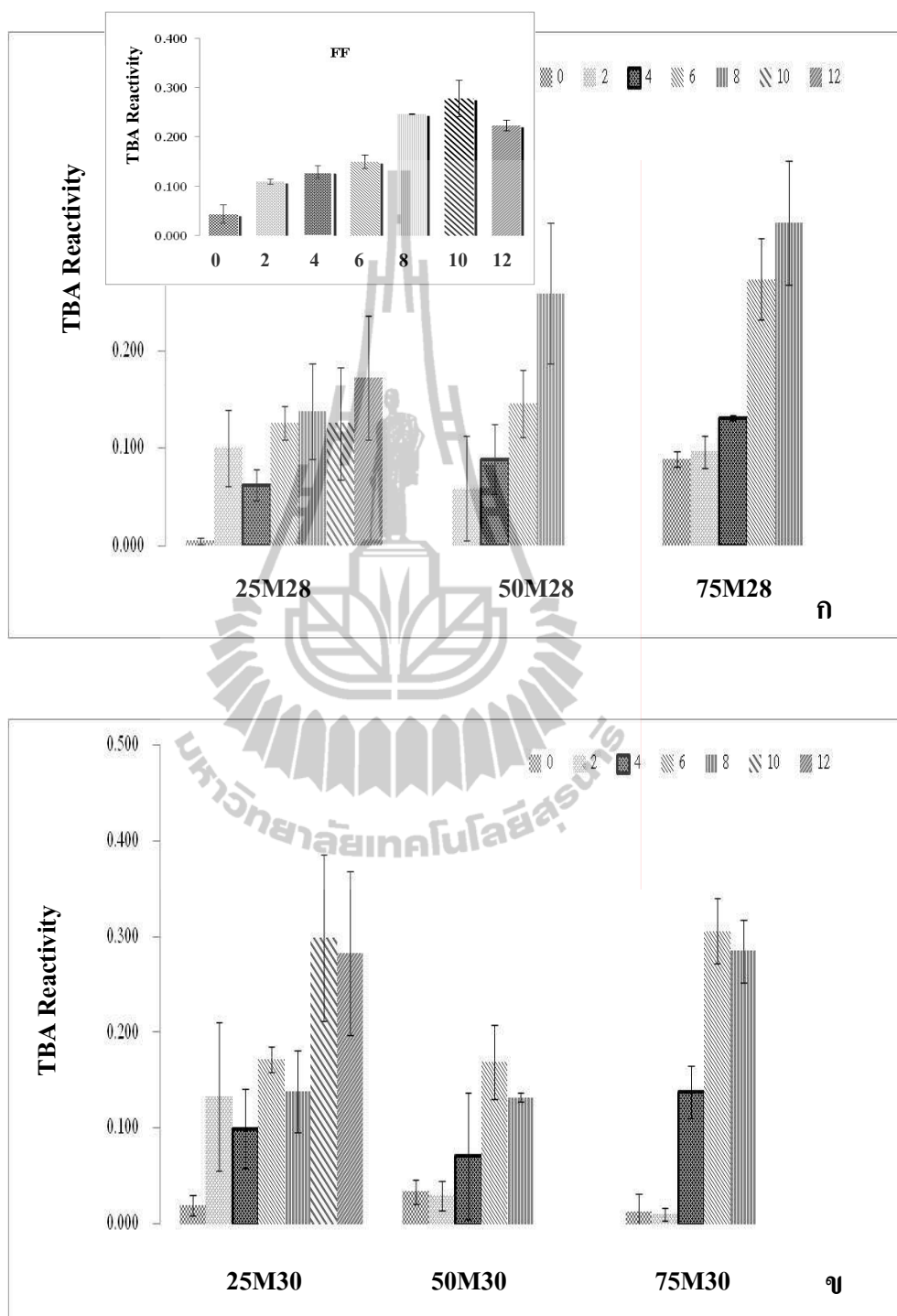
#### 4.6 ผลการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

การผลิตมายองเนสในครั้งนี้มีการใส่กรดเบนโซอิกเพื่อยับยั้งและป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ แต่เพื่อให้มั่นใจว่าการเปลี่ยนแปลงด้านเคมีและกายภาพที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างมาของเนสไม่ได้เป็นผลจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ จึงได้สุ่มตัวอย่างมาของเนสมาทดสอบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้แก่ตัวอย่าง FF, 75H10, 75M30 และ 75S15 โดยทั้ง 4 ตัวอย่างไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย (ภาคผนวกรูปที่ ข.6) จึงเป็นการยืนยันได้ว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างมาของเนสไม่ได้เป็นผลมาจากเชื้อแบคทีเรีย ในขณะที่เดียวกันไม่พบการเจริญเติบโตของยีสต์และราที่ระยะเวลาการจัดเก็บ 3 เดือน ซึ่ง Abu-salem และ Abou-Arab (2008) พบว่าการเจริญเติบโตของยีสต์และราในมายองเนสที่เตรียมจากไข่แดงทั้งที่พาสเจอไรซ์และไม่พาสเจอไรซ์จะเริ่มตรวจพบการเจริญเติบโตในสัปดาห์ที่ 5 ของการจัดเก็บ และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ตลอดการทดลองในครั้งนี้ไม่ตรวจพบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ยีสต์ และรา ทำให้สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างมาของเนสเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงด้านเคมีกายภาพไม่ได้เป็นผลมาจากเชื้อจุลินทรีย์

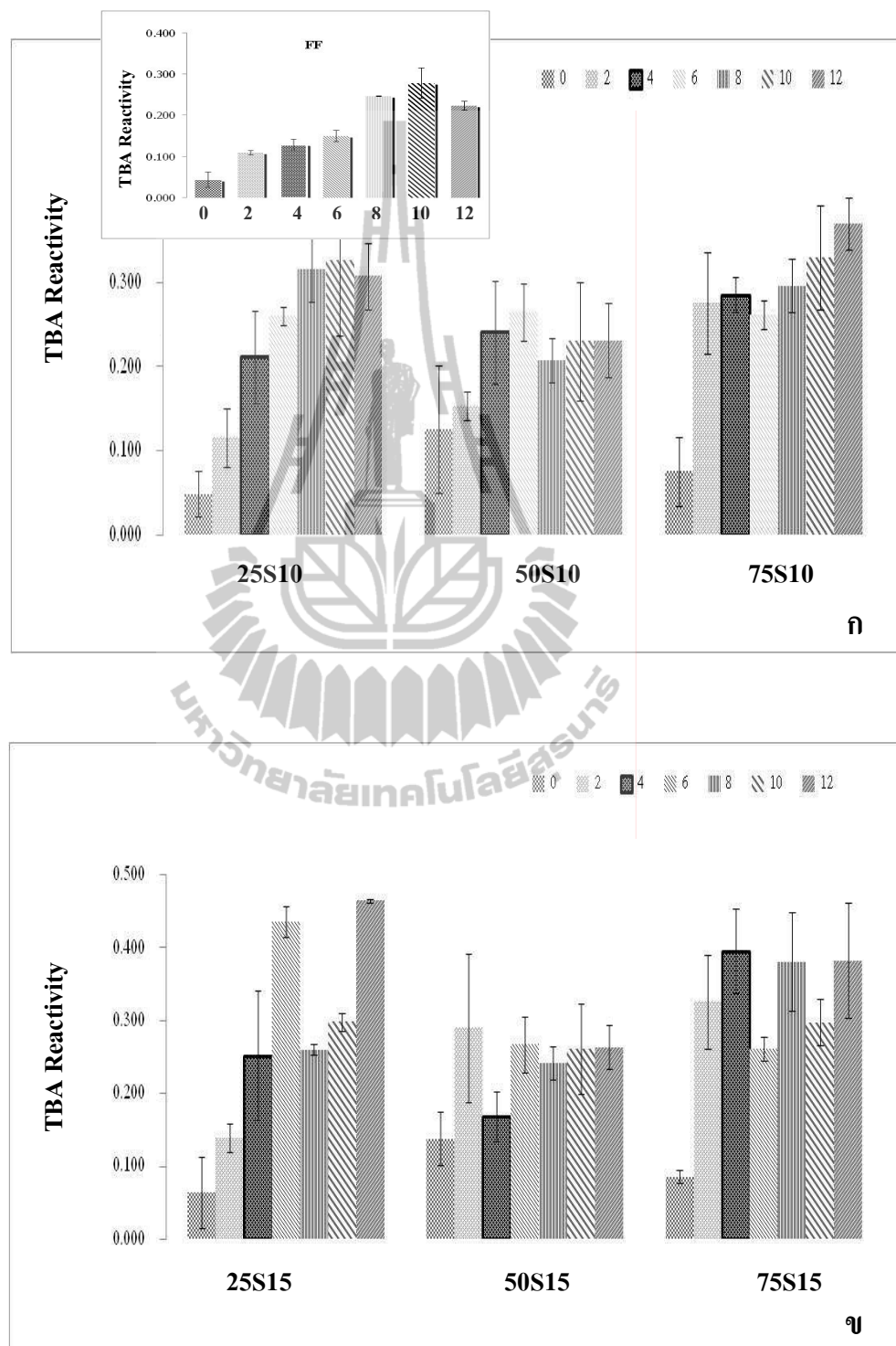


รูปที่ 4.20 ค่าการดูดซับแสงที่ 532 นาโนเมตร ของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่เตรียมจากแป้ง HDP ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 (ก) และ 10 (ข) ที่ระยะเวลาจัดเก็บต่าง ๆ





รูปที่ 4.21 ค่าการดูดซับแสงที่ 532 นาโนเมตร ของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่เตรียมจากแป้ง MD ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 28 (ก) และ 30 (ข) ที่ระยะเวลาจัดเก็บต่าง ๆ



รูปที่ 4.22 ค่าการดูดซับแสงที่ 532 นาโนเมตร ของมายองเนสสูตรไขมันต่ำที่เตรียมจากแป้ง SSO ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (ก) และ 15 (ข) ที่ระยะเวลาจัดเก็บต่าง ๆ



#### 4.7 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

จากข้อมูลการศึกษาเปรียบเทียบแป้งคัดแปรที่แตกต่างกันต่อการนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันพบว่า แป้ง HDP และ SSO มีโอกาสนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันได้ดี เนื่องจากให้ลักษณะทางเคมีกายภาพที่ใกล้เคียงกับมายของเนสตูลูร์ ไขมันเต็มและมีความเสถียรโดยไม่พบการแยกชั้นของไขมันตลอดการศึกษา 3 เดือน แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของต้นทุนการผลิตพบว่า ราคาของแป้ง SSO มีราคาสูงกว่าแป้ง HDP ประมาณ 2 เท่าตัว ดังนั้นหากใช้แป้งคัดแปรเป็นสารทดแทนไขมันในมายของเนสในระบบอุตสาหกรรม ผู้ผลิตจำเป็นต้องเลือกใช้วัตถุดิบที่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ด้วยเหตุนี้ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงใช้แป้ง HPD ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 8 ในการเป็นสารทดแทนไขมันเปรียบเทียบกับ FF โดยมีผู้ประเมินที่เป็นนักศึกษา เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจำนวน 50 คนโดยหัวข้อในการแบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส คือให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส จัดลำดับของแรงที่ใช้บีบตัวอย่างออกจากขวด ความสามารถในการตั้งยอดของตัวอย่าง ความมันวาว รสชาติมันที่ได้จากไขมัน และจัดลำดับความชอบรวม (ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.10 Rank sum ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมายของเนส

หัวข้อการทดสอบ	FF	25H08	50H08	75H08
แรงที่ใช้บีบตัวอย่างออกจากขวด	96 <sup>a</sup>	103 <sup>a</sup>	156 <sup>b</sup>	145 <sup>b</sup>
ความสามารถของการตั้งยอด	117 <sup>ab</sup>	97 <sup>a</sup>	135 <sup>bc</sup>	151 <sup>c</sup>
ความมันวาว	116 <sup>ns</sup>	118 <sup>ns</sup>	136 <sup>ns</sup>	130 <sup>ns</sup>
รสมันที่ได้จากไขมัน	118 <sup>ab</sup>	103 <sup>a</sup>	138 <sup>b</sup>	141 <sup>b</sup>
ความชอบโดยรวม	120 <sup>ns</sup>	122 <sup>ns</sup>	130 <sup>ns</sup>	128 <sup>ns</sup>

หมายเหตุ : ผลรวมการทดสอบชิมจากผู้ทดสอบชิม 50 คน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ผลการทดสอบพบว่าการจัดลำดับความมันวาว และความชอบโดยรวมของมายของเนสไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนการใช้แรงบีบมายของเนสให้ไหลออกจากขวด พบว่าตัวอย่าง FF และ 25H08 กับ 50H08 และ 75H08 มีลำดับการใช้แรงบีบตัวอย่างให้ไหลออกจากขวดไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยที่ตัวอย่าง FF และ 25H08 มีลำดับการใช้แรงบีบตัวอย่างให้ไหลออกจากขวดแตกต่างกับตัวอย่าง 50H08 และ 75H08 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อพิจารณาถึง

ความสามารถในการตั้งยอดของตัวอย่างมาของเนส พบว่าตัวอย่าง FF กับ 25H08 และ FF กับ 50H08

มีความสามารถในการตั้งยอดไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ในขณะที่การจัดลำดับด้านรสชาติมันที่ได้จากไขมันของตัวอย่าง FF กับตัวอย่าง 25H08, 50H08 และ 75H08 มีคะแนนการจัดลำดับด้านรสชาติมันไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เช่นกัน

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการใช้แป้งตัดแปรชนิด HDP เป็นสารทดแทนไขมันที่มีความเข้มข้นของเนื้อแป้งร้อยละ 8 สามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมันได้ถึงร้อยละ 75 ของสูตรที่มีไขมันเต็ม การทดลองที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับการทดสอบโดยเครื่องมือขั้นสูงเช่น Ahmt, Bandsholm และ Thomsen (2004) ศึกษาการใช้แป้งตัดแปรทางเคมีแตกต่างกัน คือ อะซิทิเลตหรือไฮดรอกซีโพรพิลเลต ทั้งที่มีการเชื่อมข้ามและไม่เชื่อมข้ามจากแป้งต่างชนิดเป็นสารทดแทนไขมันและแทนที่ไขมันร้อยละ 50 ของสูตรไขมันเต็มในมาของเนสเพื่อหาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติด้านวิทยากระแส เนื้อสัมผัสและการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาของเนสมีความสัมพันธ์กับผลการทดสอบทางวิทยากระแสโดยมีค่า  $r$  อยู่ในช่วง 0.95 ถึง 0.97 ส่วน Richardson, Morris, Ross-Murphy, Taylor และ Dea (1989) ได้รายงานว่าความขุ่นหนืดที่ได้รับรู้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะมีความสัมพันธ์กับผลการวัดวิทยากระแสในโหมคของไดนามิก มากกว่าผลทางวิทยากระแสที่ได้จากการวัดด้วย Large deformation หรือการวัดในโหมคการใส่แรงเฉือน

## บทที่ 5

### สรุปผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

5.1.1 แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต (HDP) ความเข้มข้นร้อยละ 8 แป้งโซเดียมออกเทนิลซัคซิเนต (SSO) ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ มอลโตเดกซ์ทริน (MD) ความเข้มข้นร้อยละ 28 สามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมันสูงสุดได้ร้อยละ 75, 50 และ 25 ของไขมันในมายองเนสสูตร FF ตามลำดับ

5.1.2 การเพิ่มปริมาณการแทนที่ไขมันด้วยแป้งคัดแปรมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติด้านกายภาพได้แก่ สี ค่าเนื้อสัมผัส คุณสมบัตินิวทริกัลเสส ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน และความเสถียรของระบบมายองเนส

5.1.3 การเพิ่มความเข้มข้นของแป้งคัดแปรแต่ละชนิดจะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านเคมีกายภาพของมายองเนส ให้มีความแตกต่างกันตามประเภทของแป้งคัดแปร แป้ง HDP เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมีผลทำให้มีความหนืด ค่ามอดูลัสเสสสะสม ความแน่นเนื้อสูงขึ้น ส่วนตัวอย่างมายองเนสที่ผลิตจากแป้ง MD และ SSO เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งมีผลทำให้ขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในมายองเนสลดลง ส่งผลให้ค่าความหนืด ค่ามอดูลัสเสสสะสม และความแน่นเนื้อสูงขึ้น

5.1.4 มายองเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP และ SSO เป็นสารทดแทนไขมันทุกตัวอย่างมีความเสถียรทางกายภาพเป็นเวลาอย่างน้อย 3 เดือน ส่วนตัวอย่างมายองเนสที่เตรียมจากแป้ง MD เมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ที่มีผลทำให้เกิดกระบวนการคืนสภาพของแป้งเร็วขึ้น จึงทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคเม็ดไขมันและเกิดการแยกชั้นของไขมัน ตัวอย่างมายองเนสทุกตัวอย่างยกเว้นตัวอย่างที่ใช้แป้ง SSO เป็นสารทดแทนไขมัน มีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

5.1.5 แป้งคัดแปรที่สามารถใช้แทนที่ไขมันในการผลิตมายองเนสสูตรลดไขมันแล้วให้คุณสมบัติทางกายภาพคล้ายตัวอย่าง FF และมีความเสถียรตลอดอายุการเก็บคือแป้ง HDP และ SSO แต่แป้ง HDP มีราคาต้นทุนต่ำกว่า SSO ประมาณ 2 เท่า ตัวอย่างมายองเนสที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงเป็นตัวอย่างที่เตรียมได้จากแป้ง HDP ความเข้มข้นร้อยละ 8 ทั้งนี้การยอมรับผลิตภัณฑ์รวมมีค่าไม่ต่างจากสูตรไขมันเต็ม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อาจใช้แป้งคัดแปรชนิดอื่นที่ให้ลักษณะทางกายภาพคล้ายกับแป้ง HDP ได้ เช่น แป้งอะซิทีเลตทไคสตาร์ชฟอสเฟต ที่เป็นแป้งคัดแปรร่วมระหว่างการเชื่อมข้ามและมีหมู่แทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในสายโพลีแซคคาไรด์ด้วยหมู่อะซิติก ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้เช่นเดียวกับหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลของแป้ง HDP เพื่อเป็นสารทดแทนไขมันในมายองเนสสูตรไขมันต่ำ

5.2.2 มีความเป็นไปได้การใช้แป้งคัดแปรร่วมกันระหว่างแป้ง SSO เพื่อเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และแป้ง HDP หรือแป้งอะซิทีเลตทไคสตาร์ชฟอสเฟตเป็นสารทดแทนไขมันเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต

5.2.3 การใช้แป้งคัดแปรทดแทนไขมันเพื่อการผลิตมายองเนสสูตรไขมันต่ำอาจเพิ่มสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน เช่น กรดแอสคอร์บิก โทโคฟีรอล (Tocopherol) เป็นต้น เพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ไม่ให้เกิดกลิ่นหืนในระหว่างการเก็บตัวอย่าง

5.2.4 สามารถใช้การออกแบบพื้นที่การตอบสนอง (Respond surface design) เพื่อหาสูตรส่วนผสม เช่น ปริมาณเกลือ น้ำตาล ไข่แดง น้ำส้มสายชู ปริมาณแป้ง และปริมาณน้ำมัน เป็นต้น ที่เหมาะสมในการผลิตมายองเนสสูตรไขมันต่ำ เพื่อให้มีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค และช่วยลดต้นทุนการผลิต

## รายการอ้างอิง

- จินตนา นภาพร. (2550).เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 1504 310 ความรู้พื้นฐานทางเภสัชภัณฑ์ (Fundamentals to pharmaceutical Dosage Forms) คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 18 หน้า.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2548). วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพฯ :โอเดียนสโตร์ โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์. 256 หน้า
- นิตยา อังพานิชเจริญ, อาณัติ นิตติธรรมยง และ สมเกียรติ โกศลวัฒน์. (2541). การพัฒนาสูตรน้ำสลัดชนิดชั้นไขมันต่ำและปราศจากคอเลสเตอรอลโดยใช้สารทดแทนไขมันจากคาร์โบไฮเดรต. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ (อาหารและโภชนาการเพื่อการพัฒนา) บัณฑิตวิทยาลัย มหาลัษณ์มหิดล. 140 หน้า
- นिरนาม (ม.ป.ป) [ออนไลน์]. ได้จาก <http://www.incomen.com/forum/index.php?topic=174.0>
- ปาริฉัตร หงสประภาส .(2545). เคมีกายภาพของอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 121 หน้า.
- แสงโสม สีนะวัฒน์ นิรมล ตามาพงษ์ และนันทจิต บุญมงคล. (2541). สถานการณ์โรคอ้วนในประเทศไทย กลุ่มงานแผนงานและประเมินผล กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข FACT SHEET - ด้านโภชนาการ : ปีที่ 3 ฉบับที่ 5 กุมภาพันธ์
- วิศาล เขียวพงศ์ศิริ. (2551). พิชิตโคอ์วันและเบทาหวาน. กรุงเทพฯ : อูษาการพิมพ์. 188 หน้า
- Abu-Salem , F. M. and Abou–Arab A. A. K. (2008). Chemical, microbiological and sensory evaluation of mayonnaise prepared from ostrich eggs. **Grasasy Aceites**. 59: 352-360.
- Ahmt, T., Bandsholm, O. and Thomsen, J. (2004). Functional properties of food starches in a food model emulsion. **Annual Transactions of the Nordic Rheology Society**. 12: 149-155.
- Aman, R., Schieber, A. and Carle, R. (2005). Effects of heating and illumination on trans-cis isomerization and degradation of  $\beta$ -carotene and lutein in isolated spinach chloroplasts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 9512–9518.
- Anton, M., Beaumal, V. and Gandemer, G. (2000). Adsorption at the oil–water interface and emulsifying properties of native granules from egg yolk: effect of aggregated state. **Food Hydrocolloids**. 14 (4): 327–335.
- Akoh, C. C. (1998). Fat replacers. **Food Technology**. 52: 47-53.

- Barnes, H. A. (1995). A Review of the slip (wall depletion) of polymer solution, emulsions and particle suspensions in viscometers: its cause, character, and cure. **Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics**. 56: 221-251.
- Batista, A. P., Raymundo, A., Sousa, I., and Empis, J. (2006). Rheological characterization of colored oil-in-water food emulsions with lutein and phycocyanin added to the oil and aqueous phases. **Food Hydrocolloids**. 20: 44-52.
- Biliaderis, C. G. (1992). Characterization of starch networks by small strain dynamic rheometry. In D.J. Alexander and H.F. Zobel (Eds.). **Developments in Carbohydrate Chemistry** (pp. 87-135) St Paul, Minn.:AACC.
- Borel, P., Grolier, P., Armand, M., Partier, A., Lafont, H. and Lairon, D. (1996). Carotenoids in biological emulsions: Solubility, surface-to-core distribution, and release from lipid droplets. **Journal of Lipid Research**. 37: 250 - 261.
- Chantrapornchai, W., Clydesdale, F. and McClements, D. J. (1999). Influence of droplet characteristics on the optical properties of colored oil-in-water emulsions. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. 155: 373-382.
- Cheung, I., Gomes, F., Ramsden, R. and Roberts, D. G. (2002). Evaluation of fat replacers Avicel, N Lite S and Simplese in mayonnaise. **International Journal of Consumer Studies**. 26: 27-33.
- Chirife, J., Vigo, M. S., Go'mez, R. G. and Favetto, G. J. (1989). Water activity and chemical composition of mayonnaises. **Journal of Food Science**. 54: 1658-1659.
- Chronakis I. S. (1998). On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrins: a review, Crit. Rev. **Food Science**. 38: 599-637.
- Coupland, J. N. and McClements, D. J. (1996). Lipid oxidation in food emulsions. **Trends in Food Science and Technology**. 7: 83-91.
- Clark, A. H., and Ross-Murphy, S.B. (1987). Structural and mechanical properties of biopolymer gels. **Advances in Polymer Science**. 83: 57-192.
- Delgado-Vargas, F., Jimenez, A. R. and Paredes-Lo'pez, O. (2000). Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains-characteristics, biosynthesis, processing, and stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 40: 173-289.
- Depree, J. A. and Savage, G. P. (2001). physical and flavour stability of mayonnaise. **Trends in Food Science and Technology**. 12: 157-163.

- Dickinson, E. (1995). Emulsion stabilization by polysaccharides and protein-polysaccharide complexes. **Food Polysaccharides and Their Application**. Stephan, A. M., ed., Marcel Dekker, New York, NY. Chap. 15.
- Dickinson, E. and Euston, S. R. (1991). **Stability of food emulsions containing both protein and polysaccharide**. In Food Polymers, Gels, and Colloids, Dickinson E., editor. London: Royal Society of Chemistry. p. 132-146.
- Dockic, P. P., Dockic, L. P., Sovilj, V. J. and Katona, J. M. (2004). Influence of maltodextrin dextrose equivalent value on rheological and dispersion properties of sun flower oil in water emulsions. **APTEFF**. 35: 1-280.
- Dokic-Baucal, L., Dokic, P. and Jakovljevic, J. (2004). Influence of different maltodextrins on properties of O/W emulsions. **Food Hydrocolloids**. 18: 233-239.
- Drakos, A. and Kiosseoglou, V. (2008). Depletion flocculation effects in egg-base model salad dressing emulsions. **Food Hydrocolloids**. 22: 218-224.
- Egelandsdal, B., Langsrud, Ø., Nyvold, T., Sontum, P. K., Sørensen, C., Enersen, G., et al. (2001). Estimating significant causes of variation in emulsions' droplet size distributions obtained by the electrical sensing zone and laser low angle light scattering techniques. **Food Hydrocolloids**. 15: 521-532.
- Eliasson, A. and Kim, H. R. (1992). Changes in rheological properties of hydroxypropyl potato starch pastes during freez-thaw treatments I. a rheological approach for evaluation of freez-thaw stability. **Journal of Texture Studies**. 23: 279-295.
- Fernández, J., Pérez-Álvarez, J. A. and Fernández-López, J. A. (1997). Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. **Food Chemistry**. 59: 345-353.
- Fisher, R. A. and Yates, F. (1942). *Statistic Tables*. Oliver and Boyd Ltd., Edinburgh and London.
- Floury, J., Desrumaux, A. and Lardieres, J. (2000). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 1: 127-134.
- Ford, L. D., Borwankar, R. P., Pechak, D. and Schwimmer, B. (2004). **Dressing and sauces, in Food Emulsion**, 4<sup>th</sup> ed., Friberg, S., Larsson, J., Sjoblom, J., Eds., Marcel Dekker, New York, NY, Chap.13.
- Godwin, A. and Prabhu, H. R. (2006). Lipid peroxidation of fish oils. **Indian Journal of Clinical Biochemistry**. 21: 202-204.



- Harrison, L. J. and Cunningham, F. E. (1986). Influence of salt on properties of liquid yolk and functionality in mayonnaise. **Poultry Science**. 65:915-921.
- Hathcox, A. K., Beuchat, L. R. and Doyle, M. P. (1995). Death of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in real mayonnaise and reduced-calorie mayonnaise dressing as influenced by initial population and storage temperature. **Applied and Environmental Microbiology**. 61:4172-4177.
- Hoover, R., Hannouz, D. and Sosulski, F. W. (1988). Effects of hydroxypropylation on thermal properties, starch digestibility and freeze-thaw stability of field pea (*Pisum Sativum cv* Trapper) starch. **Starch/Stärke**. 40:383-387.
- Hui, Y. H. (1992). **Encyclopaedia of food Science and Technology**, John Wiley and Sons, New York, NY.
- Hutchings, J. B. (1994). **Food colour and appearance**. London: Blackie Academic & Professional
- Hsieh, Y. L. and Regenstein, J. M. (1992). Storage stability of fish oil, soy oil and corn oil mayonnaises as measured by various chemical indices. **Journal of Aquatic Food Product Technology**. 1:97-106.
- Hwang, C. A. and Tamplin, M. L. (2005). The influence of mayonnaise pH and storage temperature on the growth of *Listeria monocytogenes* in seafood salad. **International Journal of Food Microbiology**. 102(3): 277-285.
- Jacobsen, C., Hartvigsen, K., Lund, P., Meyer, A. S., Adler-Nissen, J., Holstborg, J., et al. (1999). Oxidation in fish oil-enriched mayonnaise.1. Assessment of propyl gallate as an antioxidant by discriminant partial least squares regression analysis. **European Food Research Technology**. 210: 13-30.
- Karas, R., Skvarča, M., and Žlender, B. (2002). Sensory quality of standard and light mayonnaise during storage. **Food Technology and Biotechnology**. 40: 119-127.
- Kiosseoglou, V. D. and Sherman, P. (1983). Influence of egg yolk lipoproteins on the rheology and stability of O/W emulsions and mayonnaise. **Journal of Texture Studies**. 14: 397-417.
- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chainachoti, P. and McClements, D. J. (2004). Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin. **Food Research International**. 37: 851-859.
- Kurtzman, C. P., Rogers, R. and Hesseltine C. W. (1971). Microbiological spoilage of mayonnaise and salad dressings. **Applied Microbiology**. 21:870-874.

- Kuntz, L. A. (1997). **Making the Most of Maltodextrins.** [ออนไลน์] . ได้จาก [http://www.foodproductdesign.com/articles/463/463\\_0897DE.html](http://www.foodproductdesign.com/articles/463/463_0897DE.html)
- Lahtinen, S. T. and Ndabikunze, B. K. (1990). Effect of salt on the autoxidation of oil and lipophilic substances in mayonnaise. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie.** 23: 99-100.
- Lagunes-Galvez, L., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C. and Berset, C. (2002). Oxidative stability of some mayonnaise formulations during storage and daylight irradiation. **Journal of Food Lipids.** 9: 211-224.
- Langton, M., Jordansson, E., Altskär, A., Sørensen, C. and Hermansson, A. (1999). Microstructure and image analysis of mayonnaises. **Food Hydrocolloids.** 13: 113-125.
- Le Denmat, M., Anton, M. and Beaumal, V. (2000). Characterization of emulsion properties and of interface composition in O/W emulsions prepared with hen egg yolk, plasma and granules. **Food Hydrocolloids.** 14 (6): 539-549.
- Lennersten, M. and Lingnert, H. (2000). Influence of wavelength and packaging material on lipid oxidation and colour changes in low-fat mayonnaise. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie.** 33: 253-260.
- Lenchin, J. M., Trubiano, P. C. and Hoffman, S. (1985). Converted starches for use as a fat- or oil-replacement in foodstuffs. United States Patent US, 4, 510, 166.
- Liu, H., Ramsden, L. and Corke, H. (1999). physical properties and enzymatic digestibility of hydroxypropylated **ae, wx**, and normal maize starch. **Carbohydrate Polymers.** 40: 175-182.
- Liu, S. and Masliyah, J. H. (1996). Non-Newtonian flow through porous media. **Advances in Fluid Mechanics.** 9: 103-112.
- Lui, H., Xu, X. M. and Guo S. D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. **Food Science and Technology.** 40: 946-954.
- Luotola, M. T. and Luotola, J. E. I. (1985) Effect of  $\alpha$ -tocopherol on the peroxidation of cod-liver oil. **Life Chemistry Reports.** 3: 159-163.
- Ma, L. and Barbosa-Canovas, G. V. (1995). Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. **Journal of Food Engineering.** 25: 409-425.
- Ma, Y., Cai, C., Wang, J. and Sun, D. W. (2006). Enzymatic hydrolysis of corn starch for producing fat mimetics. **Journal of Food Engineering.** 73: 297-303.

- Maruyama, K., Sakashita, T., Hagura, Y. and Suzuki, K. (2007). Relationship between rheology, particle size and texture of mayonnaise. **Food Science and Technology Research**. 13(1): 1-6.
- Matsumura, et al. (2003). Inhibitory effects of peptide-bound polysaccharides on lipid oxidation in emulsions. **Food Chemistry**. 83(1): 107-119.
- Matsumura, Y., Satake, C., Egami, M. and Mori, T. (2000). Interaction of gum Arabic, maltodextrin and pullan with lipids in emulsions. **Bioscience Biotechnology and Biochemistry**. 64(9): 1827-1835.
- Mei, L. Y., McClements, D. J. and Decker, E. A. (1998a). Iron-catalyzed lipid oxidation in emulsion as affected by surfactant, pH and NaCl. **Food Chemistry**. 61(3): 307-312.
- Mei, L. Y., McClements, D. J., and Decker, E. A. (1998b). Evidence of iron association with emulsion droplets and its impact on lipid oxidation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 46(12): 5072-5077.
- McClements, D. J. and Decker, E. A. (2000). Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. **Journal of Food Science**. 65(8):1270-1282.
- McClements, D. J. and Demetriades, K. (1998). An integrated approach to the development of reduced-fat food emulsions. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 38: 511-536.
- McClements, D. J., Chantrapornchai, W. and Clydesdale, F. (1998). Prediction of food emulsion color using light scattering theory. **Journal of Food Science**. 63: 935-939.
- McClements, D.J. (2005). **Food Emulsion: Principle, Practice and Techniques**. 2<sup>nd</sup> ed. Boca Rota: CRC Press.
- Mela, J. D., Langley, K. R. and Martin, A. (1994). Sensory assessment of fat content: effect of emulsion and subject characteristics. **Appetite**. 22: 67-81.
- Modig, G., Nilsson, L., Bergenståhl, B. and Wahlund, K. G. (2006). Homogenisation induced degradation of hydrophobically modified starch determined by asymmetrical flow field flow fractionation and multi angle light scattering. **Food Hydrocolloids**. 20: 1087-1095.
- Mohamed, M. O. and Morris, H. A. (1987). Textural and microstructural properties of rennet-induced milk coagulum as affected by the addition of soy protein isolate. **Journal of Texture Studies**. 18: 137-155.

- 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 40GTase-modified rice starch and xanthan gum. **International Journal of Biological Macromolecules**. 44 (5):400-407.
- Murphy, P. (1999). Low fat developments with speciality starches. **Food Technology International**. 22: 24.
- Murphy, P. (2000). In G.O. phillips, and P.A. Williams (Ed). **Handbook of Hydrocolloids**. Boca Raton: CRC Press. p.41-65.
- Nilsson, L., Leeman, M., Wahlund, K. G. and Bergenstahl, B. (2006). Mechanical degradation and changes in conformation of hydrophobically modified starch. **Biomacromolecules**. 7: 2671-2679.
- Nilsson, L. and Bergenstahl, B. (2007). Adsorption of hydrophobically modified anionic starch at oppositely charged oil/water interfaces. **Journal of Colloid and Interface Science**. 308(2): 508-513.
- Nilsson, L., Osmark, P., Fernandez, C. and Bergenstahl, B. (2007). Competitive adsorption of total egg yolk proteins during emulsification. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 55(16): 6746-6753.
- Ortega-Benito, J. M. and Langridge, P. (1992). Outbreak of food poisoning due to *Salmonella typhimurium* DT4 in mayonnaise. **Public Health**. 106: 203-8.
- Ortega-Ojeda, F. E., Larsson, H. and Eliasson, A. C. (2005). Gel formation in mixtures of hydrophobically modified potato and high amylopectin potato starch. **Carbohydrate Polymer**. 59: 313-327.
- Osborn, H. T. and Akoh, C. C. (2004). Effect of emulsifier type, droplet size, and oil concentration on lipid oxidation in structured lipid-based oil-in-water emulsions. **Food Chemistry**. 84(3): 451-456.
- Paraskevopoulou, A., Kiosseoglou, V., Alevisopoulos, S. and Kasapis, S. (1999). Influence of reduced-cholesterol yolk on the viscoelastic behaviour of concentrated o/w emulsions. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. 12: 107-111.
- Paraskevopoulou, A., Boskou, D. and Kiosseoglou, V. (2005a). Oxidative stabilization of olive oil-lemon juice salad dressings stabilized with polysaccharides. **Food Chemistry**. 101:1197-1204.

- Paraskevopoulou, A., Boskou, D. and Kiosseoglou, V. (2005b). Stabilization of olive oil-lemon juice emulsion with polysaccharides. **Food Chemistry**. 90(4): 627-634.
- Paraskevopoulou, D., Boskou, D. and Paraskevopoulou, A. (2007). Oxidative stability of olive oil-lemon juice salad dressings stabilized with polysaccharides. **Food Chemistry**. 101: 1197-1204.
- Prochaska, K., Kędziora, P., Le Thanh, J. and Lewandowicz, G. (2007). Surface activity of commercial food grade modified starches. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. 60(2): 187-194.
- Pedersen, A. and Christian, H. (1997). No and low fat mayonnaise compositions. United States of American Patent No. 5641533.
- Peressini, D., Sensidoni, A. and Cindio, B. D. (1998). Rheological characterization of traditional and light mayonnaises. **Journal of Food Engineering**. 35:409-417.
- Radford, S. A. and Board, R. G. (1993). Review Fate of pathogens in home-made mayonnaise and related products. **Food Microbiology**. 10: 269 - 278.
- Richardson, R. K., Morris, E. R., Ross-Murphy, S. B., Taylor, L. J. and Dea, I. C. M. (1989). Characterization of the perceived texture of thickened systems by dynamic viscosity measurements. **Food Hydrocolloids**. 3:175-191.
- Rojas, C. C., Wahlund, K.-G., Bergenstahl, B. and Nilsson, L. (2008). Macromolecular geometries determined with field-flow fractionation and their influence on the overlap concentration. **Biomacromolecules**. 9:1628-1690.
- Santipanichwong, R. and Suphantarika, M. (2007). Carotenoids as colorants in reduced-fat mayonnaise containing spent brewer's yeast  $\beta$ -glucan as a fat replacer. **Food Hydrocolloids**. 21: 565-574.
- Singh, J., Kaur, L. and McCarthy, O. J. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-a review. **Food Hydrocolloids**. 21: 1-22.
- Sajilata, M. G. and R. S. Singhal. (2005). Specialty starches for snack foods. **Carbohydrate Polymers**. 59: 131-151.
- Smittle, R. B. (1977). Microbiology of mayonnaise and salad dressing: a review. **Journal of Food Protection**. 40: 415-422.

- Smitte, R. B. (2000). Microbiological safety of mayonnaise, salad dressing and sauces produced in the United States: A review. **Journal of Food Protection**. 63: 1144.
- SPSS for Windows. (2003). User's manual, version 12.0. Chicago, IL: SPSSInc.
- Steffe, J. F. (1996). **Rheological Methods in Food Processing**. Freeman Press, Michigan.
- Stern, P., Valentova, H. and Pokorny, J. (2001). Rheological properties and sensory texture of mayonnaise. **European Journal of Lipid Science and Technology**. 103: 23-28.
- Tesch, S., Gerhards, C. and Schubert, H. (2002). Stabilization of emulsions by OSA starches. **Journal of Food Engineering**. 54: 167-174.
- Toledo, R. T. (1991). **Fundamentals of Food Processing and Engineering**. 2nd Edition. Nostrand Reinhold, New York. P. 602
- Tung, M. A. and Jones, L. J. (1981). Microstructure of mayonnaise and salad dressing. **Scanning Electron Microscopy**. 3 :523-530.
- Trubiano, P. C. (1986). Succinate and substituted succinate derivatives of starch. In O. B. Wurzburg (Ed.), **Modified Starch: Properties and Uses**. Boca Raton, FL: Press.
- Ungerer, R. (2007). Texturizing extra low fat mayonnaise. **Food Marketing and Technology**. October: 4-8.
- Van Hung, P. and Morita, N. (2005). physicochemical properties of hydroxypropylated and cross linked starches from A- type and B- type wheat starch granules. **Carbohydrate Polymers**. 59: 239-246.
- Weiss, J. (2002). **Emulsion Stability Determination: Physical Properties of Lipids**. John Wiley and Sons, Inc. D3.4.1-D3.4.17
- Wendin, K., Aaby, K., Edris, A., Ellekjaer, M., Albin, R., Bergenstahl, B., Johansson, L., Pilman, W. E. and Solheim, R. (1997a). Influences of fat content, aroma compounds and thickeners. **Food Hydrocolloids**. 11: 87-99.
- Wendin, K., Ellekjaer, M. and Solheim, R. (1999). Fat content and homogenization effects on flavour and texture of mayonnaise with added aroma. **Lebensmittel-Wissenschaft-und Technologie**. 32: 377-383.
- Wendin, K. and Hall, G. (2001). Influences of fat, thickener and emulsifier contents on salad dressing:static and dynamic sensory and rheological analyses. **Lebensmittel-Wissenschaft-und Technologie**. 34: 222-233.

- Wendin, K., Solheim, R., Allmere, T. and Johansson, L. (1997b). Flavour and texture in sour milk affected by thickeners and fat content. **Food Quality and Preference**. 8: 281-291.
- Whistler, R. L., Bemiller, J. N. and Paschall, E. F. (1984) **Starch: Chemistry and Technology**, 2nd ed, Academic Press, New York.
- Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S. and Jammong, P. (2006).  $\beta$ -glucan prepared from spent brewers yeast as a fat replacer in mayonnaise. **Food Hydrocolloids**. 20: 68-78.
- Wurzburg, O. B. (1995). **Modified starches. In Food Polysaccharides and Their Applications**. Stephen, A.M. (Ed.). Marcel Dekker, Inc., NY, NY.
- Xiong, R., Xie, G. and Edmondson, A. S. (2000). Modelling the pH of mayonnaise by the ratio of egg to vinegar. **Food Control**. 11: 49-56.
- Yang, Y. and Xu, S. (2007). Roles of components of rice-based fat substitute in gelation. **Food Research International**. 40(9): 1155-1160.
- Yeh, A. and Yeh, S. (1993). Some characteristics of hydroxypropylated and cross-linked rice starch. **Cereal Chemistry**. 70: 596-601.





ภาคผนวก ก

วิธีการทดลอง

## 1. วิธีเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันด้วยวิธี Thiobarbituric Acid

### 1.1 สารละลายกรดไทโอบาร์บิทูริกเข้มข้นร้อยละ 0.67

ชั่งกรดไทโอบาร์บิทูริกที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.67 กรัมในบีกเกอร์ แล้วละลายด้วย Dimethyl sulphoxide 100 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยแท่งแก้วจนกระทั่งกรดไทโอบาร์บิทูริกละลายหมด แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน เก็บสารละลายในขวดสีชาเพื่อป้องกันแสง และใช้ให้หมดภายใน 1 สัปดาห์

### 1.2 สารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 10

ชั่งกรดไตรคลอโรอะซิติก 100 กรัมแล้วละลายในน้ำปราศจากไอออน หลังจากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรในขวดปรับปริมาตร เก็บสารละลายในตู้เย็นและใช้ให้หมดภายใน 1 สัปดาห์

### 1.3 วิธีวิเคราะห์ปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน

นำตัวอย่างน้ำมัน 200 ไมโครลิตรใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายกรดไทโอบาร์บิทูริกเข้มข้นร้อยละ 0.67 อยู่แล้ว 2 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดให้สนิทแล้วผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer นำตัวอย่างไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำหลอดบรรจุตัวอย่างออกมาแช่ในน้ำประปาให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ 2000 กรัม เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสไปวัดค่าการดูดซับแสงที่ 532 นาโนเมตรด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer โดยใช้เอทานอลเป็น blank

## 2. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างมายองเนสทั้ง 4 ตัวอย่างถูกบรรจุใส่ในขวดซอสที่มีขนาดเท่ากัน โดยผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจะได้รับแผ่นขนมปังรสจืด 4 ก้อน พร้อมกับซาริออน โดยกำหนดให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสบีบมายองเนสลงบนขนมปังรสจืด ให้ครบทั้ง 4 แผ่น แผ่นละตัวอย่างแล้วสังเกตและจัดลำดับความต่างของลักษณะทางกายภาพดังนี้ แรงที่ใช้บีบมายองเนสให้ไหลออกจากขวดความสามารถในการตั้งยอดของมายองเนส ลักษณะปรากฏของความมันวาวที่เป็นลักษณะของไขมัน หลังจากนั้นให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสประกบแผ่นขนมปังที่เหลือแล้วชิมโดยให้กลืนคอด้วยซาริออนเมื่อเปลี่ยนตัวอย่างชิม แล้วให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสเรียงลำดับรสมันที่เป็นรสชาติความมันเหมือนไขมัน และการจัดลำดับการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ โดยเลข 1 แสดงลำดับที่มีค่าสูงสุด หรือชอบมากที่สุด และเลข 4 แสดงลำดับที่ให้ค่าต่ำสุดหรือชอบน้อยที่สุด โดยผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสแต่ละคน จะมีลำดับการเสิร์ฟที่แตกต่างกัน

## ใบรายงานผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบการจัดลำดับ (Ranking Test)

ผลิตภัณฑ์ : มายองเนส

ชื่อผู้ประเมิน.....วันที่.....

**คำอธิบาย** ผลิตภัณฑ์ที่ท่านได้รับนี้เป็นมายองเนสที่มีการใช้สารทดแทนไขมัน

**คำแนะนำ** กรุณาดูใบมายองเนสที่บรรจุในขวดลงบนขนมปังที่จัดเตรียมไว้ให้ โปรดสังเกตลักษณะปรากฏของมายองเนส เพื่อประเมินผลิตภัณฑ์ในข้อ 1 - 3 หลังจากนั้นกรุณาชิมตัวอย่าง จนครบทั้ง 4 ตัวอย่างและจัดลำดับตัวอย่างทั้ง 4 โดยการเขียนรหัสเลขสามหลักที่ระบุอยู่ที่ตัวอย่างในช่องว่างที่ท่านเห็นตรงตามการประเมินมากที่สุด

### 1. ลักษณะความง่ายในการไหลของมายองเนส (แรงบีบ)

เลขลำดับที่ 1 = แรงที่ใช้บีบมายองเนสออกจากขวดมาก 4= แรงที่ใช้บีบมายองเนสออกจากขวดน้อย

รหัส	_____	_____	_____	_____
ลำดับ	1	2	3	4

### 2. ความคงตัวของมายองเนส (การตั้งยอด)

เลขลำดับที่ 1 = ความสามารถในการตั้งยอดมากที่สุด 4 = ความสามารถในการตั้งยอดน้อยที่สุด

รหัส	_____	_____	_____	_____
ลำดับ	1	2	3	4

### 3. ลักษณะปรากฏเรื่องความมันวาวของมายองเนส

เลขลำดับที่ 1 = ความมันวาวมากที่สุด 4 = ความมันวาน้อยที่สุด

รหัส	_____	_____	_____	_____
ลำดับ	1	2	3	4

### 4. รสชาติของมายองเนส (ความมันเหมือนไขมัน)

เลขลำดับที่ 1 = รสมันมากที่สุด 4 = รสมันน้อยที่สุด

รหัส	_____	_____	_____	_____
ลำดับ	1	2	3	4

### 5. ความชอบโดยรวมของมายองเนส (ภาพรวมทั้งหมด)

เลขลำดับที่ 1 = ความชอบโดยรวมมากที่สุด 4 = ความชอบโดยรวมน้อยที่สุด

รหัส	_____	_____	_____	_____
ลำดับ	1	2	3	4

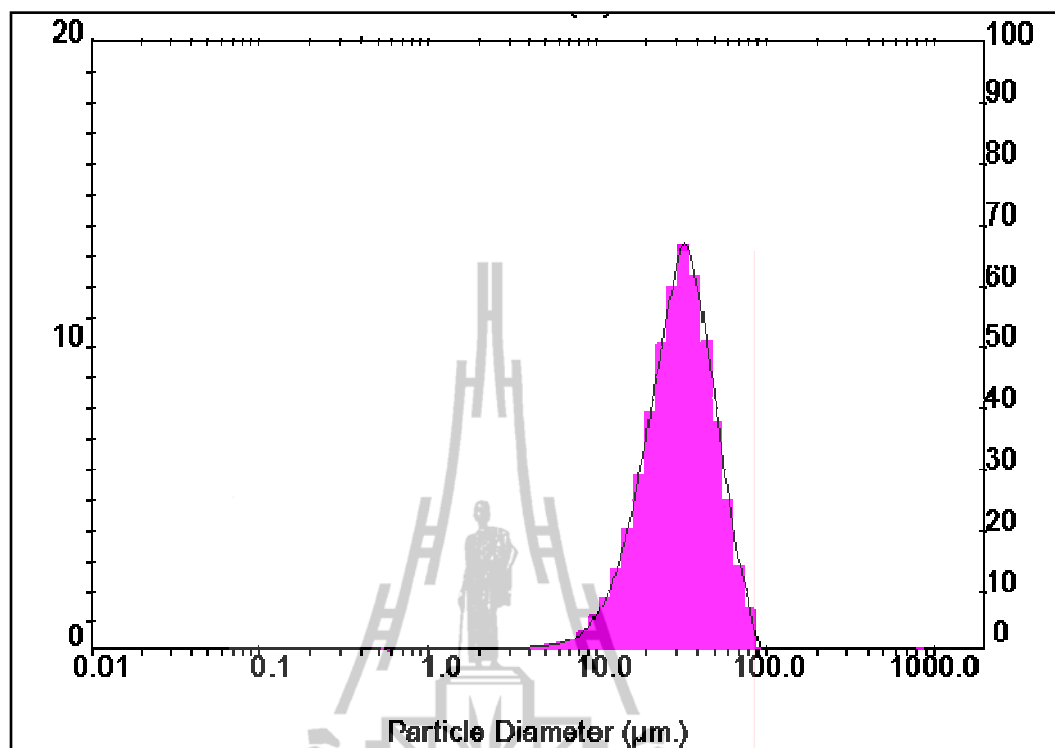
ข้อเสนอแนะ

.....  
 .....



ภาคผนวก ข

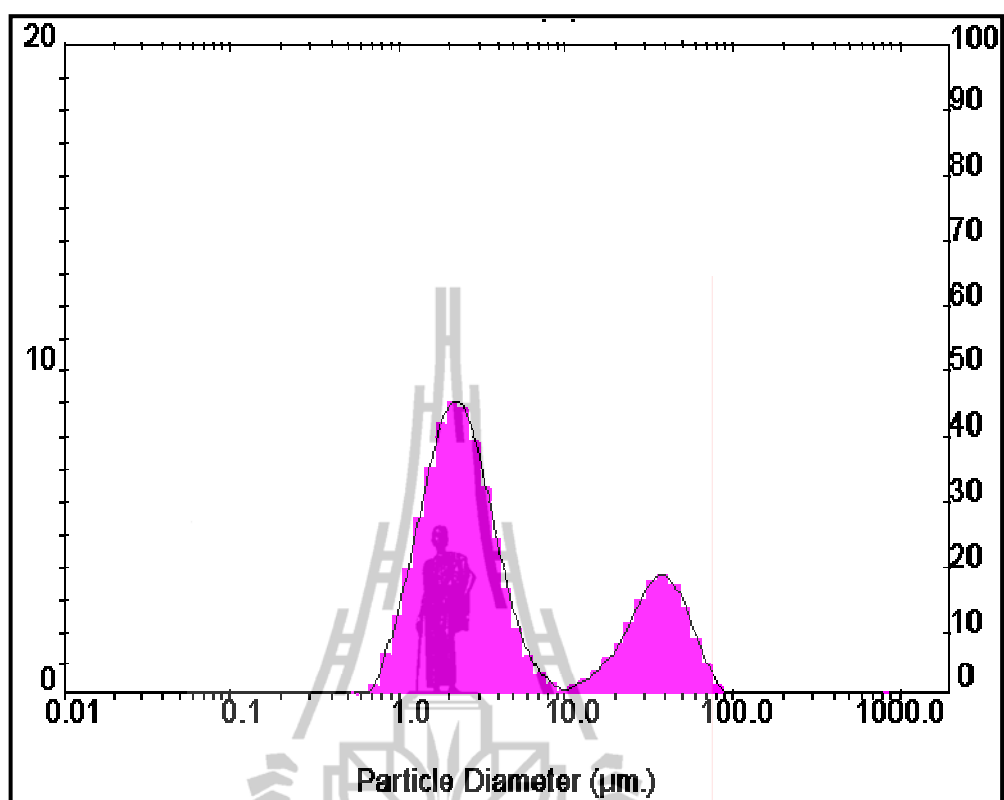
ผลการทดลอง



รูปที่ ข.1 กราฟแสดงการกระจายตัวของเม็ดแป้ง HDP

ตารางที่ ข.1 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดแป้งดัดแปร HDP ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจากเครื่อง Laser particle size Analyzer

ID: HDP		Run No: 12		Measured: 31/7/109 13:46 PM			
File: Kallaya		Rec. No: 12		Analysed: 31/7/109 13:46 PM			
Path: C:\PIYARAT\25-12-08\				Source: Analysed			
Range: 300 mm		Beam: 14.30 mm		Sampler: MS1			
Presentation: 30HD		Analysis: Polydisperse		Obs': 17.6 %			
Modifications: None				Residual: 0.248 %			
Conc. = 0.0114 %\Vol		Density = 1.000 g/cm <sup>3</sup>		S.S.A = 0.2300 m <sup>2</sup> /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 33.74 um		D[3, 2] = 26.09 um			
D(v, 0.1) = 15.73 um		D(v, 0.5) = 31.46 um		D(v, 0.9) = 55.20 um			
Span = 1.254E+00		Uniformity = 3.873 E-01					
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.494	0.00	3.21	0.03	20.84	4.14	135.3	0.00
0.532	0.00	3.46	0.04	22.45	4.69	145.8	0.00
0.574	0.00	3.73	0.05	24.20	5.19	157.2	0.00
0.618	0.00	4.02	0.06	26.03	5.64	169.4	0.00
0.667	0.00	4.33	0.07	28.11	6.08	182.5	0.00
0.718	0.00	4.66	0.08	30.29	6.49	196.7	0.00
0.774	0.00	5.03	0.09	32.65	6.59	212.0	0.00
0.834	0.00	5.42	0.10	35.13	6.33	228.5	0.00
0.899	0.00	5.84	0.12	37.92	5.90	246.2	0.00
0.969	0.00	6.29	0.15	40.85	5.39	265.4	0.00
1.04	0.00	6.78	0.19	44.04	4.80	286.0	0.00
1.13	0.00	7.31	0.24	47.45	4.17	308.2	0.00
1.21	0.00	7.88	0.31	51.15	3.53	332.1	0.00
1.31	0.00	8.49	0.40	55.12	2.91	358.0	0.00
1.41	0.00	9.15	0.52	59.41	2.31	385.8	0.00
1.52	0.00	9.86	0.65	64.02	1.76	415.7	0.00
1.64	0.00	10.62	0.80	69.00	1.33	448.1	0.00
1.76	0.00	11.45	1.00	74.33	1.04	482.9	0.00
1.90	0.00	12.34	1.23	80.14	0.83	520.4	0.00
2.05	0.00	13.30	1.51	86.35	0.63	560.8	0.00
2.21	0.00	14.33	1.83	93.07	0.48	604.4	0.00
2.38	0.00	15.45	2.20	100.3	0.36	651.4	0.00
2.56	0.00	16.65	2.62	108.1	0.28	702.0	0.00
2.76	0.01	17.94	3.09	116.5	0.22	756.5	0.00
2.98	0.01	19.33	3.60	125.5	0.17	815.3	0.00
3.21	0.02	20.84		135.3	0.13	878.7	0.00

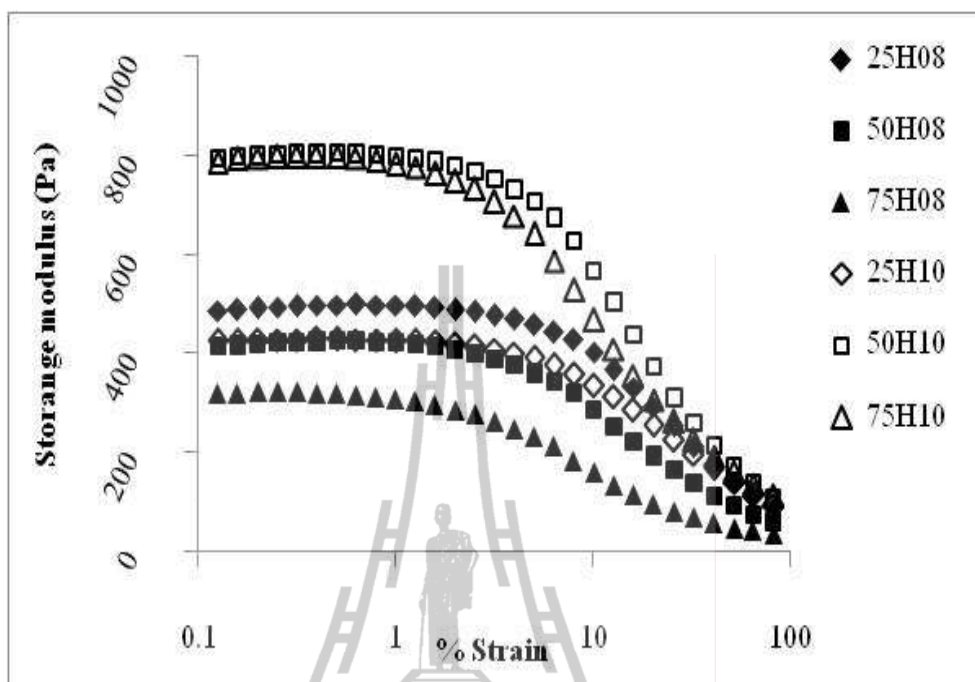


รูปที่ ข.2 กราฟการกระจายตัวของอนุภาคในตัวอย่าง 25H08 ที่วัดด้วยเครื่อง Laser particle size analyser

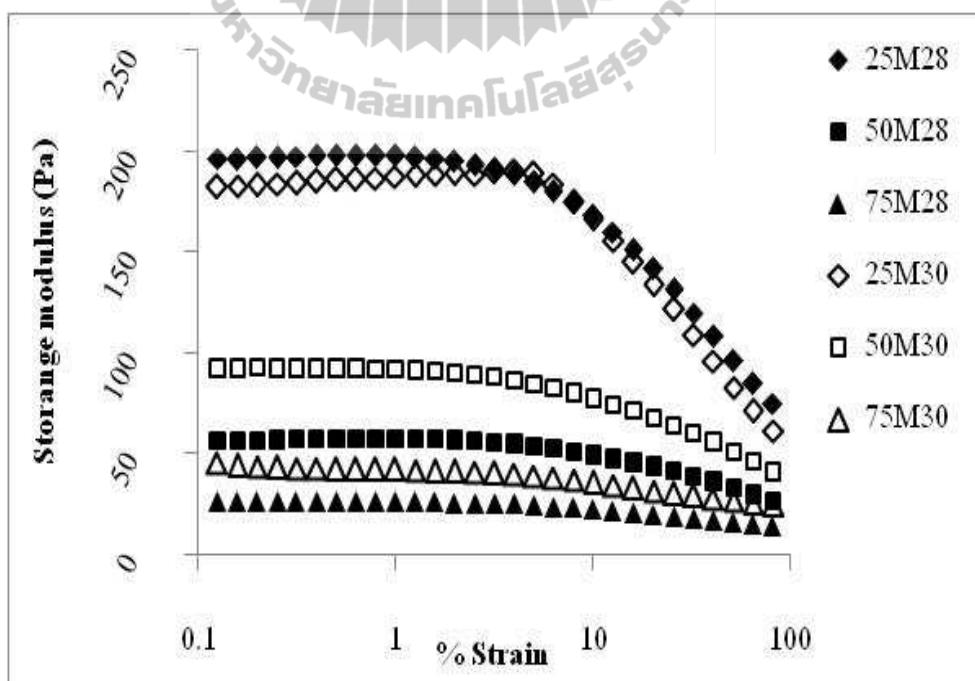


ตารางที่ ข.2 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจากเครื่อง Laser particle size analyzer ของตัวอย่าง 25H08

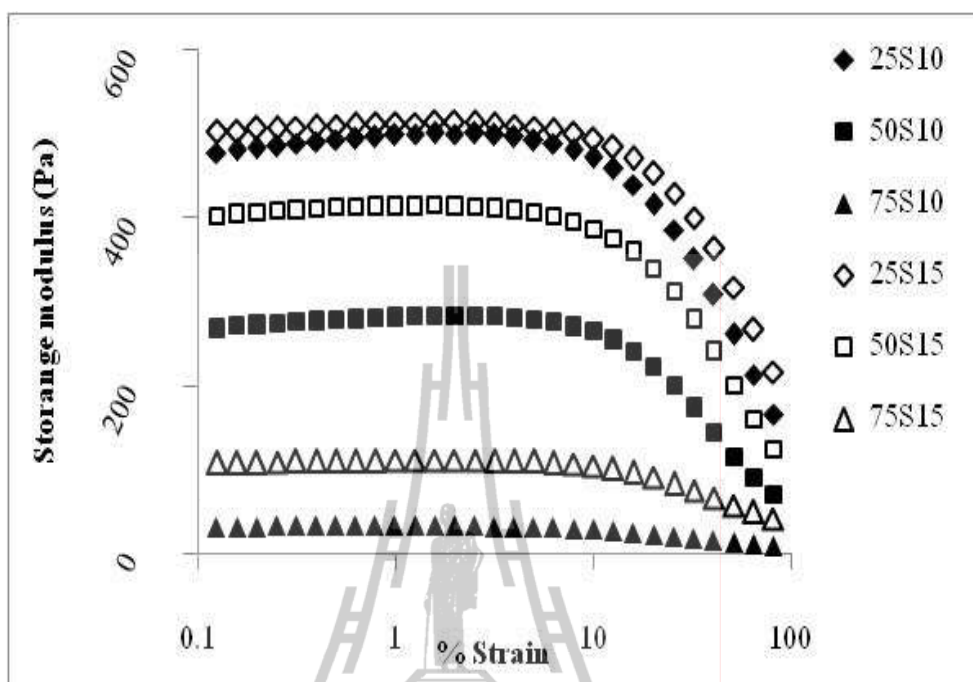
ID: 25H08_20		Run No: 18		Measured: 31/8/109 16:08PM			
File: Kallaya		Rec. No: 1613		Analysed: 31/8/109 16:08PM			
Path: C:\PIYARAT\25-12-08\				Source: Analysed			
Range: 300 mm		Beam: 14.30 mm		Sampler: MS1			
Presentation: 30HD		Analysis: Polydisperse		Obs': 20.8 %			
Modifications: None				Residual: 0.639 %			
Conc. = 0.0013 %Vol		Density = 1.000 g/cm <sup>3</sup>		S.S.A= 2.2441 m <sup>2</sup> /g			
Distribution: Volume		D[4,3] = 11.66 um		D[3,2] = 2.67 um			
D(v, 0.1) = 1.31 um		D(v, 0.5) = 2.82 um		D(v, 0.9) = 40.21 um			
Span = 1.382E+01		Uniformity = 3.494E+00					
Size (um)	Volume Under %	Size (um)	Volume Under %	Size (um)	Volume Under %	Size (um)	Volume Under %
0.532	0.00	3.46	59.55	22.46	78.16	145.8	100.00
0.574	0.00	3.73	62.34	24.20	79.18	157.2	100.00
0.618	0.01	4.02	64.73	26.08	80.38	169.4	100.00
0.667	0.04	4.33	66.76	28.11	81.75	182.5	100.00
0.718	0.11	4.66	68.43	30.29	83.28	196.7	100.00
0.774	0.32	5.03	69.78	32.65	84.96	212.0	100.00
0.834	0.77	5.42	70.84	35.18	86.73	228.5	100.00
0.899	1.49	5.84	71.67	37.92	88.56	246.2	100.00
0.969	2.50	6.29	72.30	40.86	90.39	265.4	100.00
1.04	3.82	6.78	72.77	44.04	92.16	286.0	100.00
1.13	5.48	7.31	73.12	47.46	93.81	308.2	100.00
1.21	7.51	7.88	73.40	51.15	95.29	332.1	100.00
1.31	9.92	8.49	73.62	55.12	96.57	358.0	100.00
1.41	12.71	9.15	73.75	59.41	97.63	385.8	100.00
1.52	15.89	9.86	73.82	64.02	98.45	415.7	100.00
1.64	19.43	10.62	73.89	69.00	99.08	448.1	100.00
1.76	23.29	11.45	74.03	74.36	99.53	482.9	100.00
1.90	27.42	12.34	74.22	80.14	99.83	520.4	100.00
2.05	31.73	13.30	74.44	86.36	99.98	560.8	100.00
2.21	36.14	14.33	74.71	93.07	100.00	604.4	100.00
2.38	40.56	15.45	75.04	100.3	100.00	651.4	100.00
2.56	44.88	16.65	75.48	108.1	100.00	702.0	100.00
2.76	49.00	17.94	75.98	116.5	100.00	756.5	100.00
2.98	52.86	19.33	76.59	125.6	100.00	815.3	100.00
3.21	56.39	20.84	77.30	135.3	100.00	878.7	100.00



รูปที่ 3.3 Linear viscoelastic region ของตัวอย่างมาของเนสที่เตรียมจากแป้ง HDP

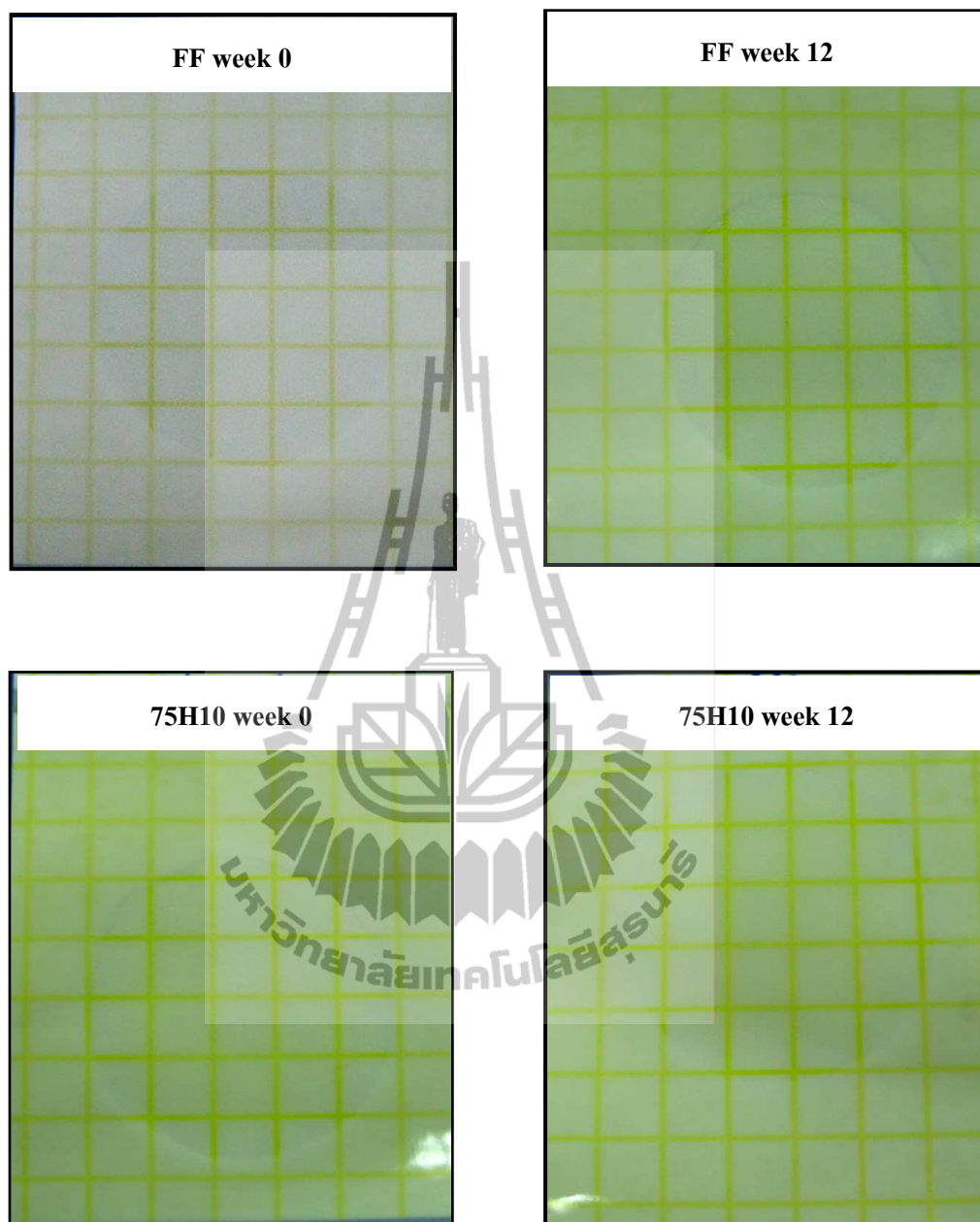


รูปที่ 3.4 Linear viscoelastic region ของตัวอย่างมาของเนสที่เตรียมจากแป้ง MD

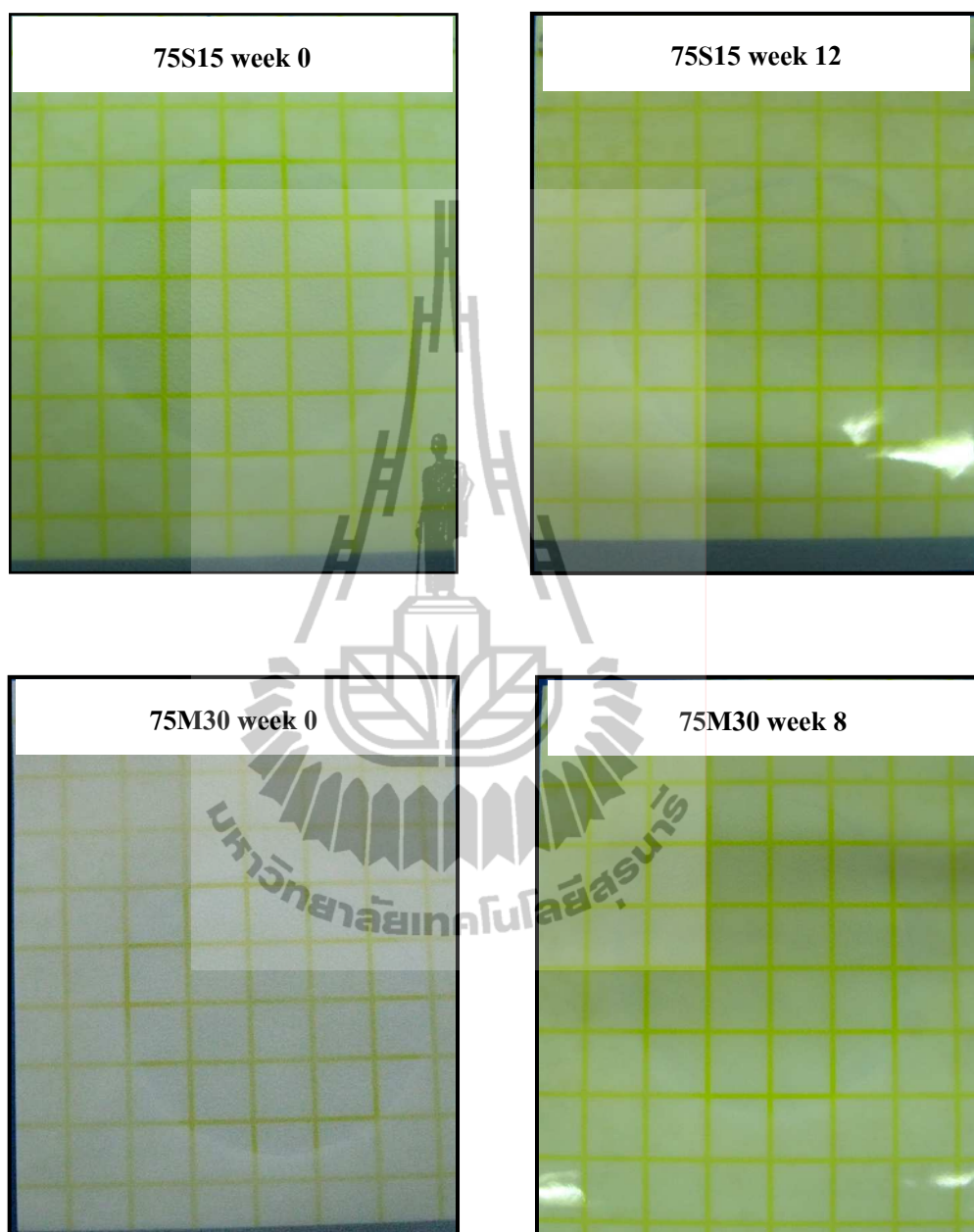


รูปที่ ข.5 Linear viscoelastic region ของตัวอย่างนาของเนสที่เตรียมจากแป้ง SSO





รูปที่ ข.6 แผ่นอาหารเลี้ยงสำเร็จรูป 3M petrifilm ที่ไม่พบการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย



รูปที่ ข.6 (ต่อ) แผ่นอาหารเลี้ยงสำเร็จรูป 3M petrifilm ที่ไม่พบการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวกัลยา ชันชรรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม 2522 ที่อำเภอบัวเชด จังหวัดสุรินทร์ จบการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัยนนทบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2544 หลังจากนั้นจึงได้สมัครเข้าทำงานที่บริษัทเขนเนรลสตาร์ช จำกัด จ.นครราชสีมา เป็นระยะเวลา 5 ปี แล้วเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท ในสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2550

### ประสบการณ์การทำงาน

- ฝึกงานในตำแหน่งนักศึกษาฝึกงานที่บริษัท โคออบฟู๊ดส์ จ.สมุทรปราการ (เมษายน – พฤษภาคม พ.ศ 2543)
- ปฏิบัติงานในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังคัดแปรรูป บริษัทเขนเนรลสตาร์ช จำกัด (พ.ศ 2545-2550)

### ประสบการณ์ด้านวิชาการ

- Rheological Properties of Reduced Fat Mayonnaise by Using Modified Starch, E1442 as Fat Substitute, Kallaya Khantarat and Siwatt Thaiudom. Oral presentation. IWEAR5. 21-23 Jan, 2010, Pusan National University, KOREA
- The Stability and Rheological Properties of Fat-Reduced Mayonnaises by Using Modified Starches as Fat Replacer. Kallaya Khantarat and Siwatt Thaiudom. poster presentation. ICAAI2010 19-20 Nov. 2010 มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย
- Physical Properties and Sensory Evaluation of Fat-Reduced Mayonnaises Substituted by Hydroxypropyl Distarch Phosphate. Kallaya Khantarat and Siwatt Thaiudom. Poster presentation. SUTGRAD#3 21-23 Nov. 2010 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา