

คุณสมบัติด้านรีโอดีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ทำจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์
RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SPREAD PRODUCT
FROM VIRGIN COCONUT OIL

พรรณีตา ฤาโชคชัย
PANNIPA RUECHOKCHAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาด้านหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2553

KMITL-2009-EN-M 220-001

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SPREAD PRODUCT FROM
VIRGIN COCONUT OIL



T107444

พรรณิภา ฤาโชคชัย

PANNIPA RUECHOKCHAI

เลขหมู่.....107444
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี 29 ส.ค. 2553

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2009-EN-M-220-001

**RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SPREAD PRODUCT FROM
VIRGIN COCONUT OIL**

PANNIPA RUECHOKCHAI

**A THESIS SUBMITTED IN
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

KMITL-2009-EN-M-220-001

COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ คุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์
Thesis Title Rheological Characterization of Spread Product from Virgin Coconut Oil
นักศึกษา นางสาวพรรณิภา ฤาโชคชัย
รหัสประจำตัว 49061105
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-220-001

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|-----------------|------------|
| รศ.ดร.ประกอบ | กิจไชยา | |
| รศ.ดร.ดวงกมล | ณ ระนอง | |
| ดร.สันติ | วัฒนานุสรณ์ | |
| ดร.วารุณี | วารัญญานนท์ | |
| ผศ.ดร.มาฤดี | ผ่องพิพัฒน์พงศ์ | |

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2552 เวลา 09.30-11.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2552

สำนักงานวิทยานิพนธ์และประเมินผล สอ.
วันที่ส่งกลับวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 25 เดือน ๑๑ พ.ศ. 2553
ลงชื่อ.....

| | |
|-----------------------|--|
| Thesis Title | Rheological Characterization of Spread Product from Virgin Coconut Oil |
| Student | Miss Pannipa Ruechokchai |
| Student ID. | 49061105 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Chemical Engineering |
| Year | 2010 |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Dr. Maradee Phongpipatpong |

ABSTRACT

The objectives of this study was to determine the effects of variables in production to rheological properties of spread products from virgin coconut oil. The study parameters included the rotational speed of homogenizer, concentration of virgin coconut oil and emulsifier quantity. The rheological properties of spread are important in the design of how system and product quality. Spread products were found to exhibit non-Newtonian, pseudo-plastic behavior. The relationship between shear stress and shear rate was successfully fitted by the power-law model. The flow behavior index (n) was in the range of 0.4034 – 0.7805, the parameter was increased with increasing virgin coconut oil concentration, emulsifier concentration and the rotational speed. The consistency coefficient (K) was in the range of 2387.81 – 7998.34 Pa s ^{n} , the parameter was increased with increasing virgin coconut oil concentration and emulsifier concentration. The relationship between temperature (30, 45 and 60 C) and consistency coefficient (K) was described by an Arrhenius equation. The activation energy (E_a) appeared in the range of 6.652 – 52.212 KJ/mol.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ผู้ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี อาจารย์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ในการคิดแก้ปัญหา พัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร และภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆอย่างดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแก่ ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้

นางสาว พรรณิภา ฤาโชคชัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VI |
| สารบัญรูป..... | VII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 2 |
| 1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน..... | 3 |
| 1.5 ขอบเขตการวิจัย..... | 3 |
| 1.6 ขั้นตอนการศึกษา..... | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าว..... | 5 |
| 2.1.1 มะพร้าว..... | 5 |
| 2.1.2 น้ำมันมะพร้าว..... | 5 |
| 2.1.3 องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว..... | 6 |
| 2.2 อิมัลชัน..... | 10 |
| 2.2.1 ชนิดของอิมัลชัน..... | 10 |
| 2.2.2 ส่วนประกอบของอิมัลชัน..... | 12 |
| 2.2.3 กลไกการเกิดอิมัลชัน..... | 13 |
| 2.3 คุณสมบัติด้านรีโอโลยี..... | 14 |
| 2.3.1 ความหนืด..... | 14 |
| 2.3.2 การแบ่งประเภทลักษณะพฤติกรรมการไหล..... | 16 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 22 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... | 27 |
| 3.1 วัสดุคิบทที่ใช้ศึกษา..... | 27 |
| 3.2 วิธีการทดลอง..... | 27 |
| 3.3 การวางแผนการทดลอง..... | 28 |
| 3.4 วิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์..... | 30 |
| 3.4.1 วิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระ..... | 30 |
| 3.4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีโอ โลยี | 31 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง..... | 33 |
| 4.1 ผลการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ | 33 |
| 4.2 พฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ | 34 |
| 4.3 คุณสมบัติด้านรีโอ โลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์..... | 35 |
| 4.3.1 Flow behavior index (n)..... | 35 |
| 4.3.2 Consistency coefficient (K)..... | 39 |
| 4.3.3 ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติรีโอ โลยีของผลิตภัณฑ์สเปรด..... | 41 |
| 4.4 ปริมาณน้ำอิสระ..... | 44 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... | 46 |
| บรรณานุกรม..... | 47 |
| ภาคผนวก..... | 49 |
| ภาคผนวก ก. โปรแกรมแมทแลปที่ใช้ในการเขียนกราฟ..... | 50 |
| ภาคผนวก ข. ค่า Anova จากการคำนวณตามสมการ Multiple Linear Regression Analysis..... | 52 |
| ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่..... | 57 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 65 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชบางชนิด..... | 8 |
| 2.2 ตัวอย่างลักษณะพฤติกรรมกรไหลและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง..... | 22 |
| 3.1 แสดงส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ทดลอง..... | 27 |
| 3.2 แสดงขั้นตอนการทดลองเพื่อคำนวณหาจำนวนครั้งการทดลองทั้งหมด..... | 29 |
| 3.3 แสดงผลการทดลองแบบ Box Behnken..... | 30 |
| 4.1 แสดงผลของการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรด..... | 33 |
| 4.2 แสดงค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส..... | 35 |
| 4.3 แสดงค่าของ n, K ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... | 36 |
| 4.4 แสดงค่าของ K, n ที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส..... | 42 |
| 4.5 แสดงค่า a_w ผลิตภัณฑ์สเปรดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์..... | 45 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 แผนภาพการไหลในของไหล..... | 14 |
| 2.2 ลักษณะของพฤติกรรมการไหล..... | 16 |
| 2.3 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน..... | 17 |
| 2.4 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทซูโดพลาสติก..... | 18 |
| 2.5 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทไคลาแทนต์..... | 18 |
| 2.6 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทบิงแฮม..... | 19 |
| 2.7 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทพลาสติก..... | 19 |
| 2.8 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทไซโซทรอปิก..... | 20 |
| 2.9 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทรีโอเพคซิก..... | 21 |
| 3.1 แผนผังขั้นตอนการทดลอง..... | 28 |
| 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของสเปรดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... | 34 |
| 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และปริมาณไข่แดงผง ต่อค่า flow behavior index (n) ที่ความเร็วรอบการผสมที่ระดับ 5000, 7500, และ 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิคงที่ 30 องศาเซลเซียส..... | 38 |
| 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของค่า Flow behavior index (n) ที่ได้จากการทดลองและค่า n ที่ได้จากสมการที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... | 37 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และปริมาณไขแดงผง ต่อค่า consistency coefficient (K) ที่ความเร็วรอบการผสมที่ระดับ 5000, 7500, และ 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิคงที่ 30 องศาเซลเซียส..... | 40 |
| 4.5 แสดงการเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของค่า Consistency coefficient (K) ที่ได้จากการทดลอง และค่า K ที่ได้จากสมการที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... | 41 |
| 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และค่าพลังงานกระตุ้น ที่ปริมาณไขแดงผงร้อยละ 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก..... | 43 |
| 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ (ไขแดงผง) และค่าพลังงานกระตุ้น ที่ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก | 43 |
| 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนของเครื่อง โฮโมจีไนเซอร์และค่าพลังงานกระตุ้น ที่ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก..... | 44 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะพร้าวเป็นพืชพื้นเมืองสำคัญของไทย มะพร้าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน จนได้ชื่อว่าเป็นต้นไม้สารพัดประโยชน์[1] ประเทศไทยมีปริมาณการเพาะปลูกมะพร้าวเป็นจำนวนประมาณ 2 ล้านต้นต่อปี ปัจจุบันส่งออกจำหน่ายในรูปแบบเนื้อมะพร้าวฝอย เนื้อมะพร้าวแห้ง กะทิสำเร็จรูป รวมทั้งน้ำมันมะพร้าว [2]

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil) เป็นน้ำมันมะพร้าวที่สกัดโดยไม่ผ่านความร้อน และไม่ผ่านการเติมออกซิเจน น้ำมันที่ได้มีความบริสุทธิ์ สีใส และมีปริมาณวิตามินอีสูง [1,3] วิตามินอีที่มีอยู่ในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ มีกรดลอริกซึ่งเป็นสารปฏิชีวนะ[4,5] กรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว ส่วนใหญ่มีโมเลกุลขนาดกลาง สามารถถูกดูดซึมในร่างกายเกิดเป็น พลังงาน ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่มีไขมันเหลือสะสมในร่างกาย จึงช่วยลดความอ้วน โดยไปนำไขมันที่ร่างกายสะสมไว้ ออกมาใช้เป็นพลังงาน[6]

ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสำคัญต่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์และมีคุณค่าครบถ้วน การเลือกรับประทานอาหาร จึงมิได้มุ่งเน้นที่รสชาติความอร่อยและอิมพ์ท้องถิ่น หากแต่ยังพิจารณาถึงประโยชน์ที่จะนำไปสู่การมีสุขภาพที่ดีปราศจากโรคภัยไข้เจ็บด้วย

ช็อกโกแลตสเปรดเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมมากในแถบตะวันตก และมีแนวโน้มได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น ในเอเชียตามลำดับ ส่วนผสมสำคัญในการผลิตช็อกโกแลตสเปรดที่วางขายในท้องตลาดจะมีน้ำมันจากถั่วผสมอยู่ประมาณ 13 - 15 เปอร์เซ็นต์ [7] ทำให้ผู้ที่มีปัญหาสุขภาพหรือผู้ที่แพ้ถั่วไม่สามารถบริโภคผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้ ดังนั้นการเลือกใช้น้ำมันมะพร้าวมาทดแทนน้ำมันจากถั่ว จึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภค ยิ่งกว่านั้นการใช้ส่วนผสมทดแทนน้ำตาลในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทสเปรด จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเป็นผลดีต่อสุขภาพ นับเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่รักสุขภาพมากขึ้น

การผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดเป็นการผสมส่วนประกอบที่เป็นไขมันหรือน้ำมันกับส่วนที่เป็นน้ำหรือสารละลายของน้ำ ซึ่งทั้งสองส่วนนี้ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้เข้ากัน เรียกว่า เป็นการทำ “อิมัลชัน” โดยทั่วไปส่วนที่เป็นไขมัน/น้ำมัน เป็น continuous phase ส่วนที่เป็นสารละลายน้ำ เป็น disperse phase ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เมื่อนำมาบริโภคจะมีลักษณะเป็นครีมข้น ไม่แยกชั้น สามารถ

นำมาทาบนอาหารอื่น เช่น ขนมปังได้ มีรายงานการศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีในผลิตภัณฑ์ประเภทสเปรดจากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น น้ำมันถั่ว น้ำมันงา น้ำมันปาล์ม ออ์น ลูกพรุน ซึ่งได้สรุปว่าคุณสมบัติทางรีโอโลยี โดยเฉพาะทางด้านความหนืดและพฤติกรรมการไหลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ สามารถนำมาบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค [8,9,10] เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องต่อการผลิต เช่น อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ ชนิดและปริมาณของสารช่วยลดแรงตึงผิว (อิมัลซิฟายเออร์) เทคนิคการทำอิมัลชัน อุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการทำอิมัลชัน เป็นต้น ความเข้าใจถึงผลของตัวแปรในการผลิตจะเป็นประโยชน์ในการควบคุมการผลิตให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ตามต้องการ สำหรับการนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สเปรดยังมีได้มีการศึกษากันมาก การศึกษาวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวและความเข้าใจถึงผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการผลิตต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ได้จากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อช่วยพัฒนาและเพิ่มศักยภาพในการแปรรูปมะพร้าวของประเทศต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษากรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์
2. ศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์
3. ศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการผลิต (ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าว ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์ ความเร็วรอบการหมุน) ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของซ็อกโกแลตจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

คุณสมบัติทางรีโอโลยี โดยเฉพาะทางด้านความหนืดและพฤติกรรมการไหลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ประเภทสเปรด สามารถนำมาบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค และความเข้าใจปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องต่อการผลิต เช่น อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ ชนิดและความเข้มข้นของสารช่วยลดแรงตึงผิว (อิมัลซิฟายเออร์) เทคนิคการทำอิมัลชัน อุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการทำอิมัลชัน เป็นต้น ย่อมเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมการผลิตเพื่อให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ตามต้องการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าว [1, 11]

2.1.1 มะพร้าว

มะพร้าวถือว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอย่างหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากคนไทยรู้จักใช้เนื้อมะพร้าวในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาวและหวานในชีวิตประจำวัน ซึ่งจากสำนักงานสถิติแห่งชาติได้เคยสำรวจพบว่า ประชากรไทย 1 คน จะบริโภคเนื้อมะพร้าวประมาณปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผล/คน/ปี ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีผลเมืองประมาณ 60 ล้านคน จะใช้ผลมะพร้าวประมาณ 990 ล้านผล หรือประมาณ 65% ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือประมาณ 35% ของผลผลิตทั้งหมด หรือ 489 ล้านผล ใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออกต่อไป ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมมะพร้าวใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ

1. ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภค เช่น อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น อุตสาหกรรมมะพร้าวชุคแห้ง อุตสาหกรรมน้ำตาลมะพร้าว
2. ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมและอุปโภคเช่นอุตสาหกรรมเส้นใยมะพร้าวอุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ อุตสาหกรรมเผาถ่านจากกะลามะพร้าว อุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

ผลผลิตมะพร้าวแต่ละปีจะมีมูลค่าไม่ต่ำกว่าปีละ 2,700 ล้านบาทและมีปริมาณผลผลิตเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการหาทางส่งเสริมการแปรรูปพัฒนาผลิตภัณฑ์มะพร้าวจะเป็นการสร้างมูลค่ามหาศาลให้กับมะพร้าวอีกต่อไป

2.1.2 น้ำมันมะพร้าว

น้ำมันมะพร้าว แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามกระบวนการผลิตดังนี้

1. น้ำมันมะพร้าว **refining, bleaching, deodorization** ; (RBD) ทำการสกัดได้จากเนื้อมะพร้าวห้าวโดยการบีบ หรือใช้ตัวทำละลาย กระบวนการผลิตผ่านความร้อนสูง และผ่านกระบวนการทางเคมี RBD คือการทำให้บริสุทธิ์ (refining) ฟอกสี (bleaching) และกำจัดกลิ่น (deodorization) หลังจากที่ได้สกัดได้ เพื่อให้เหมาะสำหรับการบริโภค ได้น้ำมันสีเหลืองอ่อน ไม่มีกลิ่นและรส ปราศจากวิตามินอี (เพราะถูกขจัดออกไปโดยขบวนการทางเคมี) มีปริมาณกรดไขมันอิสระ

(free fatty acid) ไม่เกิน 0.1 % ปัจจุบันไม่ค่อยมีจำหน่าย เพราะโรงงานสกัดน้ำมันมะพร้าวประเภทนี้ส่วนใหญ่เลิกดำเนินการไปแล้ว

2. น้ำมันมะพร้าวบีบเย็น (cold-pressed coconut oil) โดยกระบวนการบีบไม่ผ่านความร้อนสูง ผลิตจากเนื้อมะพร้าวสดเป็นน้ำมันมะพร้าวที่บริสุทธิ์ที่สุด สีใสเหมือนน้ำ มีวิตามินอี และไม่ผ่านขบวนการเติมออกซิเจน (oxidation) มีค่า peroxide และกรดไขมันอิสระต่ำมีกลิ่นมะพร้าวอย่างอ่อน ๆ ถึงแรง (ขึ้นอยู่กับกระบวนการการผลิต) มีความชื้นไม่เกิน 0.1 % เรียกน้ำมันมะพร้าวชนิดนี้ว่า น้ำมันมะพร้าวพรหมจรรย์ (Virgin Coconut Oil) หรือน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ เป็นน้ำมันที่ผลิตโดยอุตสาหกรรมขนาดเล็ก หรือในครัวเรือน

2.1.3 องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil)

ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจต่อน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มาก เนื่องจากส่วนประกอบที่มีในน้ำมันมะพร้าวมีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1.) กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids)

น้ำมันมะพร้าว ประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัว กว่า 90 % อะตอมของธาตุคาร์บอนของกรดไขมันที่อิ่มตัวจะต่อกันเป็นเส้น (chain) โดยมีพันธะเดี่ยว (single bond) จับกันเองเป็นเส้นยาวตามจำนวนของคาร์บอน แต่ละอะตอมของคาร์บอนจะมีไฮโดรเจนติดอยู่ 2 ตัว เนื่องจากแต่ละอะตอมของคาร์บอนไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีกเพราะไม่มีพันธะว่าง จึงเรียกน้ำมันที่มีกรดไขมันประเภทนี้ว่า “น้ำมันอิ่มตัว” กรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันมะพร้าวส่วนใหญ่ มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน 8 – 14 ตัว กรดไขมันที่สำคัญได้แก่ กรดคาปริก (capric acid – C10) กรดลอริก (Lauric acid – C12) และกรดไมริสติก (myristic acid – C14) ทำให้โมเลกุลมีความยาวของเส้น (chain) ขนาดปานกลาง เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัวโดยที่พันธะ (bond) ที่จับกันระหว่างอะตอมของคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยว (single bond) ทำให้มีความเสถียรหรืออยู่ตัว (stability) สูงจึงไม่ถูกอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าไปแทรก ซึ่งเรียกว่า hydrogenation และ oxidation ได้ง่าย ๆ และ ไม่มีกลิ่นหืนเหมือนน้ำมันไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะพวกที่เป็นน้ำมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated oil) ซึ่งมีพันธะคู่หลายตำแหน่งเมื่อถูกความร้อนสูงจะทำให้เกิดเป็น trans fatty acids ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดทำให้เกิดผลร้ายต่อร่างกายมากมาย เช่น ทำลาย เยื่อหุ้มเซลล์ (membrane) อันเป็นผลทำให้เซลล์อ่อนแอจนเชื้อโรคและสารพิษเข้าไปได้สะดวก ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง เปลี่ยนแปลงกลไกของร่างกายในการขจัดคอเลสเตอรอลโดยการขัดขวางการเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในตับ จึงทำให้มีปริมาณคอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้นในกระแสโลหิต ลดปริมาณและ

คุณภาพของนมนี้แหล่งของมารดาเพิ่มโอกาสเป็นโรคเบาหวาน ลดปริมาณของฮอรัโมนเทสโตสเทอโรล ในเพศชาย เป็นต้น

นอกจากนี้ น้ำมันมะพร้าวยังประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) แต่มีเพียง 9 % ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่มีอะตอมของคาร์บอน 1 ตัว ไม่มีไฮโดรเจน 2 ตัวมาจับ จึงต้องจับคู่กันเองด้วยพันธะคู่ (double bond) จึงเป็น กรดไขมันที่มีพันธะคู่เพียงหนึ่งคู่

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ ส่วนใหญ่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมาก จึงทำให้โมเลกุลมีความยาวมาก เช่น กรดลินโนเลอิก (linoleic acid – C18)

นอกจากนี้การที่กรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวเป็นโมเลกุลขนาดกลาง มีส่วนอย่างมากที่ทำให้ให้น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นเลิศคือ

2.) กรดลอริก (lauric acid)

น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันจากพืชที่มีกรดลอริกอยู่ในปริมาณที่สูงมาก ประมาณ 48 – 53 % และกรดลอริกนี้เอง ที่ทำให้น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติพิเศษในการเสริม สุขภาพและ ความงามของมนุษย์ น้ำมันมะพร้าวยังมีกรดคาปริก (capric acid) ซึ่งแม้ว่าจะมีน้อยกว่ากรดลอริก คือ มีเพียง 6-7 % แต่ก็ช่วยเสริมประสิทธิภาพของกรดลอริก

น้ำมันมะพร้าวมีกรดลอริก (lauric acid) อยู่ประมาณ 50 % กรดนี้ มีส่วนที่ทำให้ให้น้ำมันมะพร้าวดีเด่นกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ เพราะมีความสามารถพิเศษ คือ

- สร้างภูมิคุ้มกัน เมื่อเราบริโภคน้ำมันมะพร้าวเข้าไปในร่างกาย กรดลอริกในน้ำมันมะพร้าวจะเปลี่ยนเป็น โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ที่มีชื่อว่า โมโนลอรีน (monolaurin) ซึ่งเป็นสารตัวเดียวกับที่อยู่ในน้ำมันมารดา ที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกันให้กับทารกในระยะ 6 เดือนแรก ที่ร่างกายยังไม่สร้างระบบภูมิคุ้มกันโรค

- ฆ่าเชื้อโรค โมโนลอรีนเป็นสารปฏิชีวนะที่ทำลายเชื้อโรคทุกชนิดได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ยีสต์ โปรโตซัว และไวรัส ไวรัสบางชนิด ที่ยาปฏิชีวนะทั่วไป ทำลายไม่ได้เนื่องจากมีเกราะที่เป็นไขมันห่อหุ้ม (lipid-coated membrane) แต่เกราะนี้ก็จะถูกละลายโดยน้ำมันมะพร้าวเพื่อเปิดโอกาสให้โมโนลอรีนเข้าไปฆ่าเชื้อโรค สารปฏิชีวนะในน้ำมันมะพร้าว ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ และจะถูกสร้างขึ้นในร่างกายของมนุษย์เมื่อบริโภคอาหารที่มีกรดลอริก อีกทั้งไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในลำไส้

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชบางชนิด (ร้อยละ)

| | Coconut | Palm | Palm | Olive | Soybean |
|-----------------------|---------|--------|------|-------|---------|
| | Oil | Kernel | Oil | Oil | Oil |
| | | Oil | | | |
| A. Saturated | | | | | |
| C6:0 Caproic | 0.5 | 0.3 | - | - | - |
| C8:0 Caprylic | 8 | 3.9 | - | - | - |
| C10:0 Capric | 7 | 4 | - | - | - |
| C12:0 Lauric | 48 | 49.6 | 0.3 | - | |
| C14:0 Myristic | 17 | 16 | 1.1 | - | 0.1 |
| C16:0 Palmitic | 9 | 8 | 45.2 | 14 | 10.5 |
| C18:0 Stearic | 2 | 2.4 | 4.7 | 2 | 3.2 |
| C20:0 Arachidic | 0.1 | 0.1 | 0.2 | - | 0.2 |
| B. Unsaturated | | | | | |
| C16:1 Palmitoleic | 0.1 | - | - | 1 | - |
| C18:1 Oleic | 6 | 13.7 | 38.8 | 71 | 22.3 |
| C18:2 Linoleic | 2.3 | 2 | 9.4 | 10 | 54.5 |
| C18:3 Linoleic | - | - | 0.3 | 0.8 | 8.3 |
| C20:4 Arachidonic | - | - | - | - | 0.9 |
| % Unsaturated | 8.4 | 15.7 | 48.5 | 82.8 | 90.8 |

3.) วิตามินอี (vitamin E)

น้ำมันมะพร้าวที่ไม่ผ่านขบวนการ RBD (refining, bleaching, deodorization) ยังคงมีวิตามินอีเหลืออยู่ และก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ทำให้น้ำมันมะพร้าวโดดเด่นกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ

น้ำมันมะพร้าว ที่ผลิตจากมะพร้าวแห้งที่เก็บไว้นาน ๆ จะมีจุลินทรีย์ปนเปื้อน ตลอดจนถูกแสงแดดและความร้อน เมื่อนำไปสกัดน้ำมันมะพร้าวโดยวิธีหีบหรือการใช้ตัวทำละลาย จึงสูญเสียคุณสมบัติที่ดี โดยเฉพาะสิ่งที่ทำให้มันไม่หืน และเมื่อถูกนำไปผ่านขบวนการทางเคมี RBD (refining, bleaching, deodorization) ก่อนที่จะนำไปบริโภคจะสูญเสียวิตามินอีไป แต่ก็ยังเป็นน้ำมัน

ที่ดีต่อสุขภาพ ทรายใบไม้ที่ไม่ได้ถูกเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยขบวนการเติมไฮโดรเจนหรือเติมสารกันเสีย (preservatives) เพื่อรักษาสภาพให้คงทนและไม่หืน แต่น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ซึ่งสกัดได้โดยวิธีหมัก หรือวิธีบีบเย็น ไม่ใช้อุณหภูมิสูง และไม่ผ่านขบวนการทางเคมี จะยังคงมีวิตามินอีเหลืออยู่ วิตามินอีในน้ำมันมะพร้าว มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- **ต่อต้านอนุมูลอิสระ** วิตามินอี ทำหน้าที่เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยการป้องกันเซลล์ไม่ให้ถูกเติมออกซิเจน และเป็นตัวต่อต้านอนุมูลอิสระ (free radicals) ซึ่งเกิดจากมลพิษในสิ่งแวดล้อม อาหารและเครื่องดื่ม การสูบบุหรี่ รังสี ความเครียด ฯลฯ โดยปกติร่างกายของมนุษย์มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระคอยทำลายอนุมูลอิสระอยู่แล้ว แต่เมื่อบริโภคน้ำมันพืชประเภทไม่อิ่มตัวซึ่งถูกเติมออกซิเจน (oxidized) ได้ง่าย ๆ ตั้งแต่เริ่มสกัด ตลอดจนระหว่างการขนส่ง การวางจำหน่าย และการเก็บรักษาก่อนบริโภค จึงเกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ง่าย อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะไปปลงล้างประสิทธิภาพ (neutralize) ของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในร่างกาย ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เป็นผลเสียแก่เซลล์และเนื้อเยื่อ เนื่องจากอนุมูลอิสระเป็น โมเลกุลที่เปลี่ยนสภาพโดยการสูญเสียอิเล็กตรอน (electron) จึงไปจับกับ โมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงต่อไปเรื่อย ๆ เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เป็นผลทำให้เซลล์ผิดปกติไป เช่น เยื่อเซลล์ฉีกขาด เปลี่ยนสารพันธุกรรมใน นิวเคลียส เกิดการกลายพันธุ์ ทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับความเสื่อม (degenerative diseases) เช่น โรคหัวใจ มะเร็ง ไชข้ออักเสบ เบาหวาน โรคภูมิแพ้ ชราภาพก่อนวัย เป็นต้น

- **สารโทโคโทรอินอล (tocotrienol)** วิตามินอีในน้ำมันมะพร้าว มีสารโทโคโทรอินอล ซึ่งเป็นรูปของวิตามินอีที่มีอนุภาพสูงกว่าสาร โทโคเฟอรอล (tocopherol) ซึ่งอยู่ในวิตามินอีทั่วไป โดยเฉพาะที่มีอยู่ในเครื่องสำอางรักษาผิวถึง 40-60 เท่า ด้วยเหตุนี้ น้ำมันมะพร้าวจึงต่อต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.) กรดคาปริกและโมนคาปริน

แม้ว่าจะมีอยู่เพียง 6-7 % แต่กรดคาปริก (capric acid) ก็ช่วยเสริมประสิทธิภาพของ โมนลอริน โดยการเปลี่ยนเป็นสาร โมนคาปริน (monocaprin) เมื่อน้ำมันมะพร้าวถูกบริโภคเข้าไปในร่างกายซึ่งมีฤทธิ์เช่นเดียวกับ โมนลอริน ทั้งนี้ก็เพราะประสิทธิภาพของการทำงานของ โมนลอริน และ โมนคาปรินขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีอยู่

2.2 อิมัลชัน [12]

อิมัลชัน (Emulsion) หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งไม่เข้ากันหรือไม่ละลายในกันและกัน เช่น น้ำและน้ำมัน ถ้าต้องนำมาไว้ด้วยกันในลักษณะที่ผสมผสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกันก็ต้องใช้ตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier) เป็นตัวผสมทั้งสองเข้าด้วยกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันแต่ถ้ามองด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็จะเห็นเป็น 2 วัฏภาค คือ เห็นเป็นหยดเล็กๆ ของของเหลวชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่า วัฏภาคภายใน (internal or dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่า วัฏภาคภายนอก (External or continuous phase) โดยทั่วไปหยดของวัฏภาคภายในอาจมีขนาดต่างๆกัน ตั้งแต่ขนาดที่เล็กกว่า 0.05 ไมครอน จนถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคของวัฏภาคภายในมีผลต่อการกระจายแสงได้ต่างกัน จึงทำให้อิมัลชันมีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกัน โดยขนาดหยดอนุภาคของวัฏภาคภายในอิมัลชันที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่ามีขนาด เล็กกว่า 0.050 ไมครอน จะมีลักษณะ โปร่งใส (Transparent) 0.05 – 0.10 ไมครอน จะมีลักษณะ ขุ่นหรือ โปร่งใส (Translucent) 0.10–1.00 ไมครอน จะมีลักษณะ สีขาวอมฟ้า ใหญ่กว่า 1.00 ไมครอน จะมีลักษณะ ขุ่นขาวทึบ

2.2.1 ชนิดของอิมัลชัน

1. การจำแนกชนิดของผลิตภัณฑ์อิมัลชันตามลักษณะปรากฏ

ผลิตภัณฑ์อิมัลชันที่พบ โดยทั่วไปมักมีลักษณะขุ่นคล้ายน้ำนม แต่ความจริงแล้วอิมัลชันอาจมีลักษณะ โปร่งใสก็ได้ การแบ่งชนิดของอิมัลชันอาจมีได้หลายลักษณะ ดังนี้

แบ่งตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น ได้เป็น 2 ชนิดคือ

1.1 แมคโครอิมัลชัน (Macroemulsion) คือ อิมัลชันลักษณะขุ่นขาวที่พบ โดยทั่วไปนั่นเอง อนุภาคของวัฏภาคภายในของอิมัลชันชนิดนี้มีขนาดตั้งแต่ 0.25 – 10 ไมครอน (โดยทั่วไปจะใหญ่กว่า 1 ไมครอน) จึงทำให้เกิดความแตกต่างในค่าดัชนีการหักเหของแสงของวัฏภาคทั้งสอง และเกิดการกระจายแสงทำให้ดูมอมขุ่นขาว อิมัลชันนี้อาจแบ่งย่อยได้เป็นอิมัลชันเนื้อหยาบ (Coarse emulsion) ซึ่งมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ และอิมัลชันเนื้อละเอียด (Fine emulsion) ซึ่งมีอนุภาคค่อนข้างเล็กหรือเล็กกว่า 5 ไมครอนลงไป แมคโครอิมัลชันเป็นอิมัลชันชนิดที่พบมากที่สุดทั้งในอุตสาหกรรม อาหาร ยา และเครื่องสำอางค์ เช่น ไอศกรีม สลัดครีม ครีมรักษาโรคผิวหนัง ครีมกันแดด โลชั่นทาผิว เป็นต้น

1.2 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) มีลักษณะ โปร่งใส เนื่องจากอนุภาคของวัฏภาคภายในเล็กมาก (ประมาณ 10 – 75 นาโนเมตร) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นแสงที่

1.4 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

ซ็อก โกลแลตสเปรดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่นิยมบริโภคในต่างประเทศ ในซีกโลกตะวันตก และได้รับความนิยมมากขึ้นในเขตเอเชียรวมทั้งในประเทศไทยเพราะนอกจากผู้บริโภคนิยมในรสชาติแล้ว ยังสามารถบริโภคได้ง่ายและสะดวก ส่วนผสมในซ็อก โกลแลตสเปรดที่วางขายในท้องตลาดปัจจุบันจะมีน้ำมันจากพืชโดยเฉพาะถั่วเป็นส่วนประกอบที่สำคัญผสมอยู่ประมาณร้อยละ 13 – 15 [7] ส่งผลให้ผู้แพ้อั่วไม่สามารถบริโภคผลิตภัณฑ์นี้ได้ การเลือกใช้น้ำมันมะพร้าวมาเป็นองค์ประกอบหลักของซ็อก โกลแลตสเปรด จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้ที่มีอาการแพ้ถั่ว อีกทั้งยังเป็นผลดีต่อสุขภาพ เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นน้ำมันมะพร้าวที่บริสุทธิ์ที่สุดและมีประโยชน์บรรเทาด้วยวิตามินที่จำเป็น มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระ มีกรดลอริกซึ่งเป็นสารปฏิชีวนะ [4,5] กรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว ส่วนใหญ่มีโมเลกุลขนาดกลาง สามารถถูกดูดซึมในร่างกาย ให้เป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่มีไขมันเหลือสะสมในร่างกาย จึงช่วยลดความอ้วน โดยไปนำไขมันที่ร่างกายสะสมไว้ ออกมาใช้เป็นพลังงาน[6] การแปรรูปน้ำมันมะพร้าวในรูปสเปรดถือ เป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค ได้มากขึ้น และเพื่อเพิ่มศักยภาพในการแปรรูปมะพร้าวของประเทศ การศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ประเภทสเปรดด้วยคุณสมบัติด้านรีโอ โรยีเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ สามารถนำมาบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ในงานวิจัยนี้ยังศึกษาปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องต่อการผลิต เช่น อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ ชนิดและปริมาณของสารช่วยลดแรงตึงผิว (อิมัลซิไฟเออร์) เทคนิคการทำอิมัลชัน ความเข้าใจถึงผลของตัวแปรในการผลิตเป็นประโยชน์ในการควบคุมการผลิตให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ตามต้องการ และพบว่ายังไม่มีการศึกษาการนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทสเปรด ด้วยเหตุผลดังกล่าวผลิตภัณฑ์นี้จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจช่วยสร้างมูลค่าเพิ่ม และสามารถตอบสนองสำหรับผู้บริโภคอาหารเพื่อสุขภาพอย่างแน่นอน

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติด้านรีโอ โลยีของซ็อก โกลแลตสเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ภายใต้สภาวะการทดลองดังนี้

1.ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวระหว่างร้อยละ 30 – 50 โดยน้ำหนัก

2. ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์ (ไข่แดงผง) ระหว่างร้อยละ 5 – 10 โดยน้ำหนัก

3. ความเร็วรอบการหมุนของเครื่อง โฮ โมจิ ในเซอร์ระหว่าง 5,000 – 10,000 รอบต่อนาที
เวลาในการปั่น 30 นาที

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์และ วิธีการทดลองเพื่อผลิต ผลิตภัณฑ์ซ็อกโกแลตสเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

มองเห็นได้ (Visible light) จึงไม่หักเหหรือกระจายแสง แสงจึงสามารถทะลุผ่านได้ ทำให้คูโปรรงใส หยดของวิภูภาคภายในมีลักษณะกลมถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มของตัวทำอิมัลชัน มีทั้ง ชนิด O/W และ W/O

2. แบ่งตามชนิดของของเหลวที่เป็นวิภูภาคภายในและวิภูภาคภายนอก ได้เป็น 3 ชนิด

2.1 อิมัลชันชนิด น้ำในน้ำมัน (W/O Emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีวิภูภาคภายในเป็นน้ำ วิภูภาคภายนอกเป็นน้ำมันพบอิมัลชันชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมล้างหน้า (Cleansing cream) ครีมทากลางคืน (Night cream) ครีมนวดหน้า (Massage cream) และครีมฮอร์โมน (Hormone cream) เป็นต้น เนื่องจากอิมัลชันชนิดนี้ค่อนข้างเหนอะหนะและล้างน้ำออกยาก จึงเป็นที่นิยมใช้น้อย

2.2 อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W emulsion) อิมัลชันชนิดนี้กลับกันกลับชนิดแรก คือ มีวิภูภาคภายในเป็นน้ำมัน วิภูภาคภายนอกเป็นน้ำ จึงมีความเหนอะหนะน้อย ทาแล้วกระจาย ดี ล้างน้ำออกง่าย เป็นที่นิยมมากในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมแลโลชั่นทาผิว (Body cream and lotion) ครีมทาหน้า (Vanishing cream) ครีมกันแดด (Sun screen cream) ครีมรองพื้น (Foundation cream) เป็นต้น

2.3 อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีวิภูภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น W/O/W หรือ O/W/O อิมัลชันเชิงซ้อนเหล่านี้สามารถกลับกลายเป็นอิมัลชันชนิดธรรมดาได้ เช่น W/O/W ซึ่งมีน้ำเป็นวิภูภาคภายนอก แต่วิภูภาคภายในเป็นน้ำมัน จะมีหยดเล็กๆ ของหยดน้ำซ้อนอยู่อีกที เมื่อกลับกลายเป็นอิมัลชันธรรมดาจะกลายเป็นชนิด O/W พบอิมัลชันชนิดนี้บ้างในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเช่น Cold cream ซึ่งเป็นชนิด O/W/O เป็นต้น

3. แบ่งตามความหนืดของอิมัลชัน ได้เป็น 2 ชนิด คือ

3.1 โลชั่น (Lotion) เป็นอิมัลชันที่มีความหนืดต่ำ (เหลว) เพราะมีวิภูภาคภายในปริมาณที่สูง วิภูภาคภายในมักมีไม่เกิน 35% โลชั่นอาจเป็นทั้งชนิด O/W และ W/O หรือมีชื่อเรียกต่างออกไปว่า นํ้านม (Milk or milky lotion) เป็นรูปแบบที่พบมากที่สุดในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทาผิว โดยเฉพาะผิวแห้งที่มีบริเวณกว้าง เพราะทาแล้วชุ่มชื้น ไม่เหนอะหนะ ouch ซึมดี ให้ความรู้สึกสบาย และล้างออกได้ง่าย เช่น โลชั่นทาผิว โลชั่นป้องกันแสงแดด เป็นต้น โลชั่นชนิด W/O มีการใช้บ้าง แต่ไม่เป็นที่นิยม เพราะ เมื่อทาแล้ว จะรู้สึกเหนอะหนะผิว เช่น โลชั่นป้องกันแดดชนิดที่มีคุณสมบัติกันน้ำที่ใช้ทา ก่อนลงเล่นน้ำ เป็นต้น คุณสมบัติเช่นนี้อิมัลชันชนิด O/W ไม่สามารถทำได้เพราะ จะถูกน้ำชะล้างออกหมด เป็นต้น โลชั่นนี้อาจใช้สารเพิ่มความหนืด (Thickener agent) ในวิภูภาคน้ำเพื่อให้หนืดขึ้นได้ แต่ยังคงเป็นของเหลวที่ไหลได้

3.2 ครีม (Cream) เป็นอิมัลชันที่มีความหนืดสูง (ลักษณะกึ่งแข็ง) เพราะมีส่วนประกอบของสารพวกไขแข็ง (Waxes) และไขมัน (Fatty acid or fatty alcohol) ซึ่งช่วยเพิ่มความหนืดและเนื้อครีมที่ผสมอยู่กับน้ำมัน (Oils) ในวัฏภาคน้ำมัน ครีมมีทั้งชนิด O/W และ W/O ครีมมีความหนืดกว่าโลชัน เพราะมีปริมาณวัฏภาคภายในสูงกว่า คือประมาณ 35 – 75 % แล้วแต่ความหนืดที่ต้องการโดยมีการใช้สารเพิ่มเนื้อครีม (Bodying or stiffening agent) เช่น ไขมันและไขแข็งดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้กรรมวิธีของครีมชนิด O/W อาจมีการใส่สารเพิ่มความหนืด (Thickener agent) ร่วมด้วยในคำรับเช่น Acacia, Veegum, Methylcellulose เป็นต้น ซึ่งช่วยเพิ่มความหนืดให้แก่วัฏภาคน้ำ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่เป็นครีมชนิด O/W ได้แก่ ครีมทาผิว ครีมบำรุงถนอมผิว ครีมแต่งผม ครีมโกนหนวด ครีมทากันแดด ครีมระงับเหงื่อและกลิ่นตัว ครีมทาแก้ผิว ครีมทาแก้ฝ้า เป็นต้น ครีมชนิด W/O ได้แก่ ครีม สอร์ โมน ครีมล้างหน้า ครีมนวดหน้า ครีมแต่งผม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอิมัลชันชนิดพิเศษ คือ Anhydrous emulsion ซึ่งไม่มีน้ำอยู่เลย ประกอบด้วยน้ำมันและสาร Prolyols เช่น Glycerin, propylene glycol, PEG 400 เป็นต้น อิมัลชันที่ได้อาจมีลักษณะใสหรือขุ่นขาว

2.2.2 ส่วนประกอบของอิมัลชัน

ผลิตภัณฑ์รูปแบบอิมัลชัน มีส่วนประกอบหลักสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. **วัฏภาคน้ำ (Water phase)** ได้แก่ น้ำและสารต่างๆ ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ละลายได้ในน้ำ อาจเป็นสารเพิ่มความหนืด เช่น Acacia, Veegum, Methylcellulose, Carbopol สารผิวเมกแดนด์ เช่น Glycerin, propylene glycol หรือ glycol ทั้งหลาย สารกันเสีย เช่น Methylparaben, Sodium benzoate สารลดแรงตึงผิวเช่น Tween, Sodium lauryl sulfate สีสี่ละลายน้ำ สารต้านออกซิเดชัน เช่น Sodium metabisulfite นอกจากนี้ยังเป็นสารออกฤทธิ์อื่นที่ละลายน้ำได้ เช่น Cetyl pyridinium chloride, Benzalkonium chloride เป็นต้น สารต่างๆ เหล่านี้อาจเติมลงในวัฏภาคน้ำได้ทั้งสิ้น แล้วแต่ส่วนประกอบของสูตรในผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

2. **วัฏภาคน้ำมัน (Oil phase)** ได้แก่ น้ำมันต่างๆ เช่น Olive oil, Mineral oil, Castor oil ไขมัน เช่น Stearyl alcohol, Stearic acid, Cetyl alcohol, Lanolin ไขแข็ง เช่น Bee wax, Paraffin wax, Canuba wax สีสี่ละลายในน้ำมัน น้ำหอมต่างๆ สารกันหืน เช่น BHT, BHA สารลดแรงตึงผิว เช่น Span, Emulgin C 1000 หรือสารออกฤทธิ์ต่างๆ เช่น สอร์ โมน วิตามิน เป็นต้น แล้วแต่ส่วนประกอบในสูตรของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทเช่นกัน

3. **สารอิมัลชัน (Emulsifier)** ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวเช่น Tween, Span, Sodium lauryl sulfate คอลลอยด์ที่ชอบน้ำ เช่น Acacia, Gelatin ของแข็งอนุภาคละเอียด เช่น Bentonite, Colloidal

magnesium aluminium silicate เป็นต้น ตัวทำอิมัลชันเป็นตัวสำคัญในการผสมผสานให้วัฏภาคน้ำและน้ำมันเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้

จากส่วนประกอบของอิมัลชัน พบว่า การผลิตอิมัลชันให้ได้คือมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันสวยงาม นำใช้ เนื้อเนียนเรียบ มีความคงตัว โดยไม่แยกชั้น มีความหนืดอย่างที่ต้องการนั้น เป็นสิ่งที่ยุ่งยากพอสมควร ต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญอย่างน้อย 2 ประการ คือ

1. มีความรู้ความเข้าใจในพื้นฐานเกี่ยวกับกลไกการเกิดอิมัลชัน ตัวทำอิมัลชันและคุณสมบัติต่างๆ ของอิมัลชัน

2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคที่ถูกต้องในการผลิตอิมัลชัน เครื่องมือที่ใช้ในการผลิต การผสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอและคงตัวดี ตลอดจนการวิจัยและพัฒนาสูตรตำรับเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของตลาด

2.2.3 กลไกการเกิดอิมัลชัน [12]

ปกติของเหลวสองชนิดซึ่งไม่เข้ากันเมื่อถูกนำมารวมจะแยกกันอยู่เป็น 2 ชั้น เนื่องจากเกิดแรงดึงระหว่างผิวขึ้น แต่เมื่อมีการเขย่าซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง จะทำให้ของเหลวนั้นกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันได้ และมีลักษณะของอิมัลชันเกิดขึ้น แต่เป็นเพียงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นชั่วคราว ซึ่งหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์อธิบายได้ว่า การเขย่าเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Surface free energy) ของเหลวจึงเข้ากันได้ชั่วคราว สภาวะนี้ถือว่าไม่คงสภาพ เพราะเมื่อหยุดเขย่าหรือหยุดกวน ของเหลวเหล่านั้นก็จะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดังเดิม เนื่องจากมีการปรับสภาวะให้เข้าสู่จุดคงสภาพโดยลดพื้นที่ผิว การสัมผัสระหว่างกันน้อยที่สุด เหตุการณ์ดังกล่าวนี้สามารถทำให้เกิดขึ้นอย่างถาวร กล่าวคือ เกิดการกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันของของเหลวทั้งสองชนิดโดยที่ยังคงสภาพอยู่ ซึ่งไม่กลับมาแยกชั้นดังเดิมได้โดยการเติมตัวทำอิมัลชันลงไปก่อนการเขย่าดังนั้น การเกิดอิมัลชันได้ต้องอาศัยกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ 1. การทำให้ของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในแตกกระจายเป็นหยดเล็กๆ โดยอาศัยการให้พลังงานซึ่งอาจใช้ในรูปแบบของความร้อน (Heat) การคนหรือเขย่า (Mechanical agitation) การสั่นสะเทือนโดยคลื่นเสียง (Ultrasonic vibration) หรือไฟฟ้า (Electricity) เป็นต้น 2. การทำให้หยดเล็กๆ ที่กระจายตัวอยู่นั้นคงสภาพอยู่ได้ซึ่งอาศัยตัวทำอิมัลชันดังกล่าว

กลไกการทำงานของตัวทำอิมัลชัน

1. ลดแรงตึงระหว่างผิวของของเหลวทั้งสอง เป็นการลดพลังงานอิสระที่พื้นผิว ทำให้โอกาสที่หยดวัฏภาคซึ่งกระจายตัวอยู่นั้นรวมตัวกันได้น้อยลงเป็นการเพิ่มความคงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์

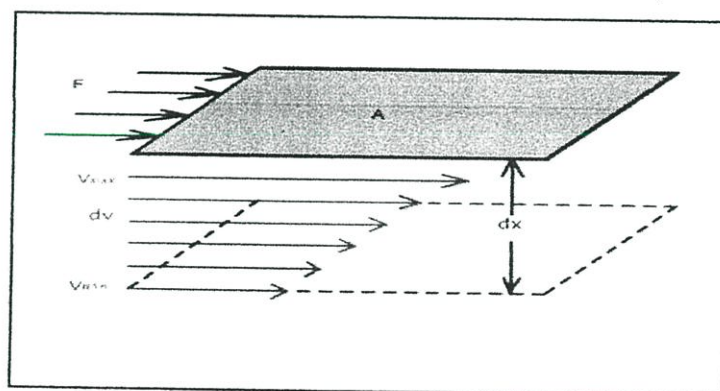
2. เกิดฟิล์มที่แข็งแรงและยึดหยุ่นโดยรอบหอยควัภาคภายใน ความแข็งแรงและลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลของฟิล์มนี้แตกต่างกันออกไป แล้วแต่ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำอิมัลชันที่ใช้ ฟิล์มอาจเรียงตัวเป็น โมเลกุลเดี่ยว (Monomolecular film) โดยหันด้านมีประจุเข้าหาตัวภาคน้ำ ด้านไม่มีประจุจะหันเข้าหาตัวภาคน้ำมัน ฟิล์มชนิดนี้มักเกิดจากการใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นตัวทำอิมัลชันหรือมีการเรียงตัวซ้อนกันเป็น โมเลกุล (Multimolecular film) ซึ่งเกิดจากการใช้คอลลอยด์ที่ชอบน้ำเป็นตัวทำอิมัลชัน หรือมีการเรียงตัวของอนุภาคเล็กละเอียดของของแข็ง (Solid particle film) ซึ่งเกิดจากการใช้ของแข็งเล็กละเอียดบางชนิดซึ่งดูดซับน้ำประจุของตัวภาคน้ำทั้งสองได้

2.3 คุณสมบัติด้านรีโอโลยี [13]

ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติด้านรีโอโลยีที่สำคัญที่แสดงคุณสมบัติของอาหารและวัสดุชีวภาพ เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพของอาหาร ที่มีสมบัติเป็นของเหลว หรือ กึ่งของแข็ง (semi-solid food) นอกจากนี้ยังมีส่วนสำคัญในการออกแบบระบบการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) และ ระบบถ่ายเทมวลสาร (mass transfer)

2.3.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดเป็นสมบัติของของไหลที่ต้านทานการเคลื่อนที่ของชั้นของไหล ในการศึกษาเรื่องความหนืดยึดหลักที่ว่าของไหลประกอบด้วยชั้นต่างๆซ้อนกันดังรูปที่ 2.1 โดยแรง F ออกแรงกระทำต่อแผ่นของไหล ชั้นของไหลมีความสูง x ความเร็วของของไหลในแต่ละชั้นไม่เท่ากัน โดยชั้นบนสุดของไหล มีความเร็วสูงสุด ขณะที่ชั้นล่างสุดมีความเร็วต่ำที่สุด



รูปที่ 2.1 แผนภาพการไหลในของไหล

เมื่อของไหลถูกกระทำด้วยแรงเค้น $\frac{F}{A}$ ในชั้นบนสุดมีความเร็ว V_{\max} ขณะที่ชั้นล่างสุดมีความเร็ว V_{\min} ดังนั้นสามารถเขียนความเร็วในแต่ละชั้นที่เกิดขึ้นในเทอมดิฟเฟอเรนเชียลได้เป็น $\frac{dy}{dx}$ จากกฎของนิวตันจะได้ว่า

$$\frac{F}{A} \propto \frac{dy}{dx} \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

เมื่อ $\frac{F}{A}$ คือ ความเค้นเฉือน (Shear stress, τ)

$\frac{dy}{dx}$ คือ อัตราการเฉือน (Shear rate, γ) หรือการเปลี่ยนแปลงความเร็วต่อระยะทาง dx (velocity gradient)

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{dy}{dx} \quad (\text{สมการที่ 2.2})$$

$$\tau = \mu \gamma \quad (\text{สมการที่ 2.3})$$

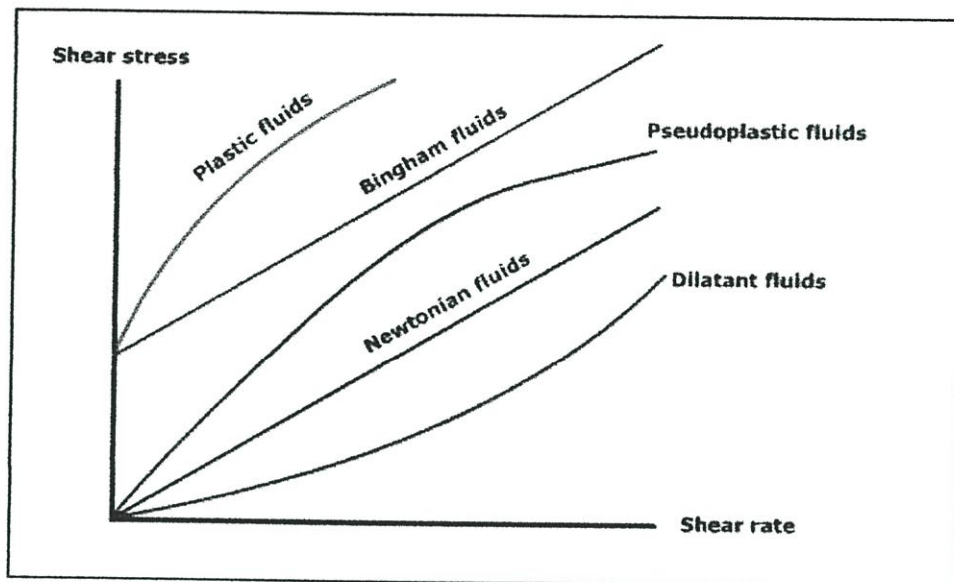
ดังนั้นสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

$$\mu = \text{viscosity} = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{\text{shearstress}}{\text{shearrate}} \quad (\text{สมการที่ 2.4})$$

หน่วยที่นิยมใช้ในเรื่องความหนืดได้แก่ poise ซึ่งตั้งไว้ให้เป็นเกียรติให้แก่ Poiseuille อีกหน่วยที่ใช้กัน ได้แก่ $\text{Pa}^{-\text{s}}$ (1 centipoise = 1 mPa^{-s})

2.3.2 การแบ่งประเภทลักษณะพฤติกรรมการไหล

ในการศึกษาเรื่องความหนืด เมื่อทำการพลอตกราฟระหว่างค่า Shear stress กับ Shear rate ในวัสดุชีวภาพใดๆจะได้กราฟตามรูปที่ 2.2

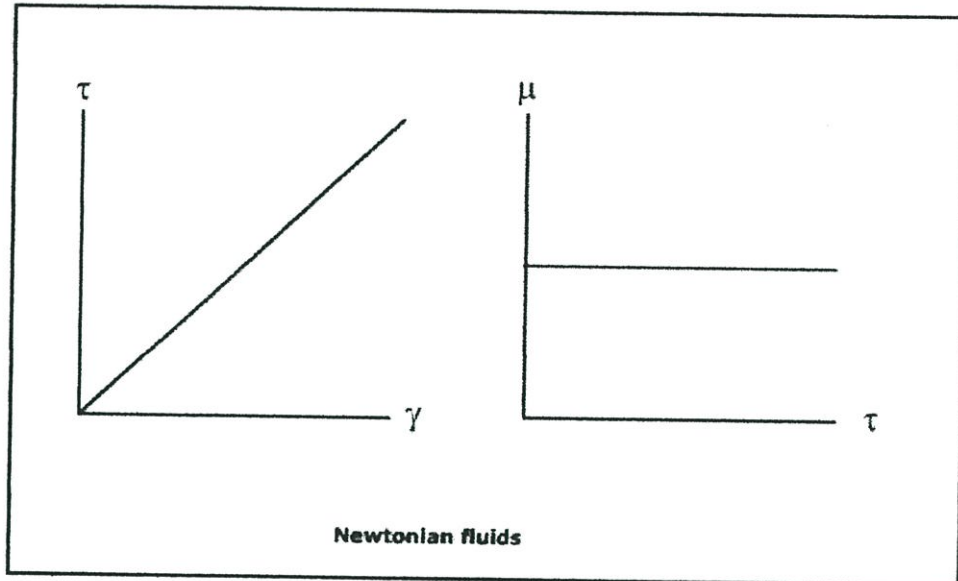


รูปที่ 2.2 ลักษณะของพฤติกรรมการไหล

เราสามารถจำแนกลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นออกเป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ ๆ คือ

1. **Newtonian Fluids:** น้ำ, น้ำมันเจือจาง เป็นต้น ในรูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของกราฟของไหลนิวโตเนียน ค่าความหนืดที่ได้จะมีค่าคงที่อย่างมีนัยสำคัญ จากสมการ power law model $\tau = K\dot{\gamma}^n$ ค่า n ของไหลนิวโตเนียนจะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.3 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมไหลแบบนิวโตเนียน

2. Non-Newtonian Fluid: อาหารชั้นทั่วไป เช่น ซอสมะเขือเทศ มัสตาร์ด มายองเนส ซึ่งในอาหารทั่วไปจะพบว่ามีลักษณะการไหลเป็นแบบนอน-นิวโตเนียนเป็นส่วนใหญ่ การที่เกิดลักษณะการไหลประเภทนี้เป็นเพราะภายในของไหลมีขนาดของอนุภาคที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆ ซึ่งทำให้ในระหว่างช่วงการไหลเกิดลักษณะไม่ราบรื่น ในการไหลแบบนอน-นิวโตเนียนมีปัจจัยหลายๆอย่างที่มีผลต่อ Shear rate

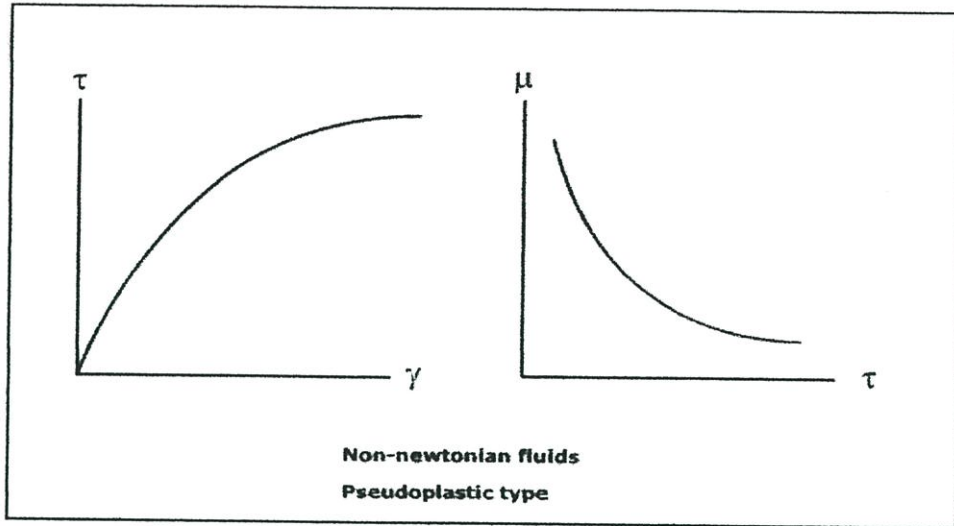
ของไหลนอน-นิวโตเนียนสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ดังนี้

2.1 พวกที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent non-newtonian fluids)

ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้จะขึ้นอยู่กับ Shear stress กับ Shear rate แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ของไหลได้รับความเค้นเฉือน (Shear stress) แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress และ Shear rate จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา ตัวอย่างของไหลนอนนิวโตเนียนประเภทนี้ได้แก่

2.1.1 ของไหลซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluids)

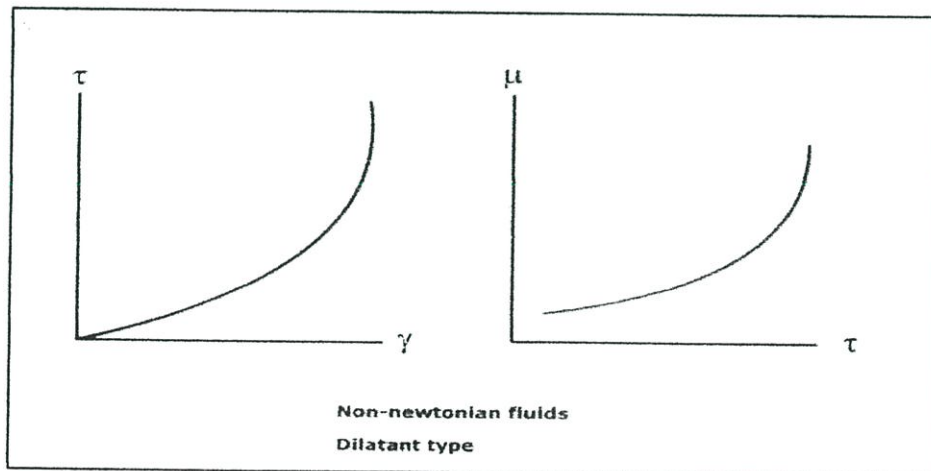
ลักษณะของการไหลประเภทนี้คือ ค่าความหนืดมีค่าลดลงเมื่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ดังเช่นแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งของไหลนอน-นิวโตเนียนโดยมากมักจะไหลในลักษณะนี้ นอกจากนี้ลักษณะการไหลประเภทนี้ยังมีชื่อเรียกอื่นๆว่า Shear-thinning และ Power law liquid ตัวอย่างทั่วไปของของไหลประเภทนี้ได้แก่ นม, fruit puree, มายองเนส, มัสตาด และ ชูฟผัก



รูปที่ 2.4 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทซูโดพลาสติก

2.1.2 ของไหลไดลาแทนต์ (Dilatant fluids)

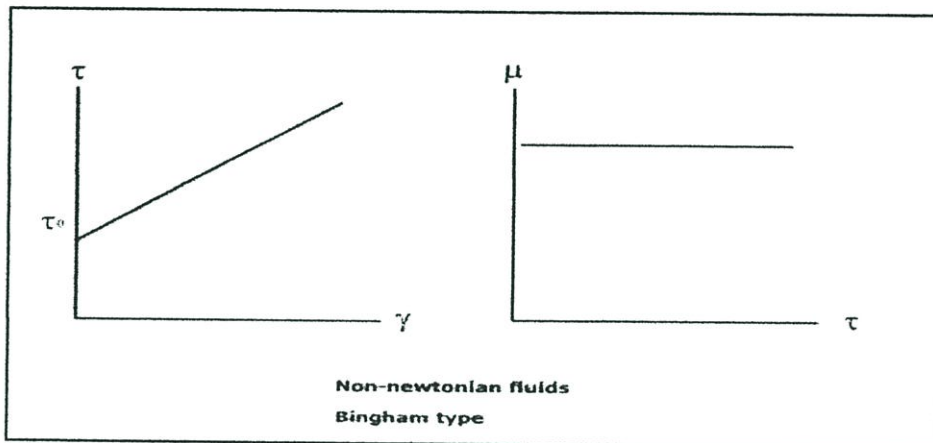
ลักษณะของการไหลประเภทนี้คือ ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ดังเช่นแสดงในรูปที่ 2.5 ลักษณะของการไหลประเภทนี้พบเห็นได้ยากกว่าประเภทซูโดพลาสติก ของไหลไดลาแทนต์จะพบเห็นได้ในของไหลหรืออาหารลักษณะมีตะกอนของแข็งนอนกัน ยกตัวอย่างเช่น candy compound, น้ำแป้งข้าวโพด นอกจากนี้ลักษณะของไหลไดลาแทนต์ยังเรียกอีกอย่างได้ว่าลักษณะการไหลแบบ Shear-thickening



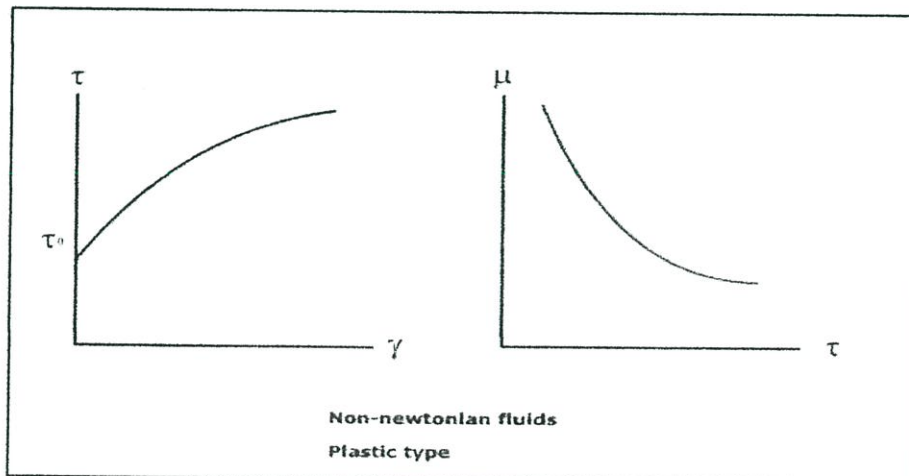
รูปที่ 2.5 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทไดลาแทนต์

2.1.3 ของไหลพลาสติก (Plastic fluids) และของไหลบิงแฮม (Bingham fluid)

ของไหลประเภทนี้ที่ค่าแรงเฉือนมีค่าต่างๆ จะไม่มีการเคลื่อนที่แต่อย่างใด จนกระทั่งค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นถึงค่า τ_0 ซึ่งเรียกจุดที่แรงเฉือนมีผลทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่นี้ว่า Yield value หรือ ในบางตำราเรียกว่า Yield stress ในของไหลบิงแฮม (Bingham fluids) เมื่อออกแรงเฉือนจนถึงจุด Yield stress หลังจากนั้นของไหลจะพฤติกรรมเหมือนของไหลนิวโตเนียน ดังรูปที่ 2.6 ตัวอย่างของของไหลที่มีพฤติกรรมแบบนี้ได้แก่ ซอสมะเขือเทศ (Tomato catsup) ส่วนของไหลพลาสติกนั้นเมื่อออกแรงจนถึงจุด Yield stress ของไหลก็จะมีพฤติกรรมการไหลคล้ายกับของไหล Pseudoplastic ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทบิงแฮม



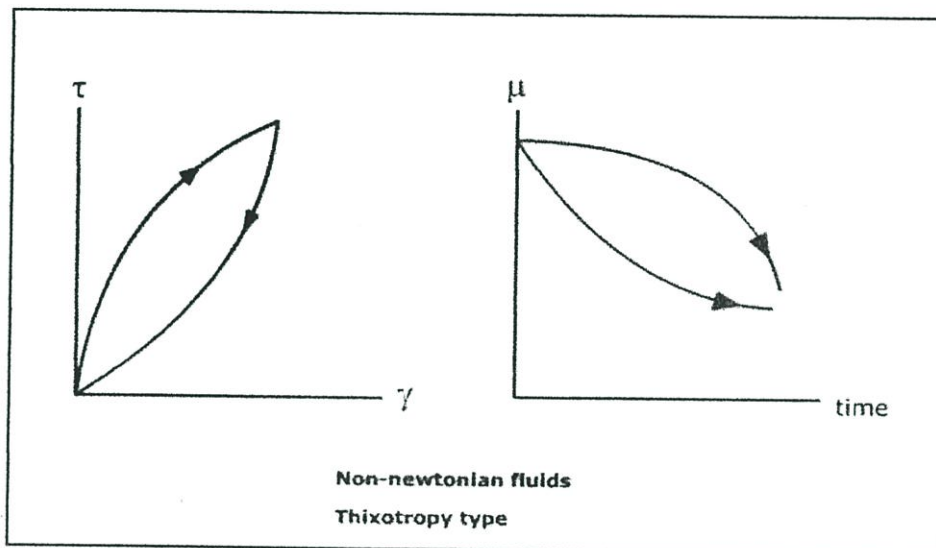
รูปที่ 2.7 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทพลาสติก

2.2 พวกที่ขึ้นกับเวลา (Time dependent non-newtonian fluids)

ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับค่า Shear stress และ Shear rate แล้ว ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ของไหลได้รับแรงเค้นเฉือนได้รับ ตัวอย่างของไหลประเภทนี้ได้แก่

2.2.1 ของไหลไรโซทรอปิก (Thixotropic fluids)

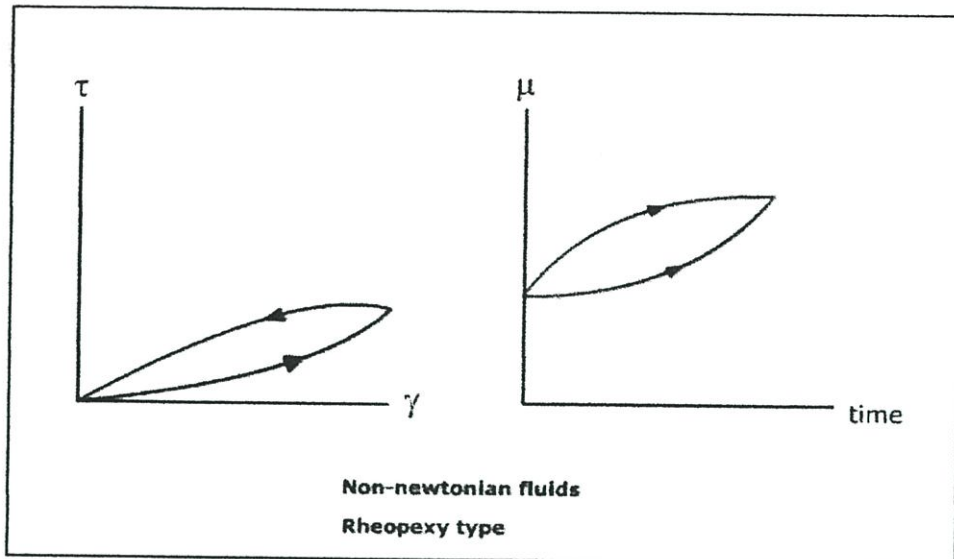
ของไหลประเภทนี้ค่าความหนืดจะลดลงตามระยะเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.8 เมื่อของไหลได้รับแรงเค้นเฉือนในอัตราคงที่ ลักษณะการไหลประเภทนี้พบได้น้อย แต่ก็มีพบบ้าง ในวัสดุประเภท grease, สีทาบ้าน และน้ำหมึกสำหรับเครื่องพิมพ์ขนาดใหญ่



รูปที่ 2.8 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทไรโซทรอปิก

2.2.2 ของไหลรีโอเพคซิก (Rheopectic fluids)

ของไหลประเภทนี้ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.9 เมื่อของไหลได้รับแรงเค้นเฉือนในอัตราคงที่ ลักษณะการไหลแบบรีโอเพคซิกนี้ค่อนข้างจะพบได้ยาก



รูปที่ 2.9 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน ประเภทรีโอเพกซ์

การที่จะตัดสินว่าอาหารแสดงคุณสมบัติแบบใด และมีค่าความข้นหนืดเท่าใด นั้นขึ้นอยู่กับ การวัดค่า Apparent viscosity (μ_{app}) และ Shear rate (γ) ซึ่งมีหน่วยเป็น Pa.s (1,000 centipoises) และ second^{-1} ตามลำดับ เครื่องมือสำหรับวัดเรียกโดยทั่วไปว่า Rheometer หรือ Viscometer ซึ่งมีหลายแบบ แต่โดยทั่วไปสามารถ แสดงค่า μ_{app} และ γ ได้ ที่นิยมคือ Brookfield® viscometer.

สำหรับ Rotational viscometer (ตัวอย่าง Brookfield viscometer) การเปลี่ยนความเร็วของการหมุน (rotational speed ของ spindle) เพิ่มขึ้น หมายถึงการเพิ่ม Shear rate (γ) ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Apparent viscosity (μ_{app}) ถ้าการเปลี่ยนแปลงของ rotational speed ไม่ทำให้ μ_{app} เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ถือว่าอาหารนั้นมีคุณสมบัติเป็น Newtonian fluid และสามารถสรุปได้ว่าอาหารมีความข้นหนืดเท่ากับ μ_{app} แต่ถ้การเปลี่ยนแปลงของ rotational speed ทำให้ μ_{app} เปลี่ยนแปลง ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ในรูปเอกซ์โปเนนเชียล ถือว่าอาหารนั้นมีคุณสมบัติเป็น Non-newtonian fluid การสรุปความข้นหนืดของอาหารในรูป μ_{app} ต้องกำกับ γ ด้วยเสมอ อย่างไรก็ตาม เพื่อความเป็นสากล การรายงานความหนืดของอาหาร Non-newtonian นิยมรายงานในค่าทั่วไปของความหนืดซึ่งได้แก่ Consistency index, K ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) และ Flow behavior, n (ไม่มีหน่วย)

ค่า K และ n คำนวณจากความสัมพันธ์ ของ Power law model ในรูปของ ค่า Shear stress และ Shear rate

$$\tau = K\gamma^n \quad (\text{สมการที่ 2.5})$$

$$\log \tau = \log \kappa + n \log \gamma \quad (\text{สมการที่ 2.6})$$

โดยการพล็อตกราฟ log-log ระหว่าง $\log \tau$ บนแกน Y และ $\log \dot{\gamma}$ บนแกน X ค่า slope คือ n และ interception คือ $\log K$

สังเกตได้ว่าถ้าอาหารมีคุณสมบัติเป็น Newtonian fluid ค่า n จะเท่ากับ 1 ทำให้ ความหนืดของอาหารมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับ shear rate หรือ rotational speed. ส่วนของไหลชนิด Pseudoplastic จะมีค่า n มากกว่า 1 และของไหล Dilatant จะมีค่า n น้อยกว่า 1

ค่า n และ K ที่ได้จากรูป เป็นค่าคงที่เฉพาะตัวของอาหารซึ่งใช้ในการทำนายความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, μ_{app}) ณ shear rate ต่างๆกัน ซึ่งในต่างประเทศมีการวิจัยค้นคว้าหาค่า n และ K ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดกันอย่างกว้างขวาง

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างลักษณะพฤติกรรมการไหลและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

| ลักษณะพฤติกรรมการไหล | K | n | τ_0 | ตัวอย่าง |
|----------------------|-----|---------------------------|----------|--|
| นิวโตเนียน | > 0 | 1 | 0 | น้ำ, น้ำผลไม้เจือจาง, น้ำมันพืช |
| ซูโดพลาสติก | > 0 | $0 < n < 1$ | 0 | Applesauce, Banana puree, concentrated juice |
| ไดลาแทนต์ | > 0 | $1 < n < \text{infinity}$ | 0 | 40% corn starch solution |
| บิงแฮม พลาสติก | > 0 | 1 | > 0 | ยาสีฟัน, ซอสมะเขือเทศ |

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันคุณสมบัติด้านรีโอโลยีได้มีการศึกษาและวิจัยอย่างต่อเนื่องในหลากหลายกลุ่มผลิตภัณฑ์ เช่น ในทางวิศวกรรม[8]จะใช้เพื่อออกแบบการกระบวนการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรม การไหลของอาหาร เมื่อมีการไหลในท่อ เมื่อทำการกวน หรือ เมื่อทำการบรรจุ คุณสมบัติด้านรีโอโลยีเป็นเหมือนเครื่องมือวิเคราะห์ เป็นพื้นฐานความเข้าใจ เกี่ยวกับ โครงสร้าง และแรงระหว่าง ส่วนประกอบภายในของอนุภาค เช่นการวัดความหนืด และวัด shear rate สามารถใช้เป็นข้อมูล เกี่ยวกับ strength ของแรงระหว่างอนุภาคของคอลลอยด์ สำหรับในด้านอาหารความรู้เกี่ยวกับ คุณสมบัติด้านรีโอโลยีของอิมัลชันมีความสำคัญต่อวิทยาศาสตร์อาหาร เช่น การรับรู้ทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ซึ่งมีความเกี่ยวข้องโดยตรง เช่น การเกิดครีม ความหนา ความราบเรียบ การ

กระจายตัว การเทออก และการไหล อายุของอาหาร ข้อมูลเกี่ยวกับรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นอาหารจำพวกอิมัลชันมีส่วนประกอบและ โครงสร้างที่ซับซ้อน ซึ่งจะปรากฏความแตกต่างทางรีโอโลยีที่แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีจึงเป็นสิ่งสำคัญ

Arslan และคณะ [14] ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำมันงาและผลของอุณหภูมิ ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของผสมน้ำมันงาและน้ำเชื่อม ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของน้ำมันงาระหว่างร้อยละ 20 – 32 อุณหภูมิ 35 – 60 องศาเซลเซียส ทำการวัดคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของผสมน้ำมันงาและน้ำเชื่อมด้วยเครื่อง rotational viscometer ใช้ร่วมกับเครื่อง Low viscosity adapter (LCP) โดยใช้ Searle-type concentric cylinder configuration สัดส่วนระหว่างรัศมีของถ้วยกับรัศมีของ bob (α) มีค่า 1.0984 ซึ่งทำการกำหนดค่าโดยผู้ผลิต ทำการทดลองที่ความเร็วรอบการหมุนระหว่าง 0.3 – 200 rpm. และคำนวณค่า shear rate (γ) ตามสมการ

$$\gamma(s^{-1}) = 2\Omega(\text{rad/s}) \left(\frac{\alpha^2}{\alpha^2 - 1} \right) = 1.2236\Omega(\text{rpm}) \quad (\text{สมการที่ 2.7})$$

เมื่อ Ω คือความเร็วรอบการหมุน และได้อธิบายพฤติกรรมการไหลของของผสม จากสมการ power-law model พบว่า ค่า flow behavior index (n) ของของผสม แสดงพฤติกรรมการไหลเป็น shear thinning ($n < 1$) เป็นการไหลแบบ non-Newtonian โดยใช้ความสัมพันธ์ power-law model ได้ค่า shear rate อยู่ระหว่าง $0.75 - 63.9 \text{ s}^{-1}$ จากการทดลองพบว่า ทุกความเข้มข้นและทุกอุณหภูมิที่ทำทดลอง ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง apparent viscosity และ shear rate เป็นแบบ non-Newtonian ซึ่งค่า apparent viscosity ของของผสมลดลงเมื่อเพิ่ม shear rate เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความหนืดลดลง ค่า consistency coefficient (K) มีนัยสำคัญกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพบว่าค่าของ n และ K จะลดลง ยกเว้น n ที่ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่ร้อยละ 32 อุณหภูมิมีผลกับค่า K โดยอธิบายจากสมการอาร์เรเนียส

$$K = k_0 e^{(E_a/RT)} \quad (\text{สมการที่ 2.8})$$

เมื่อ k_0 คือ proportional constant E_a คือ activation energy (J/mol) R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (J/mol K) T คือ อุณหภูมิ (K) ค่า E_a มีค่าระหว่าง 13376-28592 J/mol และพบว่าค่า K เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำมันงาเพิ่มขึ้น

Seyed และคณะ [9] ทำการศึกษาผลของปริมาณสารที่ใช้แทนที่ไขมัน (guar gum, xanthan และ starch) และผลของอุณหภูมิ (25, 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส) ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของผสมไขมันงาและน้ำลูกพรุน โดยใช้ Brookfield rotational จากการศึกษพบว่าค่า flow behavior index (n) และ consistency coefficient (K) ที่ได้จากความสัมพันธ์ shear stress และ shear rate สอดคล้องกับสมการ power-law model และพบว่าทุกค่าของอุณหภูมิและความเข้มข้นของ

ผสมมีพฤติกรรมแบบ non-Newtonian ค่า n ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงการเป็นของไหลแบบ ชูโคพลาสติกค่า K มีค่าระหว่าง $44 - 240 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ค่า n มีค่าระหว่าง $0.35 - 0.51$ และพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารที่ใช้แทนที่ไขมัน จะทำให้ค่า K มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง และ n มีค่าลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณสารที่ใช้แทนที่ไขมันจะทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้นที่ไม่มีการใช้สารแทนที่ไขมัน จากการศึกษายังพบว่า starch เป็นสารแทนที่ไขมันที่ให้ค่าความหนืดสูงสุดเมื่อเทียบกับ guar gum, xanthan และสารเริ่มต้นที่ไม่มี การใช้สารแทนที่ไขมัน ยิ่งค่า n มีค่าน้อยพฤติกรรมของไหลของของไหลยิ่งเบี่ยงเบนไปจาก คุณสมบัติ Newtonian มากขึ้น เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของผสม พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า K และ ค่า apparent viscosity ลดลง อุณหภูมิมีผลต่อค่าความหนืดของของผสมซึ่งอธิบายโดยสมการอาร์เรเนียส กำหนดให้ค่า K เป็น ฟังก์ชันของอุณหภูมิ พบว่าค่า E_a ของของผสมที่มีการใช้สารแทนที่ไขมันจะมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับของผสมเริ่มต้นที่ไม่มี การใช้สารแทนที่ของไขมัน และเมื่อปริมาณการใช้สารแทนที่ไขมันเพิ่มขึ้นค่า E_a จะยิ่งลดลงยกเว้นกรณีของ xanthan

Salmi [15] ทำการศึกษาคูสมบัติทางกายภาพของซ็อกโกแลตสเปรดไขมันต่ำ วัสดุที่ใช้ในการผลิตซ็อกโกแลตสเปรดไขมันต่ำประกอบด้วย น้ำตาล, ผงโกโก้, นมผง, ไขมัน, น้ำ, เลซิธิน และ สารคงตัว โดยไขมันและน้ำมันที่เลือกใช้เป็นไขมันจากปาล์มน้ำมันและทำ การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองกับผลิตภัณฑ์ที่วางขายในตลาดเช่น Nutella ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเข้ามาจากเบลเยียม ในการศึกษาได้วิเคราะห์ความสามารถในการกระจายตัวของสเปรดด้วยเครื่องวัด texture analyzer TA-TX3 หลังจากเก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าความสามารถในการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส นาน 8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นมีค่าการกระจายตัวสูงกว่าผลิตภัณฑ์ Nutella เล็กน้อยเนื่องจากการผสมสารคงตัว และผลิตภัณฑ์ยังคงไม่แยกชั้นเมื่อวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความแข็งของผลิตภัณฑ์ไม่ได้เพิ่มขึ้นหลังเก็บไว้ในตู้เย็นนาน 1 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าปริมาณน้ำอิสระสูง บอกให้รู้ว่าผลิตภัณฑ์มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะอ่อนนุ่มและเหนียว ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระ ระหว่าง $0.76 - 0.79$ สามารถต้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้นานกว่า 6 เดือนซึ่งต้องเติมสารกันบูด (potassium sorbate) และทำการพลาสเจอไรเซชันอย่างพอเพียง

Martinez และคณะ [16] ทำการศึกษาคูสมบัติของปริมาณเกลือและองค์ประกอบของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของน้ำสลัด โดยใช้ส่วนผสมสองชนิดระหว่างไข่แดง กับความเป็นขั้วของโมเลกุล amphiphilic ชนิดต่างๆ (tween 20, sucrose laurate, และ pea protein) ใน

หลายอัตราส่วน ซึ่งใช้เพื่อให้สารอิมัลชันมีความเสถียร โดยปริมาณของเกลือที่ใช้มีตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 2.3 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบคุณสมบัติด้านรีโอโลยีด้วยเครื่อง controlled – stress rheometer RS 100 และใช้ Plate- plate geometry เพื่อป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ wall – slip ในการวัดอัตราการไหล และทำการทดลองคุณสมบัติด้านรีโอโลยีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าค่าความคงตัวของอิมัลชันจะเสื่อมลงจากปรากฏการณ์การเกิดคริม ซึ่งพิจารณาจากการแยกพื้นผิวน้ำที่ก้นของขวดเก็บน้ำสลัด ชนิดของสารอิมัลซิฟายเออร์ที่ใช้ และการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ ทั้งสามปัจจัยส่งผลอย่างชัดเจนต่อการเพิ่มความเสถียรของอิมัลชัน โดยเฉพาะอิมัลชันที่มีความเข้มข้นของไข่แดงน้อยซึ่งความคงตัวของอิมัลชันนั้น จะเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเกลือ ในทางตรงกันข้ามค่าความคงตัวจะน้อยลงเมื่ออิมัลชันมีปริมาณเกลือเพียงเล็กน้อย เช่นที่ 0.4 % ยกเว้นในกรณีที่อิมัลชันมีปริมาณของไข่แดงสูง จึงสรุปได้ว่าปริมาณเกลือที่เป็นองค์ประกอบและส่วนผสมของอิมัลซิฟายเออร์มีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีและความคงตัวทางกายภาพของอิมัลชัน ซึ่งโดยทั่วไปนั้นคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของไหลจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเกลือ และปริมาณเกลือยังมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันในไข่แดงหรือ ในโปรตีนถั่ว หรือในส่วนผสมของอิมัลซิฟายเออร์มากกว่าความคงตัวจาก non ionic low molecular weight surfactant ซึ่งมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของ ionic strength การเพิ่มขึ้นของความหนืดและ linear viscoelastic function ของอิมัลชันนั้นจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อมีโปรตีนผสมในอิมัลซิฟายเออร์เพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้จากการเพิ่มแรงกระทำระหว่างโมเลกุลส่งผลให้เกิดการเพิ่มความหนืดของตัวกลางระหว่างเฟส การเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดและ linear viscoelastic function ของอิมัลชันนั้นถูกเหนี่ยวนำโดยการเติมเกลือซึ่งมีผลต่อการจัดลำดับของชั้น flocculated (ชั้นจับเป็นอนุภาค) และการเพิ่มขึ้นของความคงตัวของอิมัลชัน

Thitima และคณะ [17] ทำการศึกษาผลของปริมาณไขมันระหว่างร้อยละ 15 – 30 และ preheat temperature ระหว่าง 70 – 90 องศาเซลเซียส ต่อ apparent viscosity ของกะทิ โดยการใช้สมการ power law model ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีโอโลยีด้วยเครื่อง rotational concentric cylinder viscometer ด้วยระบบชนิด NV เพิ่ม shear rate ที่ใช้จาก 0 ถึง 300 s⁻¹ ในสองนาที่ ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิในการควบคุมอุณหภูมิ จากผลการทดลองพบว่ากะทิที่มีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ระหว่างร้อยละ 15 – 30 ที่ preheat temperature ระหว่าง 70 – 90 องศาเซลเซียส คุณสมบัติด้านรีโอโลยี ที่ได้จากแต่ละผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าเป็นพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ประเภทซูโดพลาสติก พบว่า apparent viscosity ลดลงเมื่อเพิ่ม shear rate ซึ่งเป็นผลมาจากแรงกระทำระหว่างอนุภาคมีการเปลี่ยนรูปและลดขนาดลง ส่งผลให้ความหนืดลดลง ที่ shear rate สูงขึ้นค่าความหนืดจะเข้าสู่สภาวะคงที่ เนื่องจากแรงรบกวนและอนุภาคถูกกระทำสมบูรณ์แล้วทำให้เหลือเฉพาะขนาดอนุภาคเล็กๆอยู่ในระบบ จาก

การทดลอง พบว่าที่ preheat temperature คงที่เมื่อเพิ่มปริมาณองค์ประกอบไขมัน ส่งผลให้คุณสมบัติด้านรีโอโลยีจะยิ่งแสดงเด่นชัดขึ้น โดยแสดงให้เห็นว่าค่า n ลดลง เมื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลง preheat temperature และปริมาณองค์ประกอบไขมันคงที่ พบว่าที่อุณหภูมิ preheat temperature เพิ่มขึ้นค่า K จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยค่า K สูงสุด และค่า apparent viscosity สูงสุดจะพบที่กะทิมีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 30 และ preheating ที่ 90 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา

การศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรคจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ผลิต แสดงในตารางที่ 3.1 ประกอบด้วยน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (บ. Tropical Nutrition) น้ำผึ้ง (บ. คอยคำ) นมผง (บ. Dumex) ผงโกโก้ (ยี่ห้อ นางพยาบาล) และ ไข่แดงผง (บ. Belovo) ซึ่งใช้เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์

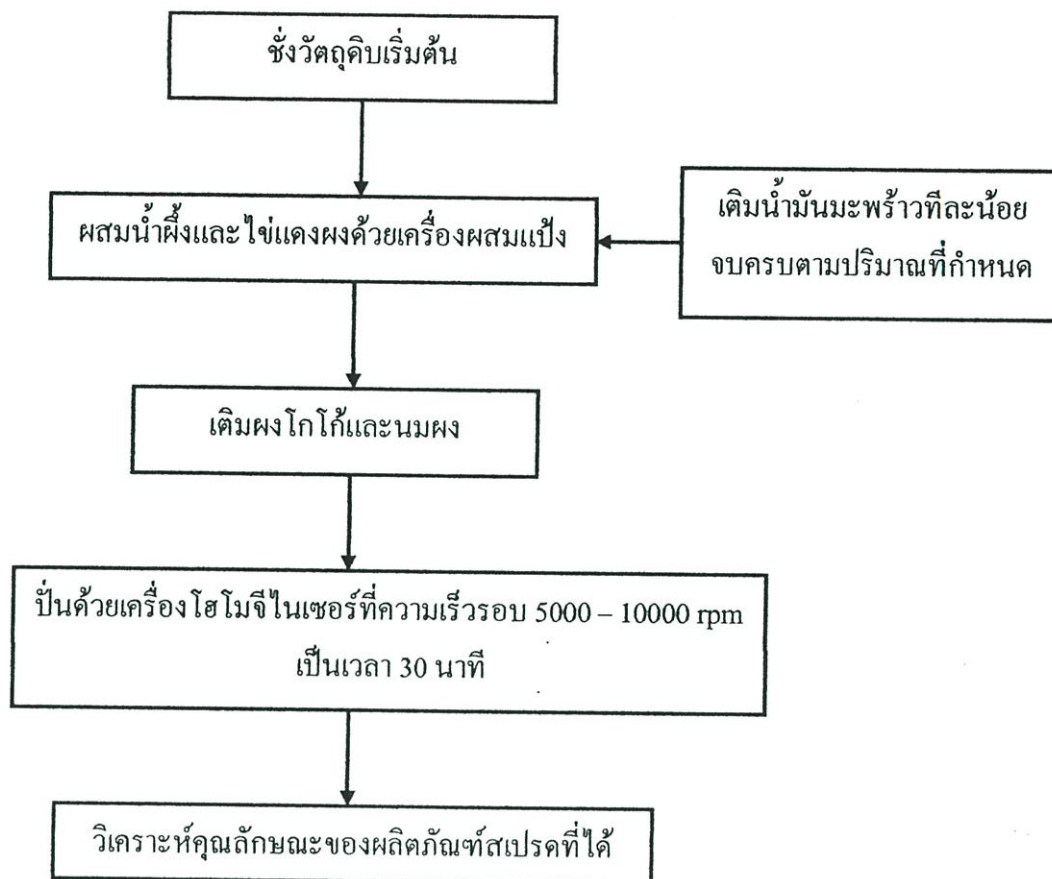
ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ทดลอง

| ลำดับที่ | ส่วนประกอบ | วิธภาค | ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) |
|----------|---------------|---------|---------------------------|
| 1 | น้ำมันมะพร้าว | น้ำมัน | 30 -50 |
| 2 | น้ำผึ้ง | น้ำ | 35 - 55 |
| 3 | ผงโกโก้ | ของแข็ง | 7 |
| 4 | นมผง | ของแข็ง | 8 |

นอกจากนั้นทำการเติมสารอิมัลซิฟายเออร์(ไข่แดงผง)คิดเป็นร้อยละ 5, 7.5 และ 10 ของน้ำหนักวัตถุดิบเริ่มต้น

3.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากนำส่วนประกอบทั้งหมด 500 กรัม มาผสมในเครื่องผสมแป้ง (Philips mixer HR 1456) เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากัน ก่อนนำเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Amfield Siverson L4R) ปั่นด้วยความเร็วรอบสูง 5000 – 10000 รอบต่อนาที เพื่อให้เกิดอิมัลชันได้เป็นผลิตภัณฑ์สเปรค ขั้นตอนการผลิตแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

3.3 การวางแผนการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรในการผลิต ได้แก่ ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์(ไข่แดงผง) ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และความเร็วรอบของเครื่องโฮมจิในเซอร์ ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโรยีของช็อกโกแลตสเปรด วางแผนการทดลองแบบ Box Behnken ซึ่งประกอบด้วย 15 สถานะการทดลอง แสดงในตาราง 3.2 และ 3.3 ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Multiple Linear Regression Analysis รูปแบบความสัมพันธ์ที่ใช้เป็นแบบโพลิโนเมียลกำลังสองคือ

$$y_i = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ii} x_i^2 + \sum \beta_{ij} x_i x_j \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

เมื่อ y_i คือ ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือค่า flow behavior index (n)

หรือค่า consistency coefficient (K)

$x_{i,j}$ คือ ตัวแปรอิสระ (Independent variable) คือค่าความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์, ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์ (ไข่แดงผง) และ ความเร็วรอบเครื่องโฮโมจีไนเซอร์

$\beta_{i,j}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร (Coefficient)

i, j คือ 1, 2, 3

ตารางที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทดลองเพื่อคำนวณหาจำนวนครั้งการทดลองทั้งหมด

| ตัวแปรอิสระ | ระดับของตัวแปร |
|--|----------------|
| ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าว (X_1) | 30 (% w/w) |
| | 40 (% w/w) |
| | 50 (% w/w) |
| ความเร็วรอบเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (X_2) | 5000 rpm. |
| | 7500 rpm. |
| | 10000 rpm. |
| ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์ (X_3) | 5 (% w/w) |
| | 7.5 (% w/w) |
| | 10 (% w/w) |

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการทดลองแบบ Box Behnken

| ลำดับที่ | ความเข้มข้นน้ำมัน มะพร้าว (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | ความเร็วรอบเครื่องโฮมอีนเซอร์ (รอบต่อนาที) | ความเข้มข้นไข่แดงผง (ร้อยละโดยน้ำหนัก) |
|----------|--|---|---|
| 1 | 40 | 5000 | 5 |
| 2 | 40 | 5000 | 10 |
| 3 | 40 | 10000 | 5 |
| 4 | 40 | 10000 | 10 |
| 5 | 30 | 7500 | 5 |
| 6 | 30 | 7500 | 10 |
| 7 | 50 | 7500 | 5 |
| 8 | 50 | 7500 | 10 |
| 9 | 30 | 5000 | 7.5 |
| 10 | 30 | 10000 | 7.5 |
| 11 | 50 | 5000 | 7.5 |
| 12 | 50 | 10000 | 5 |
| 13 | 40 | 7500 | 7.5 |
| 14 | 40 | 7500 | 7.5 |
| 15 | 40 | 7500 | 7.5 |

3.4 วิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

3.4.1 การหาปริมาณน้ำอิสระ

การหาปริมาณน้ำอิสระวัดโดยการหาค่า water activity (a_w) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กำหนดคุณภาพของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่า a_w ยี่ห้อ Aqualab Series 3TE โดย a_w เป็นอัตราส่วนระหว่างความดันไอในผลิตภัณฑ์อาหาร(P) และความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_o) ที่อุณหภูมิเดียวกันดังสมการ[18]

$$a_w = \frac{P}{P_o} = \frac{ERH}{100} \quad (\text{สมการที่ 3.2})$$

3.4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีโอโลยี (Rheological properties)

ทำการวัดคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ด้วยเครื่อง Brookfield DV II + Programmable Viscometer โดยใช้หัววัดความหนืดขนาด No. 7 ใช้ค่าความเร็วรอบระหว่าง 3-15 รอบต่อนาที และนำมาค่าที่ได้มาคำนวณหาคุณสมบัติความหนืดตามความสัมพันธ์ ดังนี้ [19]

Shear rate (Sec^{-1}):

$$\gamma = \frac{2\omega R_c^2 R_b^2}{x^2 (R_c^2 - R_b^2)} \quad (\text{สมการที่ 3.3})$$

Shear stress (dynes/cm^2):

$$\tau = \frac{M}{2\pi R_b^2 L} \quad (\text{สมการที่ 3.4})$$

Viscosity (poise):

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} \quad (\text{สมการที่ 3.5})$$

เมื่อ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของหัววัดที่ใช้ (Angular velocity of spindle, rad/sec)

$$\omega = \left(\frac{2\pi}{60}\right) \cdot N ; N = \text{RPM} \quad (\text{สมการที่ 3.6})$$

เมื่อ R_c คือ รัศมีของวัสดุที่ใส่ตัวอย่าง (radius of container, cm.)

R_b คือ รัศมีของหัววัด (radius of spindle, cm)

x คือ รัศมี (radius at which shear rate is being calculated)

M คือ (% Full scale torque, dyne-cm), L คือ ระยะความลึกของหัววัดที่จุ่มลงในตัวอย่าง (Effective length of spindle, cm)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate อาศัยความสัมพันธ์จาก power-law model [20]

$$\tau = K\gamma^n \quad (\text{สมการที่ 3.7})$$

เมื่อ τ คือ shear stress (Pa)

$\dot{\gamma}$ คือ shear rate (sec^{-1})

K คือ consistency coefficient (Pa s^n)

n คือ flow behavior index

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อ consistency coefficient อาศัยสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model)

$$K = k_0 \exp^{(E_a/RT)} \quad (\text{สมการที่ 3.8})$$

เมื่อ k_0 คือ ค่าคงที่

E_a คือ พลังงานกระตุ้น (activation energy, J/mol)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (J/mol K)

T คือ อุณหภูมิ (K)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

การผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ใช้วิธีการผลิต 3 วิธี วิธีแรกเลือกใช้เครื่องปั่นแบบความเร็วรอบต่ำ ด้วยเครื่องผสมแป้งรุ่น Philips mixer HR 1456 ปั่นส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันเป็นเวลา 40 นาที วิธีที่สองเลือกใช้เครื่องปั่นแบบความเร็วรอบสูงด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์รุ่น Amfield Siverson L4R ที่ความเร็วรอบ 5000 7500 และ 10000 รอบต่อนาที ปั่นส่วนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และวิธีที่สามเลือกใช้การปั่นผสมที่ความเร็วรอบต่ำด้วยเครื่องผสมแป้งรุ่น Philips mixer HR 1456 เป็นเวลา 30 นาที และปั่นซ้ำที่ความเร็วรอบสูงด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์รุ่น Amfield Siverson L4R อีก 30 นาที เก็บผลิตภัณฑ์สเปรดที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วันก่อนนำมาวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

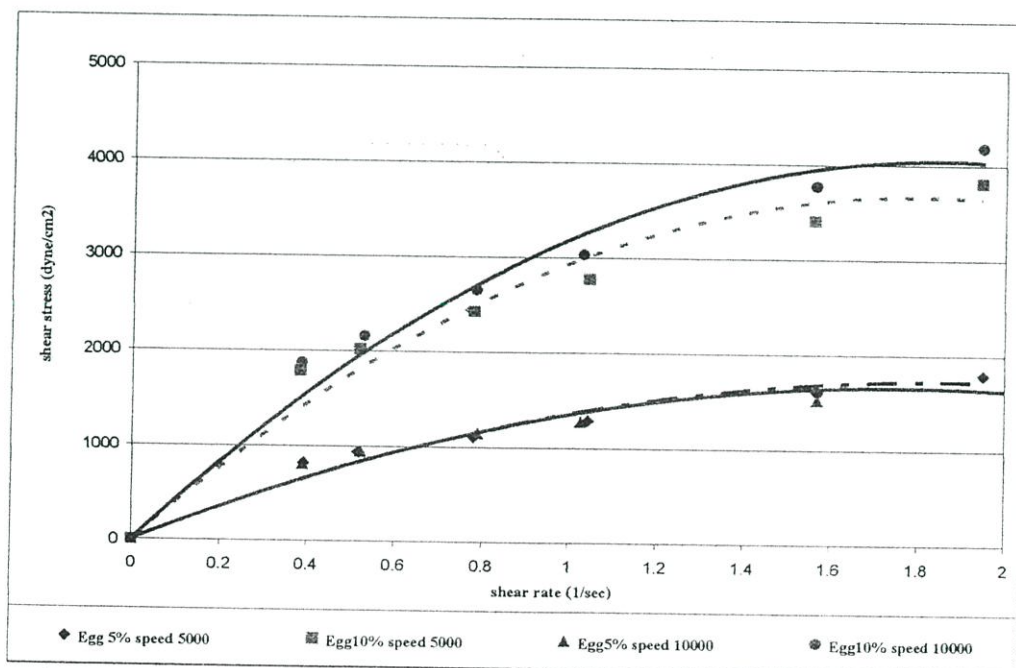
ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรด

| วิธีการผลิต | วิธีการทดลอง | ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์สเปรด |
|-------------|---|---|
| 1 | ปั่นผสมแบบความเร็วรอบต่ำด้วยเครื่องผสม แป้งรุ่น Philips mixer HR 1456 เป็นเวลา 40 นาที | ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีการแยกชั้นของอิมัลชัน เนื้อสัมผัสไม่ละเอียด |
| 2 | ปั่นผสมแบบความเร็วรอบสูงด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์รุ่น Amfield Siverson L4R เป็นเวลา 1 ชั่วโมง | ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดการแยกชั้นของอิมัลชัน มีเนื้อสัมผัสละเอียด |
| 3 | ปั่นผสมแบบความเร็วรอบต่ำด้วยเครื่องผสม แป้งรุ่น Philips mixer HR 1456 เป็นเวลา 30 นาทีและปั่นซ้ำที่ความเร็วรอบ สูง ด้วยเครื่อง โฮโมจีไนเซอร์รุ่น Amfield Siverson L4R อีกเป็นเวลา 30 นาที | ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีการแยกชั้นของอิมัลชัน มีเนื้อสัมผัสละเอียด |

4.2 พฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

เมื่อทำการศึกษาคคุณสมบัติด้านความหนืดและพฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์สเปรดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress สอดคล้องกับสมการ Power-law model ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และพบว่าทุกสภาวะที่ทำการทดลอง ผลิตภัณฑ์สเปรดแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-Newtonian ประเภทซูโดพลาสติก (Shear Thinning) นั่นคือค่าความหนืดปรากฏมีค่าลดลงเมื่อค่า shear stress เพิ่มขึ้น [13]

เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์สเปรดที่อุณหภูมิสูงขึ้นไป 45 และ 60 องศาเซลเซียสผลที่ได้มีลักษณะทำนองเดียวกับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส คือพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress สอดคล้องกับสมการ Power-law model ผลิตภัณฑ์สเปรดแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-Newtonian ประเภทซูโดพลาสติก (Shear Thinning) ค่าความหนืดปรากฏมีค่าลดลงเมื่อค่า shear stress เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ศึกษาคคุณสมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์สเปรด เป็น 45 และ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความหนืดที่ได้มีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เนื่องจากการเพิ่มของอุณหภูมิเป็นผลให้โมเลกุลของวัตถุดิบได้รับพลังงานความร้อน ระยะห่างระหว่างโมเลกุลลดลง แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลลดลงทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงด้วย [14] ซึ่งอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าความหนืดโดยตรง [20]



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของสเปรดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส

| No. | virgin coconut oil (%w/w) | egg yolk powder (%w/w) | speed (rpm) | viscosity(cp) at different temperature | | |
|-----|------------------------------|---------------------------|----------------|---|--------|--------|
| | | | | 30 °c | 45 °c | 60 °c |
| 1 | 40 | 5 | 5000 | 177000 | 110000 | 92000 |
| 2 | 40 | 10 | 5000 | 788000 | 256000 | 196000 |
| 3 | 40 | 5 | 10000 | 928000 | 156000 | 84800 |
| 4 | 40 | 10 | 10000 | 689000 | 427000 | 215000 |
| 5 | 30 | 5 | 7500 | 304000 | 110000 | 75200 |
| 6 | 30 | 10 | 7500 | 514000 | 198000 | 90933 |
| 7 | 50 | 5 | 7500 | 161000 | 264000 | 123000 |
| 8 | 50 | 10 | 7500 | 425000 | 155000 | 98100 |
| 9 | 30 | 7.5 | 5000 | 329000 | 834000 | 76533 |
| 10 | 30 | 7.5 | 10000 | 495000 | 394000 | 311000 |
| 11 | 50 | 7.5 | 5000 | 796000 | 629000 | 328000 |
| 12 | 50 | 5 | 10000 | 230000 | 303000 | 154000 |
| 13 | 40 | 7.5 | 7500 | 560000 | 221000 | 110000 |
| 14 | 40 | 7.5 | 7500 | 554000 | 235000 | 99800 |
| 15 | 40 | 7.5 | 7500 | 565000 | 213000 | 132000 |

4.3 คุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

4.3.1 Flow behavior index (n)

จากความสัมพันธ์ power-law model $\tau = K\dot{\gamma}^n$ ค่า flow behavior index (n) และค่า Consistency coefficient (K) เป็นค่าที่ใช้แสดงคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของอาหารแบบ Non-newtonian ผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ได้มีค่า flow behavior index (n) ระหว่าง 0.4034 – 0.7805 (แสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.3) ซึ่งค่า n ที่ได้ให้ผลสอดคล้องกับคุณสมบัติรีโอโลยีแบบซูดอพลาสติกที่กำหนดไว้ว่า ค่า n มีค่าอยู่ระหว่าง $0 < n < 1$ เป็นพฤติกรรมการไหลแบบซูดอพลาสติก [13] เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าว ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์

และความเร็วรอบของการผสม เป็นผลให้ค่า n เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Seyed และคณะ [9] ทำการศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์หลายชนิด (guar gum, xanthan และ starch) และผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติค้ำน้ำโอโลยีของของผสมระหว่างไขมันงาและน้ำเชื่อม และได้ใช้ความสัมพันธ์ของ power-law model พบว่าพฤติกรรมการไหลของของผสมในทุกสภาวะการทดลองเป็นแบบซูโดพลาสติก มีค่า n ระหว่าง 0.35-0.51

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าของ n , K ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| No. | vergin coconut oil (%w/w) | speed (rpm) | egg yolk powder (%w/w) | n | K (Pa.s ⁿ) |
|-----|------------------------------|----------------|---------------------------|--------|--------------------------|
| 1 | 40 | 5000 | 5 | 0.4997 | 3019.95 |
| 2 | 40 | 5000 | 10 | 0.6752 | 6966.27 |
| 3 | 40 | 10000 | 5 | 0.7371 | 7998.34 |
| 4 | 40 | 10000 | 10 | 0.7805 | 6531.31 |
| 5 | 30 | 7500 | 5 | 0.4972 | 4207.27 |
| 6 | 30 | 7500 | 10 | 0.5703 | 5176.07 |
| 7 | 50 | 7500 | 5 | 0.6099 | 2387.81 |
| 8 | 50 | 7500 | 10 | 0.7375 | 4560.37 |
| 9 | 30 | 5000 | 7.5 | 0.4034 | 4425.88 |
| 10 | 30 | 10000 | 7.5 | 0.4984 | 5069.91 |
| 11 | 50 | 5000 | 7.5 | 0.4773 | 6367.96 |
| 12 | 50 | 10000 | 5 | 0.5424 | 3147.75 |
| 13 | 40 | 7500 | 7.5 | 0.5853 | 5370.32 |
| 14 | 40 | 7500 | 7.5 | 0.6385 | 5382.7 |
| 15 | 40 | 7500 | 7.5 | 0.504 | 5370.32 |

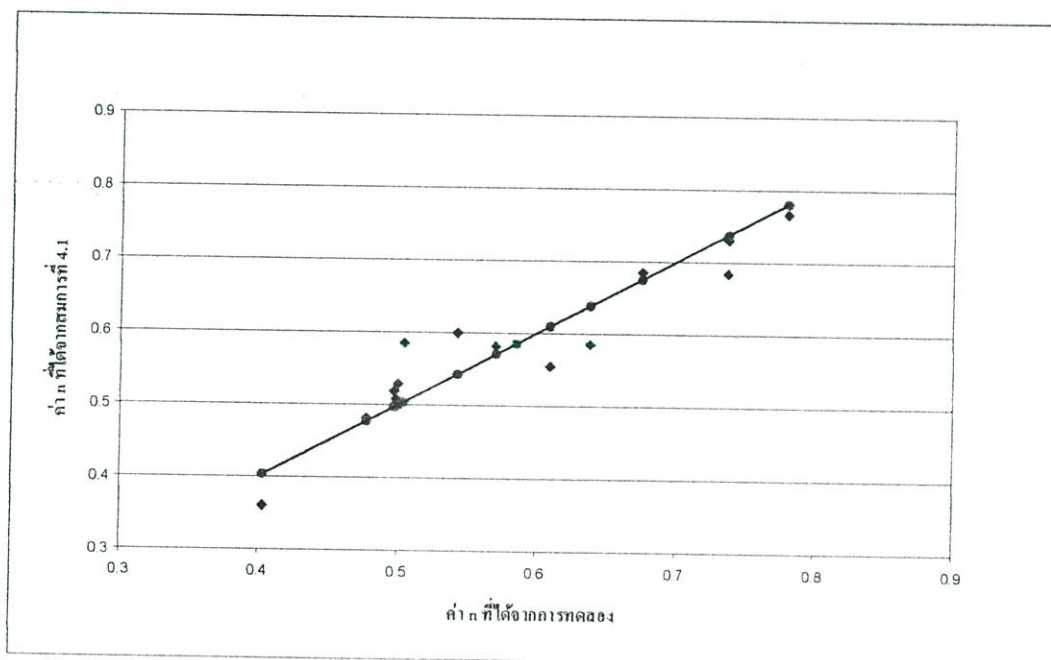
เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองนี้ไปหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์(ไข่แดงผง) และความเร็วรอบการหมุนของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ต่อค่า n ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสในรูปแบบสมการด้วยวิธี Multiple

Linear Regression Analysis รูปแบบความสัมพันธ์ที่ใช้เป็นแบบ โพลีโนเมียลกำลังสอง ความสัมพันธ์ที่ได้เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} n = & -0.6380 + 0.0705x_1 + 0.0001x_2 - 0.2346x_3 \\ & - 0.0009x_1^2 - 2.87 \times 10^{-9}x_2^2 + 0.0157x_3^2 \\ & - 5.9185 \times 10^{-7}x_1x_2 + 0.0011x_1x_3 - 2.9802 \times 10^{-6}x_2x_3 \end{aligned} \quad (\text{สมการที่ 4.1})$$

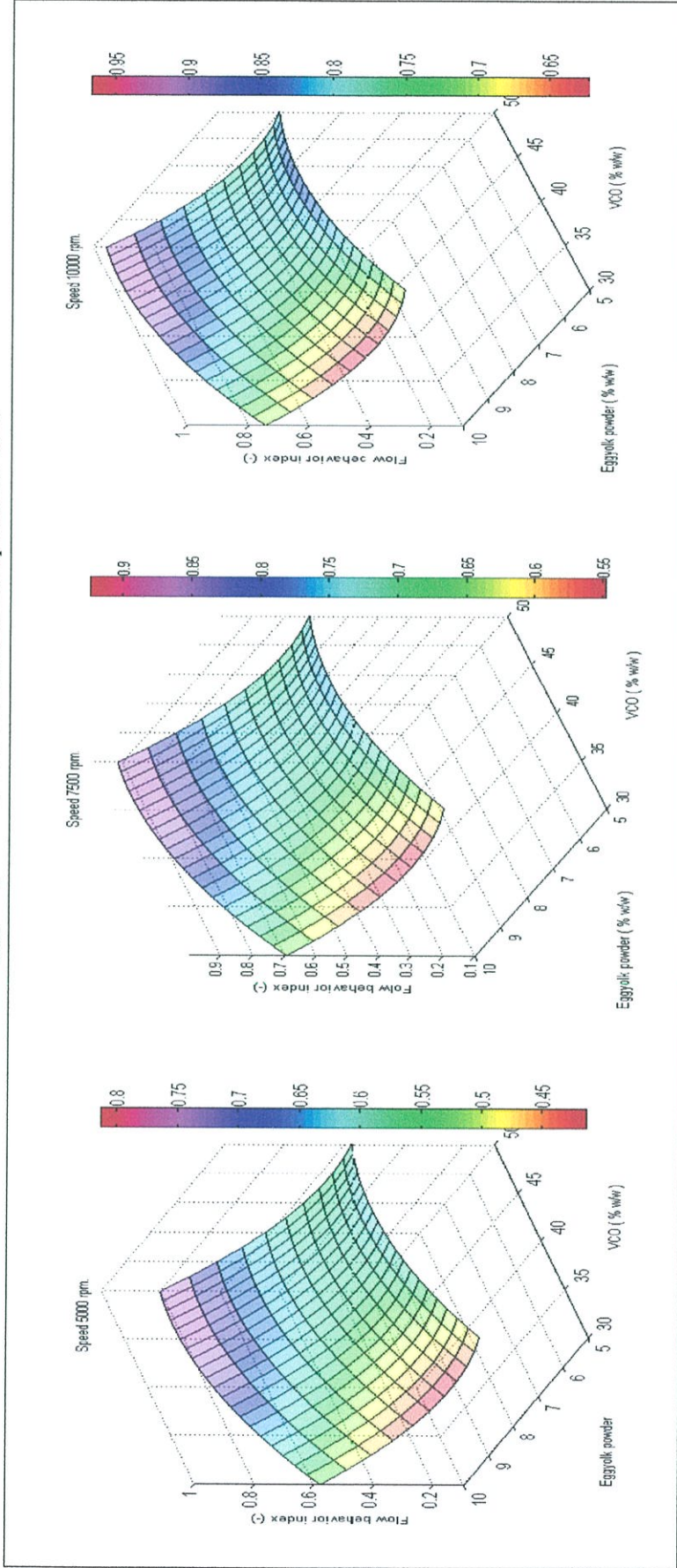
$$R^2 = 0.8698, SE. = 0.0669, p < 0.1$$

เมื่อ n คือค่า flow behavior index (n) x_1 , x_2 และ x_3 คือ ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์, ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องไฮโดรจีไนเซอร์ และความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์(ไข่แดงผง) ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องไฮโดรจีไนเซอร์คงที่ ที่ 5,000 7,500 และ 10,000 รอบต่อนาที รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าว และความเข้มข้นของไข่แดงผง ต่อค่า n ที่ความเร็วรอบการผสมที่ระดับ 5000 7500 และ 10000 รอบต่อนาทีตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของไข่แดงผงเพิ่มขึ้นค่า n ที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงในรูปที่ 4.2 ส่วนรูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า n ที่ได้จากสมการที่ 4.1 กับค่า n ที่ได้จากการทดลองพบว่ามี ความสอดคล้องกันที่ระดับนัยสำคัญ $p = 0.08$ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของค่า Flow behavior index (n) ที่ได้จากการทดลองและค่า n ที่ได้จากสมการที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Effect of VCO and egg yolk powder to flow behavior index of spread at T 30 C



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และปริมาณไข่แดง ต่อค่า flow behavior index (n) ที่ความเร็วรอบการผสมที่ระดับ 5000, 7500, และ 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิคงที่ 30 องศาเซลเซียส

4.3.2 Consistency coefficient (K)

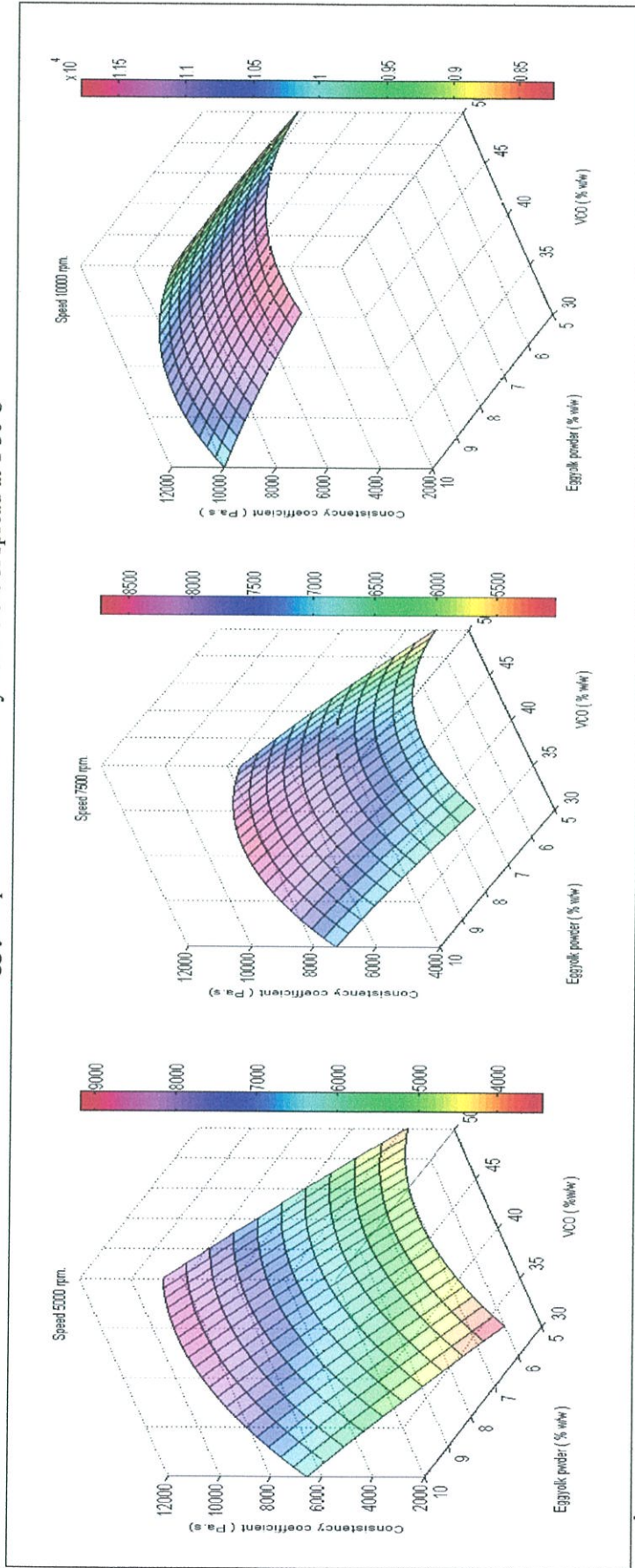
ค่าความคงตัว (Consistency coefficient (K)) เป็นค่าที่ใช้บอกความหนืดของอาหารประเภท Non-newtonian เช่นเดียวกับค่า flow behavior index (n) จากการทดลองหาความสัมพันธ์ของ สมการ power – law model จากผลิตภัณฑ์สเปรดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสพบว่าค่า K ของผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่าง 2387.81 – 7998.34 Pa.sⁿ (แสดงในตารางที่ 4.3) เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองนี้ไปหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าว บริสุทธิ์ ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์(ไข่แดงผง) และความเร็วรอบการหมุนของการผสม ต่อค่า K ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในรูปแบบสมการ โพลีโนเมียลกำลังสอง ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Multiple Linear Regression Analysis รูปแบบความสัมพันธ์ที่ได้เป็นดังนี้

$$K = -28947.7621 + 1171.1199x_1 + 1.2872x_2 + 1376.4456x_3 - 13.2899x_1^2 + 0.0001x_2^2 - 23.4938x_3^2 - 0.0368x_1x_2 + 18.1836x_1x_3 - 0.1919x_2x_3 \quad (\text{สมการที่ 4.2})$$

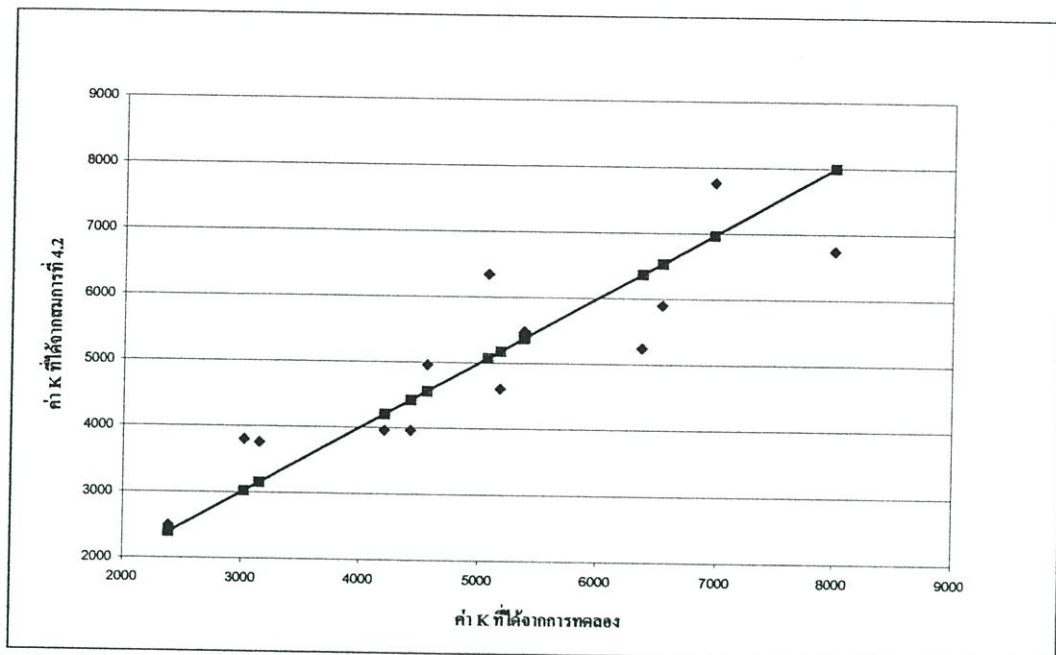
$$R^2=0.7780, SE = 1206.6305, p < 0.2$$

เมื่อ K คือค่า Consistency coefficient (K), x_1 , x_2 และ x_3 คือ ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์, ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ และ ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์(ไข่แดงผง) ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้นจาก 30 % ถึง 45 % โดยน้ำหนัก ค่า K มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้ผสมเกิน 45 % ส่วนการเพิ่มของความเข้มข้นของไข่แดงผงมีผลให้ค่า K ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าว และความเข้มข้นของไข่แดงผงต่อค่า K ที่ความเร็วรอบการผสมที่ระดับ 5000, 7500 และ 10000 รอบต่อนาทีตามลำดับ รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า K ที่ได้จากสมการ 4.2 กับค่า K ที่ได้จากการทดลอง ผลที่ได้มีความสอดคล้องกันที่ระดับนัยสำคัญ $p = 0.19$

Effect of VCO and egg yolk powder to consistency coefficient of spread at T 30 C



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และปริมาณไข่แดงผง ต่อค่า consistency coefficient (K) ที่ความเร็วรอบการผสมที่ระดับ 5000, 7500, และ 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิคงที่ 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบผลของการกระจายตัวของค่า Consistency coefficient (K) ที่ได้จากการทดลอง และค่า K ที่ได้จากสมการที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

4.3.3 ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรด

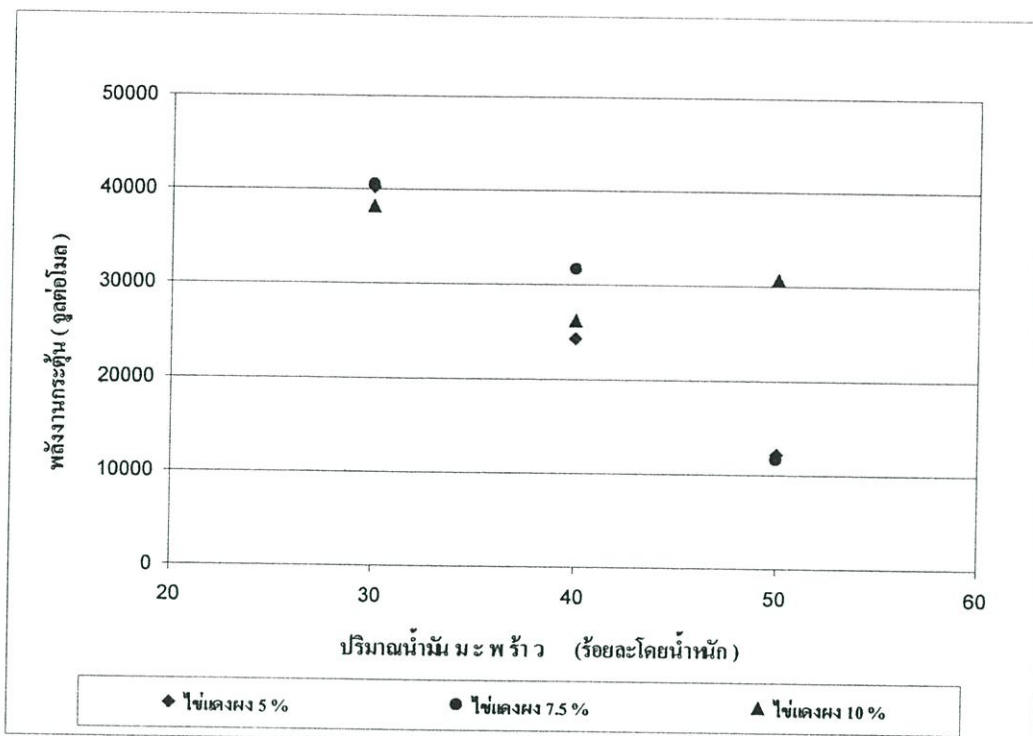
เมื่อทำการวัดคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส (แสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.4) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า n และค่า K ลดลง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสได้ค่า n ระหว่าง 0.4034 – 0.7805 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสได้ค่า n ระหว่าง 0.3347 – 0.7274 และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสได้ค่า n ระหว่าง 0.3743 – 0.5854 ส่วนค่า K ของผลิตภัณฑ์ที่ 30 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่าง 2387.81 – 7998.34 Pa.sⁿ ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสมีค่าระหว่าง 1069.05 – 5470.16 Pa.sⁿ และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีค่าระหว่าง 1004.62 – 4197.59 Pa.sⁿ

เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพลังงานความร้อนภายในโมเลกุลจะเพิ่มขึ้น เกิดระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้นทำให้แรงกระทำระหว่างโมเลกุลลดลง ส่งผลให้ความหนืดของของไหลลดลง และค่า K และค่า n ที่ได้ก็มีผลลดลงเช่นกัน [14] จึงสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์สเปรดจะแสดงพฤติกรรมการไหลเป็นแบบซูโดพลาสติกเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่า n ที่ได้มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Seyed และคณะซึ่งได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของผสมระหว่างไขมันงาและน้ำลูกพรุน พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิระหว่าง 35 – 65 องศาเซลเซียสค่า K และค่า n ที่ได้จะลดลง [9]-

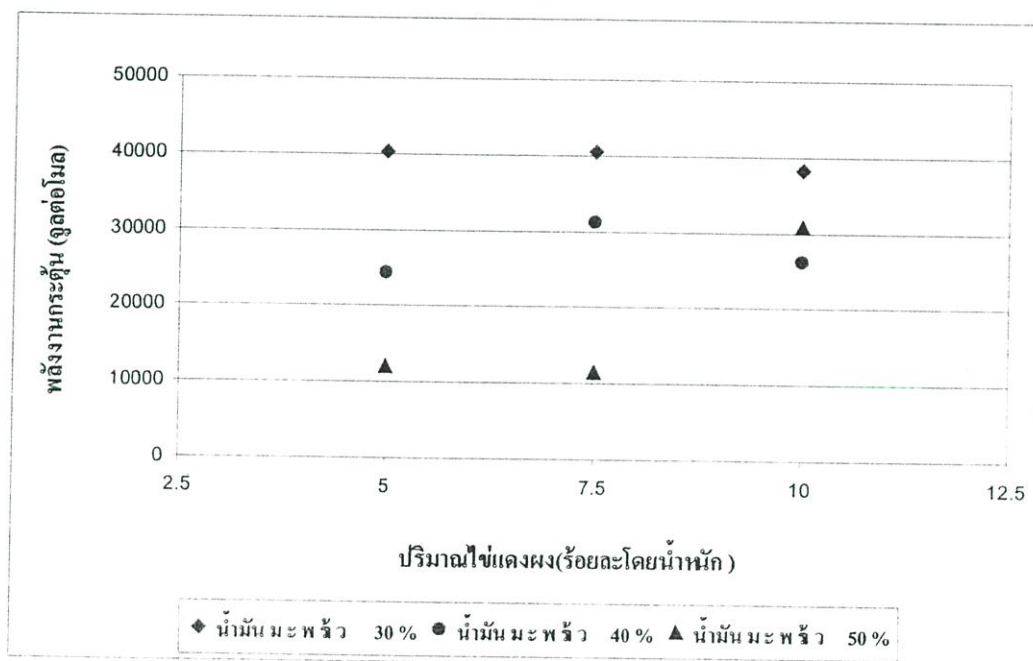
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าของ n , K ที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส

| No. | vergin coconut oil (%w/w) | speed (rpm) | egg yolk powder (%w/w) | n | | | K (Pa.s ⁿ) | | |
|-----|---------------------------------|----------------|------------------------------|------------|------------|------------|------------------------|---------|---------|
| | | | | T 30 °C | T 45 °C | T 60 °C | T 30°C | T 45 °C | T 60°C |
| 1 | 40 | 5000 | 5 | 0.4997 | 0.655 | 0.4887 | 3019.95 | 1389.95 | 1279.38 |
| 2 | 40 | 5000 | 10 | 0.6752 | 0.5355 | 0.4694 | 6966.27 | 3443.50 | 2754.23 |
| 3 | 40 | 10000 | 5 | 0.7371 | 0.5944 | 0.4487 | 7998.34 | 2074.91 | 1253.14 |
| 4 | 40 | 10000 | 10 | 0.7805 | 0.7274 | 0.5027 | 6531.31 | 4436.09 | 2999.16 |
| 5 | 30 | 7500 | 5 | 0.4972 | 0.5423 | 0.5854 | 4207.27 | 1524.05 | 1004.62 |
| 6 | 30 | 7500 | 10 | 0.5703 | 0.4903 | 0.4647 | 5176.07 | 2811.90 | 1312.20 |
| 7 | 50 | 7500 | 5 | 0.6099 | 0.5685 | 0.4534 | 2387.81 | 3564.51 | 1745.82 |
| 8 | 50 | 7500 | 10 | 0.7375 | 0.4702 | 0.3743 | 4560.37 | 2223.31 | 1524.05 |
| 9 | 30 | 5000 | 7.5 | 0.4034 | 0.6285 | 0.5039 | 4425.88 | 1069.05 | 1059.25 |
| 10 | 30 | 10000 | 7.5 | 0.4984 | 0.4821 | 0.4074 | 5069.91 | 4405.55 | 3999.45 |
| 11 | 50 | 5000 | 7.5 | 0.4773 | 0.3347 | 0.4356 | 6367.96 | 5470.16 | 4197.59 |
| 12 | 50 | 10000 | 5 | 0.5424 | 0.6058 | 0.565 | 3147.75 | 3589.22 | 2018.37 |
| 13 | 40 | 7500 | 7.5 | 0.5853 | 0.5808 | 0.4324 | 5370.32 | 3013.01 | 1614.36 |
| 14 | 40 | 7500 | 7.5 | 0.6385 | 0.5885 | 0.4307 | 5382.70 | 3076.10 | 1541.70 |
| 15 | 40 | 7500 | 7.5 | 0.504 | 0.5762 | 0.4577 | 5370.32 | 2870.78 | 1733.80 |

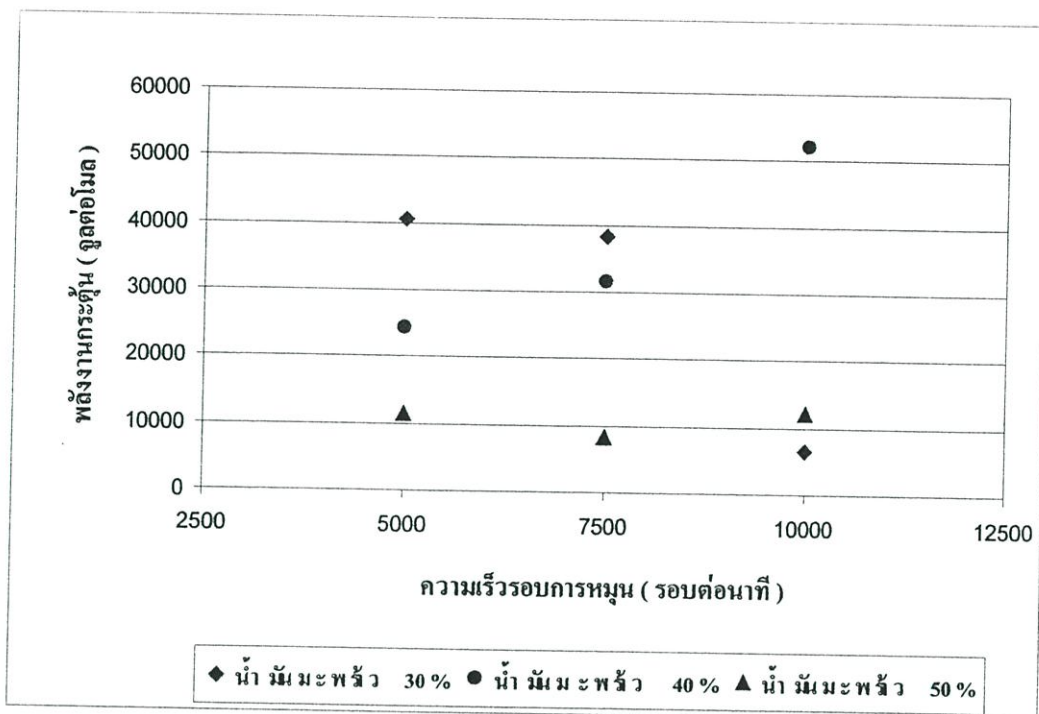
เมื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่า K จากสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model) จะได้ค่า พลังงานกระตุ้น (E_a) ระหว่าง 8.268 – 52.212 กิโลจูลต่อโมล พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้นค่า พลังงานกระตุ้น (E_a) ที่ได้จะมีค่าลดลง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวและค่าพลังงานกระตุ้นดังรูปที่ 4.6 สำหรับความเข้มข้นของไข่แดงผง และความเร็วรอบการหมุนของเครื่อง โฮโมจีไนเซอร์ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าพลังงานกระตุ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และค่าพลังงานกระตุ้น ที่ปริมาณไขมันแดงร้อยละ 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ (ไขมันแดง) และค่าพลังงานกระตุ้น ที่ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์และค่าพลังงานกระตุ้น ที่ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก

4.4 ปริมาณน้ำอิสระ

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) พบว่าทุกสภาวะการทดลองของผลิตภัณฑ์สเปรด มีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.565 – 0.591 (แสดงผลการทดลองตามตารางที่ 4.5) โดยค่า a_w เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเก็บรักษาของอาหาร มีผลกระทบต่ออัตราเร็วในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 จะช่วยป้องกันความเสี่ยงของอาหารที่เกิดจากจุลินทรีย์ จำพวก ยีสต์ รา และแบคทีเรีย [18] โดยปกติผลิตภัณฑ์สเปรดควรมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.87 Salmi [15] ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของ ช็อกโกแลตสเปรดไขมันต่ำโดยใช้น้ำมันปาล์มเป็นส่วนประกอบพบว่าได้ค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.76 – 0.79

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า a_w ในผลิตภัณฑ์สเปรดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

| No. | virgin coconut oil (%w/w) | egg yolk powder (%w/w) | speed (rpm) | Free water |
|-----|------------------------------|---------------------------|----------------|------------|
| 1 | 40 | 5 | 5000 | 0.591 |
| 2 | 40 | 10 | 5000 | 0.576 |
| 3 | 40 | 5 | 10000 | 0.582 |
| 4 | 40 | 10 | 10000 | 0.579 |
| 5 | 30 | 5 | 7500 | 0.575 |
| 6 | 30 | 10 | 7500 | 0.574 |
| 7 | 50 | 5 | 7500 | 0.573 |
| 8 | 50 | 10 | 7500 | 0.581 |
| 9 | 30 | 7.5 | 5000 | 0.588 |
| 10 | 30 | 7.5 | 10000 | 0.583 |
| 11 | 50 | 7.5 | 5000 | 0.585 |
| 12 | 50 | 5 | 10000 | 0.565 |
| 13 | 40 | 7.5 | 7500 | 0.575 |
| 14 | 40 | 7.5 | 7500 | 0.576 |
| 15 | 40 | 7.5 | 7500 | 0.573 |

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรคจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์ และศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการผลิต (น้ำมันมะพร้าว ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก อิมัลซิฟายเออร์ (ไข่แดงผง) ร้อยละ 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก และความเร็วยรอบการหมุนของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ 5000, 7500 และ 10000 รอบต่อนาที) ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรคที่ได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การผลิตผลิตภัณฑ์สเปรค ด้วยวิธีปั่นกวนแบบความเร็วยรอบต่ำ ด้วยเครื่องผสมแบ่งเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งการปั่นกวนวิธีนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เกิดการแยกชั้นของอิมัลชัน และทำการปั่นกวนซ้ำ อีกครั้ง ด้วยเครื่องปั่นความเร็วรอบสูงด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งการปั่นกวนในขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สเปรคที่มีเนื้อสัมผัสละเอียด และเมื่อพิจารณาในคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรคที่ได้พบว่าผลิตภัณฑ์มีพฤติกรรมการไหล แบบ non-Newtonian ประเภทซูโดพลาสติก ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress สอดคล้องกับสมการ power-law model ซึ่งค่า flow behavior index (n) และค่า consistency coefficient (K) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าว ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์ และความเร็วยรอบการหมุนสูงขึ้น และได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่า K โดยใช้สมการอาร์เรเนียส พบว่าพลังงานกระตุ้นจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์ (ไข่แดงผง) ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และความเร็วยรอบการหมุนของ เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ต่อค่า n และค่า K ของผลิตภัณฑ์สเปรคและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง กับผลที่ได้จากการคำนวณตามสมการ Multiple Linear Regression Analysis พบว่าผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องดีกับผลที่ได้จากการสมการ

บรรณานุกรม

- [1] ณรงค์ โคมเจลา “การบรรยายประชุมวิชาการ เรื่อง บทบาทของน้ำมันมะพร้าวต่อสุขภาพและความงาม” available online:
<http://www.dtam.moph.go.th/alternative/viewstory.php?id=360>
- [2] ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่ง “เกษตรฯ หาแนวทางเร่งฟื้นพื้นที่ปลูกมะพร้าว หลังพบปัญหาปริมาณมะพร้าวลดฮวบ หวั่นกระทบต่อผลผลิต พร้อมเร่งส่งเสริมการบริโภคผลิตภัณฑ์มะพร้าว” ประเทศไทย available online:
<http://media.thaigov.go.th/pageconfig/viewcontent/viewcontent1.asp?pageid=471&directory=1820&contents=13349>
- [3] Blanca J. Villarino, Lianne Marsha Dy, Ma. Concepcion C. Lizada, “**Descriptive sensory evaluation of virgin coconut oil and refined, bleached and deodorized coconut oil**” LWT 40(2007) 193-199.
- [4] Nicole M. de Roos, Evert G. Schouten and Martijn B. Katan, “**Consumption of a Solid Fat Rich in Lauric Acid Results in a More Favorable Serum Lipid Profile in Healthy Men and Woman than Consumption of a Solid Fat Rich in trans-Fatty Acids**” The Journal of Nutrition 2001, p 242 – 245.
- [5] Bureau of product standards, “**Philippine National Standard Virgin coconut oil**” Department of Trade and Industry Philippines, PNS/BAFPS22: 2004
- [6] J Bruce German and Cora J Dillard “**Saturated fats: what dietary intake**” American Journal of Clinical Nutrition, 80,550-559.
- [7] Nutella From Wikipedia, the free encyclopedia available online:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Nutella>
- [8] Buffo,R.A., Reineccius, G.A. (2002) “**Modeling the rheology of concentrated beverage emulsion**” Food Engineering, 51, p.267 – 272.
- [9] Seyed M.A. Razavi, M.B., Habibi Najafi, and Alae, Z. (2007) “**The time independent rheological properties of low fat sesame paste/date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature**” Food Hydrocolloids, 21 , p. 198-202.
- [10] Swami, S.B., Das, S.K., Maiti, B. (2004) “**Effect of water and air content on the rheological properties of black gram batter**” Food Engineering, 65, p. 189–196
- [11] พี่ชเรษฐกิจสารพัดประโยชน์มะพร้าว available online:

- http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7#cite_note-0
- [12] พิมพ์ร ถีลาพิสิทธิ์ “ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอิมัลชัน” หนังสือเครื่องสำอางสำหรับผิวหน้า
available online: <http://www.cosmecs.com/emusion.php#>
- [13] Food engineer for education site available online “ความหนืดและพฤติกรรมการไหลของไหล”: http://www.geocities.com/oowen10/fluid_mech/viscosity_behavior.htm
- [14] Arslan, E., Yener, M.E., Esin, A. “Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends” Food Engineering 69 (2005) 167 – 172.
- [15] Salmi Yati Samsudin, “Low-Fat Chocolate Spread Based on Palm Oil” Palm Oil Developments 45 p 27 – 30.
- [16] Inmaculada Martinez, M Angustias Riscardo, Jose M Franco, “Effect of salt content on the rheological properties of salad dressing-type emulsion stabilized by emulsifier blends ” Food Engineering 80 (2007) 1272 – 1281.
- [17] Thitima Peamprasart, Naphaporn Chiewchan, “Effect of fat content and preheat treatment on the apparent viscosity of coconut milk after homogenization” Food Engineering 77 (2006) 653 – 658.
- [18] Lewis, M.J. (1987) “**Physical properties of foods and food processing systems**”
Chichester: Ellis Horwood,
- [19] Brookfield DV-II+ Programmable Viscometer Operating Instructions Manual No.M/97-164-D1000 “More solutions to sticky problems” Brookfield Engineering Laboratories, Inc.
- [20] Bourne, M. (2002) “Food and Texture and Viscosity Concept and Measurement” Academic press

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมแมทแลปที่ใช้ในการเขียนกราฟ

เขียนกราฟความสัมพัทธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันมะพร้าว ปริมาณอิมัลซิฟายเออร์(ไข่แดงผง) ต่อค่า Consistency coefficient ที่ ความเร็วรอบ 5000, 7500, และ 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ

ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

```
[X,Y] = meshgrid([30:0.5:50],[5:0.125:10]);
Z = -18497.76 + 986.12*X + 426.45*Y - 13.24*(X.^2) -
23.49*(Y.^2)+18.18*X.*Y;
surf(X,Y,Z)
colormap hsv
alpha(.4)
```

```
[X,Y] = meshgrid([30:0.5:50],[5:0.125:10]);
Z = -10272.7 + 893.62*X -48.55*Y - 13.24*(X.^2) -
23.49*(Y.^2)+18.18*X.*Y;
surf(X,Y,Z)
colormap hsv
alpha(.4)
```

```
[X,Y] = meshgrid([30:0.5:50],[5:0.125:10]);
Z = -47.76 + 801.12*X -523.55*Y - 13.24*(X.^2) -
23.49*(Y.^2)+18.18*X.*Y;
surf(X,Y,Z)
colormap hsv
alpha(.4)
```

ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

```
[X,Y] = meshgrid([30:0.5:50],[5:0.125:10]);
Z = -0.1598 +0.0697*X -0.2499*Y -
0.00087*(X.^2)+0.016*(Y.^2)+0.0011*X.*Y;
surf(X,Y,Z)
colormap hsv
alpha(.4)
```

```
[X,Y] = meshgrid([30:0.5:50],[5:0.125:10]);
Z = 0.027 +0.0696*X -0.257*Y -
0.00087*(X.^2)+0.016*(Y.^2)+0.0011*X.*Y;
surf(X,Y,Z)
colormap hsv
alpha(.4)
```

```
[X,Y] = meshgrid([30:0.5:50],[5:0.125:10]);
Z = 0.175 +0.069*X -0.2648*Y -
0.00087*(X.^2)+0.016*(Y.^2)+0.0011*X.*Y;
surf(X,Y,Z)
colormap hsv
alpha(.4)
```

ภาคผนวก ข

ค่า Anova จากการคำนวณตามสมการ **Multiple Linear Regression Analysis**

Flow behavior index (n) at 30 °C

| Regression Statistics | |
|------------------------------|-------------|
| Multiple R | 0.93263315 |
| R Square | 0.869804593 |
| Adjusted R Square | 0.63545286 |
| Standard Error | 0.066896239 |
| Observations | 15 |

| ANOVA | | | | | |
|--------------|----|-------------|-------------|------------|----------------|
| | df | SS | MS | F | Significance F |
| Regression | 9 | 0.14948563 | 0.016609514 | 3.71153472 | 0.081287575 |
| Residual | 5 | 0.022375534 | 0.004475107 | | |
| Total | 14 | 0.171861164 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
|------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Intercept | -0.63804 | 1.04407 | -0.61111 | 0.567838 | -3.32191 | 2.045823 | -3.32191 | 2.045823 |
| X Variable | | | | | | | | |
| 1 | 0.07051 | 0.034071 | 2.069525 | 0.093296 | -0.01707 | 0.158091 | -0.01707 | 0.158091 |
| X Variable | | | | | | | | |
| 2 | 0.000113 | 0.00012 | 0.937273 | 0.391647 | -0.0002 | 0.000422 | -0.0002 | 0.000422 |
| X Variable | | | | | | | | |
| 3 | -0.23463 | 0.109135 | -2.14987 | 0.084259 | -0.51517 | 0.045914 | -0.51517 | 0.045914 |
| X Variable | | | | | | | | |
| 4 | -0.00087 | 0.000354 | -2.46619 | 0.056795 | -0.00178 | 3.7E-05 | -0.00178 | 3.7E-05 |
| X Variable | | | | | | | | |
| 5 | -2.9E-09 | 5.67E-09 | -0.50656 | 0.634004 | -1.7E-08 | 1.17E-08 | -1.7E-08 | 1.17E-08 |
| X Variable | | | | | | | | |
| 6 | 0.015733 | 0.006114 | 2.57322 | 0.04984 | 1.61E-05 | 0.03145 | 1.61E-05 | 0.03145 |
| X Variable | | | | | | | | |
| 7 | -5.9E-07 | 1.48E-06 | -0.39947 | 0.706041 | -4.4E-06 | 3.22E-06 | -4.4E-06 | 3.22E-06 |
| X Variable | | | | | | | | |
| 8 | 0.001121 | 0.001295 | 0.865614 | 0.426276 | -0.00221 | 0.00445 | -0.00221 | 0.00445 |
| X Variable | | | | | | | | |
| 9 | -3E-06 | 5.18E-06 | -0.57533 | 0.58999 | -1.6E-05 | 1.03E-05 | -1.6E-05 | 1.03E-05 |

Consistency coefficient (K) at 30 °C

| Regression Statistics | |
|------------------------------|-------------|
| Multiple R | 0.882039995 |
| R Square | 0.777994554 |
| Adjusted R Square | 0.37838475 |
| Standard Error | 1206.630501 |
| Observations | 15 |

| ANOVA | | | | | |
|--------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| | df | SS | MS | F | Significance F |
| Regression | 9 | 25511237.76 | 2834581.973 | 1.946885553 | 0.239693827 |
| Residual | 5 | 7279785.831 | 1455957.166 | | |
| Total | 14 | 32791023.59 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
|-----------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Intercept | -28947.8 | 18832.24 | -1.53714 | 0.184866 | -77357.6 | 19462.06 | -77357.6 | 19462.06 |
| X | | | | | | | | |
| Variable | | | | | | | | |
| 1 | 1171.12 | 614.5428 | 1.905677 | 0.115022 | -408.613 | 2750.852 | -408.613 | 2750.852 |
| X | | | | | | | | |
| Variable | | | | | | | | |
| 2 | 1.287242 | 2.169941 | 0.593216 | 0.578851 | -4.29077 | 6.865252 | -4.29077 | 6.865252 |
| X | | | | | | | | |
| Variable | | | | | | | | |
| 3 | 1376.446 | 1968.5 | 0.699236 | 0.515587 | -3683.74 | 6436.636 | -3683.74 | 6436.636 |
| X | | | | | | | | |
| Variable | | | | | | | | |
| 4 | -13.2399 | 6.387888 | -2.07266 | 0.092925 | -29.6605 | 3.180687 | -29.6605 | 3.180687 |
| X | | | | | | | | |
| Variable | | | | | | | | |
| 5 | 0.000116 | 0.000102 | 1.130416 | 0.309591 | -0.00015 | 0.000378 | -0.00015 | 0.000378 |
| X | | | | | | | | |
| Variable | | | | | | | | |
| 6 | -23.4938 | 110.2842 | -0.21303 | 0.839717 | -306.988 | 260.0008 | -306.988 | 260.0008 |
| X | | | | | | | | |
| Variable | | | | | | | | |
| 7 | -0.03683 | 0.026724 | -1.37818 | 0.226627 | -0.10553 | 0.031866 | -0.10553 | 0.031866 |
| X | | | | | | | | |
| Variable | | | | | | | | |
| 8 | 18.18364 | 23.3581 | 0.778472 | 0.471506 | -41.8603 | 78.22754 | -41.8603 | 78.22754 |
| X | | | | | | | | |
| Variable | | | | | | | | |
| 9 | -0.19195 | 0.093432 | -2.05442 | 0.095106 | -0.43213 | 0.048226 | -0.43213 | 0.048226 |

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

พรรณนิภา ฤาโชคชัย, มาฤติ ผ่องพิพัฒน์พงศ์ “คุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์” วารสารวิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 26 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน 2552



วิศวกรรมลาดกระบัง

Ladkrabang Engineering Journal

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

วันที่ 7 กันยายน 2552

เลขที่อ้างอิง 1311

เรื่อง การตอบรับบทความ

เรียน คุณพรธนิภา ฤาไชยชัย มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงษ์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง คุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์ (Rheological Characteristics of Virgin Coconut Oil Spread) มาให้พิจารณาเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมลาดกระบัง บัดนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิได้ทำการพิจารณาแล้วเห็นว่า ยอมรับตีพิมพ์ได้ โดยจะตีพิมพ์ในปีที่ 26 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน 2552

จึงเขียนมาเพื่อทราบ

(รศ.ดร. วิสวัณ นวน)

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

คุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมัน มะพร้าวอินทรีย์

Rheological characterization of spread product from virgin coconut oil.

พรณีภา ฤาโชคชัย, มาฤติ ผ่องพิพัฒน์พงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการผลิตต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ผลิตจากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์บริสุทธิ์ ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ปริมาณน้ำมันมะพร้าว ปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ และความเร็วรอบของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ คุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบระบบการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์สเปรดมีพฤติกรรมแบบ non-Newtonian ประเภทยูโดพลาสติก ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress และ Shear rate ที่ได้สอดคล้องกับสมการ Power-law model มีค่า flow behavior index (n) อยู่ในช่วง 0.4043 – 0.7805 ซึ่งมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าว ปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ และความเร็วรอบ ส่วนค่าความคงตัว consistency coefficient (K) มีค่าในช่วง 2387.81 – 7998.34 Pa s แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าวและปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ นอกจากนี้ยังได้แสดงความสัมพันธ์ของค่า consistency coefficient (K) ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ในช่วง 30 - 60 องศาเซลเซียส ด้วยสมการอาร์เรเนียส ค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) ที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 6652.36 – 52212.75 จูลต่อโมล ซึ่งค่าพลังงานกระตุ้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น

Abstract

The objectives of this study was to determine the effects of virgin coconut oil concentration, emulsifier concentration and the rotational speed of homogenizer on the rheological properties of spread products by using a Brookfield DV II – Programmable Viscometer at 30 °C. Spread products were found to exhibit non-Newtonian, pseudo-plastic behavior at all conditions. Shear stress versus shear rate data was successfully fitted to the power-law model. The flow behavior index (n) was in the range of 0.4043 – 0.7805. The consistency coefficient (K) was in the range of 2387.81 – 7998.34 Pa s. The relationship between temperature (30, 45 and 60 °C) and consistency coefficient (K) was described by an Arrhenius equation. The activation energy (E_a) appeared in the range of 6652.36 – 52212.75 J/mol. The parameter was decreased with increasing virgin coconut oil concentration.

Key words: Virgin Coconut Oil, Spread Product, Emulsifier, Homogenizer, Rheology, Pseudo-plastic

1. บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชพื้นเมืองสำคัญของไทย มะพร้าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน จนได้ชื่อว่าเป็นต้นไม้สารพัดประโยชน์^[1] ประเทศไทยมีปริมาณการเพาะปลูกมะพร้าวเป็นจำนวนถึงประมาณ 2 ล้านต้นต่อปี ปัจจุบันส่งออกจำหน่ายในรูปแบบเนื้อมะพร้าวฝอย เนื้อมะพร้าวแห้ง กะทิ สำหรับปรุงรรมทั้งน้ำมันมะพร้าว^[2]

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil) เป็นน้ำมันมะพร้าวที่สกัดโดยไม่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านการเติมออกซิเจน น้ำมันที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง และมีปริมาณวิตามินอีสูง^[1,3] วิตามินอีที่มีอยู่ในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ มีกรดลอริกซึ่งเป็นสารปฏิชีวนะ^[4,5] กรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว ส่วนใหญ่มีโมเลกุลขนาดกลาง สามารถถูกดูดซึมในร่างกายให้เป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่มีไขมันเหลือสะสมในร่างกาย จึงช่วยลดความอ้วน โดยไปนำไขมันที่ร่างกายสะสมไว้ ออกมาใช้เป็นพลังงาน^[6]

ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสำคัญต่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์และมีคุณค่าครบถ้วน การเลือกรับประทานอาหาร จึงมิได้มุ่งเน้นที่รสชาติความอร่อยและอิมพอร์ตเท่านั้น หากแต่ยังพิจารณาถึงประโยชน์ที่จะนำไปสู่การมีสุขภาพที่ดีปราศจากโรคภัยไข้เจ็บด้วย

ซ็อกโกแลตสเปรดเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมมากในแถบตะวันตก และมีแนวโน้มได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในเอเชียตามลำดับ ส่วนผสมสำคัญในการผลิตซ็อกโกแลตสเปรดที่วางขายในท้องตลาดจะมีน้ำมันจากถั่วผสมอยู่ประมาณ 13 - 15 เปอร์เซ็นต์^[5] ทำให้ผู้ที่มิมีปัญหาสุขภาพหรือผู้ที่แพ้ถั่วไม่สามารถบริโภคผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้ ดังนั้นการเลือกใช้น้ำมันมะพร้าวมาทดแทนน้ำมันจากถั่ว จึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภค ยิ่งกว่านั้นการใช้

น้ำผึ้งทดแทนน้ำตาลในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทสเปรด จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และเป็นผลดีต่อสุขภาพ นับเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่รักสุขภาพมากขึ้น

การผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดเป็นการผสมส่วนประกอบที่เป็นไขมันหรือน้ำมันกับส่วนที่เป็นน้ำหรือสารละลายของน้ำ ซึ่งทั้งสองส่วนนี้ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้เข้ากัน เรียกว่า เป็นการทำ "อิมัลชัน" โดยทั่วไปส่วนที่เป็นไขมัน/น้ำมัน เป็น continuous phase ส่วนที่เป็นสารละลายน้ำ เป็น disperse phase ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เมื่อนำมาบริโภคจะมีลักษณะเป็นครีมข้น ไม่แยกชั้น สามารถนำมาทานอาหารอื่น เช่น ขนมปังได้ มีรายงานการศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีในผลิตภัณฑ์ประเภทสเปรดจากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น น้ำมันถั่ว น้ำมันงา น้ำมันปาล์ม อุ่น ลูกพรุน ซึ่งได้สรุปว่า คุณสมบัติทางรีโอโลยี โดยเฉพาะทางด้านความหนืดและพฤติกรรมการไหลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ สามารถนำมาบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค^[8,9,10] นอกจากนี้ยังมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องต่อการผลิต เช่น อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ ชนิดและปริมาณของสารช่วยลดแรงตึงผิว (อิมัลซิฟายเออร์) เทคนิคการทำอิมัลชัน อุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการทำอิมัลชันเป็นต้น ความเข้าใจถึงผลของค่าแปรในการผลิตเป็นประโยชน์ในการควบคุมการผลิตให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ตามต้องการ สำหรับการนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สเปรดยังมีได้มีการศึกษากันมาบ้าง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการผลิตและผลกระทบของค่าแปรที่เกี่ยวข้องในการผลิตผลิตภัณฑ์ทางรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ได้จากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์บริสุทธิ์ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแปรรูปมะพร้าวของประเทศ

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ส่วนประกอบของ วัสดุคืบที่ใช้ผลิต ประกอบด้วย น้ำมันมะพร้าวอินทรีย์บริสุทธิ์ (บ. Tropical Nutrition) น้ำผึ้ง (บ.คอยคำ) นมผง (บ. Dumex) ผงโกโก้ และไข่แดงผง ซึ่งใช้เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ (Belovo) สำหรับปริมาณผงโกโก้ และนมผง กำหนดให้คงที่ที่ร้อยละ 7 และร้อยละ 8 (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำผึ้งและไข่แดง ผงกำหนดตามแผนการทดลองในหัวข้อ 2.2 จากนั้น นำส่วนประกอบทั้งหมดมาผสมในเครื่องผสมแป้ง Philips mixer HR 1456 ก่อนนำเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ Amfield Siverson L4R เพื่อให้เกิดอิมัลชันได้ เป็นผลิตภัณฑ์สเปรด ขั้นตอนการผลิตแสดงในรูปที่ 1

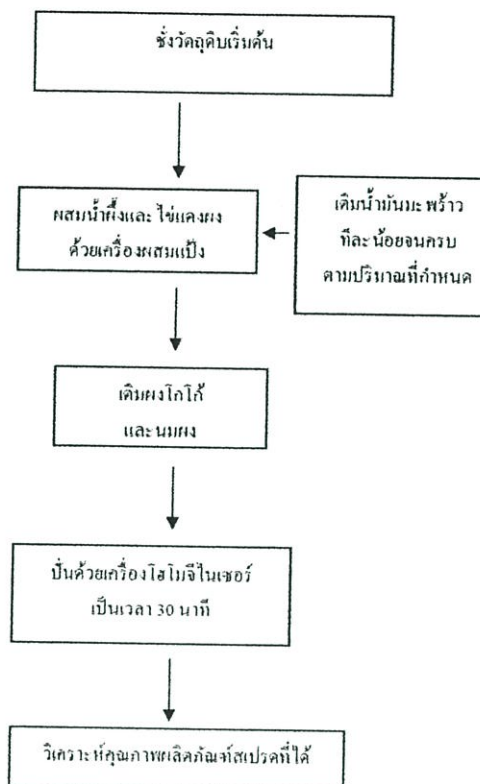
2.2 การวางแผนการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของค่าแปร ในการผลิต ได้แก่ ปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์(ไข่แดงผง) ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และ ความเร็วรอบการทำงานของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของซ็อกโกแลตสเปรด วางแผนการทดลองแบบ Box Behuken ซึ่ง ประกอบด้วย 15 สภาวะการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงค่าตัวแปรและระดับของค่าตัวแปร ที่ใช้ในการทดลอง

| ตัวแปร | ระดับของตัวแปร |
|---------------------------------|----------------|
| ปริมาณไข่แดงผง | 5 % w w |
| | 7.5 % w w |
| | 10 % w w |
| ปริมาณน้ำมันมะพร้าว | 30 % w w |
| | 40 % w w |
| | 50 % w w |
| ความเร็วรอบเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ | 5000 rpm |
| | 7500 rpm |
| | 10000 rpm |

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์สเปรด

2.3.1 วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

เป็นค่าที่แสดงความปลอดภัยในการเก็บรักษาอาหาร วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่า a_w ยี่ห้อ Aqualab Series 3TE โดย a_w เป็นอัตราส่วนระหว่างความดันไอในผลิตภัณฑ์อาหาร(P) และความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_e) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังสมการ^[7]

$$a_w = \frac{P}{P_e} \quad (1)$$

2.3.2 วิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity) และ คุณสมบัติด้านรีโอโลยี (Rheological properties)

ทำการวัดคุณสมบัติความหนืดของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์ด้วย

เครื่อง Brookfield DV II - Programmable Viscometer โดยใช้หัววัดความหนืดขนาด No. 7 ใช้ค่าความเร็วรอบระหว่าง 3-15 รอบต่อนาที และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาคุณสมบัติความหนืด ความสัมพันธ์ ดังนี้ [11]

Shear rate (Sec^{-1}):

$$\dot{\gamma} = \frac{2\omega R_c^2 R_b^2}{x^2(R_c^2 - R_b^2)} \quad (2)$$

Shear stress (dynes cm^{-2}):

$$\tau = \frac{M}{2\pi R_b^2 L} \quad (3)$$

Viscosity (poise);

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (4)$$

เมื่อ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของหัววัดที่ใช้ (Angular velocity of spindle, rad/sec)

$$\omega = \left(\frac{2\pi}{60}\right) \bullet N : N = \text{RPM} \quad (5)$$

R_c คือ รัศมีของวัตถุที่ใส่ตัวอย่าง (cm), R_b คือ รัศมีของหัววัด(cm), x คือ radius at which shear rate is being calculated, M คือ % Full scale torque, dyne-(cm), L คือ ระยะความลึกของหัววัดที่จุ่มลงในตัวอย่าง(cm)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate อาศัยความสัมพันธ์จาก power-law model [12]

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (6)$$

เมื่อ τ คือ shear stress (Pa), $\dot{\gamma}$ คือ shear rate (sec^{-1}), K คือ consistency coefficient (Pa s^n), n คือ flow behavior index

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิคือ consistency coefficient อาศัยสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model)

$$k = k_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (7)$$

เมื่อ k_0 คือค่าคงที่ E_a คือพลังงานกระตุ้น (activation energy) (J/mol), R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (J/mol K), T คือ อุณหภูมิ (K)

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 แสดงค่าของ K , n ที่อุณหภูมิ 30 °C

| No. | virgin coconut oil (%ow/w) | egg yolk powder (%ow/w) | speed (rpm) | n | K (Pa.s) | R^2 |
|-----|----------------------------|-------------------------|-------------|--------|------------|--------|
| 1 | 40 | 5 | 5000 | 0.4997 | 3019.95 | 0.9957 |
| 2 | 40 | 10 | 5000 | 0.6752 | 6966.27 | 0.9864 |
| 3 | 40 | 5 | 10000 | 0.7371 | 7998.34 | 0.988 |
| 4 | 40 | 10 | 10000 | 0.7805 | 6531.31 | 0.9856 |
| 5 | 30 | 5 | 7500 | 0.4972 | 4207.27 | 0.9268 |
| 6 | 30 | 10 | 7500 | 0.5703 | 5176.07 | 0.9891 |
| 7 | 50 | 5 | 7500 | 0.6099 | 2387.81 | 0.9619 |
| 8 | 50 | 10 | 7500 | 0.7375 | 4560.37 | 0.9956 |
| 9 | 30 | 7.5 | 5000 | 0.4034 | 4425.88 | 0.9868 |
| 10 | 30 | 7.5 | 10000 | 0.4984 | 5069.91 | 0.9996 |
| 11 | 50 | 7.5 | 5000 | 0.4773 | 6367.96 | 0.9982 |
| 12 | 50 | 5 | 10000 | 0.5424 | 3147.75 | 0.9976 |
| 13 | 40 | 7.5 | 7500 | 0.5853 | 5370.32 | 0.9927 |
| 14 | 40 | 7.5 | 7500 | 0.6385 | 5382.70 | 0.9896 |
| 15 | 40 | 7.5 | 7500 | 0.504 | 5370.32 | 0.9995 |

3.1 คุณสมบัติความหนืดและพฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์สเปรด

เมื่อทำการศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ได้ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (แสดงผลการทดลองในตารางที่ 2) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress และ Shear rate สอดคล้องกับสมการ Power-law model และพบว่าทุกสถานะที่ทำการทดลอง ผลิตภัณฑ์สเปรดแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-Newtonian ประเภทไซโคลลาสติก (Shear Thinning) นั่นคือค่าความหนืดปรากฏมีค่าลดลงเมื่อค่า shear stress เพิ่มขึ้น ค่าความคงตัว (consistency coefficient, K) ของผลิตภัณฑ์ อยู่ระหว่าง 2387.81 – 7998.34 Pa.s. และค่า flow behavior index (n) ระหว่าง 0.4043 –

0.7805 ซึ่งค่า flow behavior index ที่ได้ให้ผลสอดคล้องกับคุณสมบัติด้านรีโอโลยีแบบซูโดพลาสติกที่กำหนดไว้ว่า ค่า flow behavior index⁽³⁾ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง $0 < n < 1$ จะเป็นพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก และพบว่าค่า flow behavior index (n) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าว ปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ และความเร็วรอบการหมุนของเครื่อง homogenizer ให้สูงขึ้น สำหรับค่า consistency coefficient (K) นั้นจะมีค่าลดลง เมื่อปริมาณน้ำมันมะพร้าวและปริมาณอิมัลซิฟายเออร์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงความหนืดของผลิตภัณฑ์

| no. | virgin coconut oil (%w/w) | egg yolk powder (%w/w) | speed (rpm) | viscosity(cp) at different temperature | | |
|-----|---------------------------|------------------------|-------------|--|--------|--------|
| | | | | 30 c | 45 c | 60 c |
| 1 | 40 | 5 | 5000 | 177000 | 110000 | 92000 |
| 2 | 40 | 10 | 5000 | 788000 | 256000 | 196000 |
| 3 | 40 | 5 | 10000 | 928000 | 156000 | 84800 |
| 4 | 40 | 10 | 10000 | 689000 | 427000 | 215000 |
| 5 | 30 | 5 | 7500 | 304000 | 110000 | 75200 |
| 6 | 30 | 10 | 7500 | 514000 | 198000 | 90933 |
| 7 | 50 | 5 | 7500 | 161000 | 264000 | 123000 |
| 8 | 50 | 10 | 7500 | 425000 | 155000 | 98100 |
| 9 | 30 | 7.5 | 5000 | 329000 | 834000 | 76533 |
| 10 | 30 | 7.5 | 10000 | 495000 | 394000 | 311000 |
| 11 | 50 | 7.5 | 5000 | 796000 | 629000 | 328000 |
| 12 | 50 | 5 | 10000 | 230000 | 303000 | 154000 |
| 13 | 40 | 7.5 | 7500 | 560000 | 221000 | 110000 |
| 14 | 40 | 7.5 | 7500 | 554000 | 235000 | 99800 |
| 15 | 40 | 7.5 | 7500 | 565000 | 213000 | 132000 |

3.2 ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรด

เมื่อทำการวัดความหนืดและคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส (แสดงผลการทดลองตามตารางที่ 3) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความหนืดจะลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพลังงานความร้อน

ภายในโมเลกุลจะเพิ่มขึ้น เกิดระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากแรงกระทำระหว่างโมเลกุลลดลงส่งผลให้ความหนืดของของไหลลดลง ค่า consistency coefficient (K) และค่า flow behavior index (n) ที่ได้ก็ลดลงเช่นกัน⁽¹³⁾ จึงสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์สเปรดจะแสดงพฤติกรรมการไหลเป็นแบบซูโดพลาสติกที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากค่า flow behavior index(n) ที่ได้มีค่าลดลง

เมื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่า consistency coefficient (K) จากสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model) จะได้ค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) ระหว่าง 8268.44 - 52212.75 จูลต่อโมล พบว่าเมื่อปริมาณน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้นค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) ที่ได้จะมีค่าลดลง

3.3 ปริมาณน้ำอิสระ

เมื่อทำการวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) พบว่าทุกสภาวะการทดลองของผลิตภัณฑ์สเปรดมีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.565 - 0.591 โดยค่าปริมาณน้ำอิสระเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเก็บรักษาของอาหาร มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 จะช่วยป้องกันความเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดจากจุลินทรีย์ จำพวก ยีสต์ รา และแบคทีเรีย⁽¹⁴⁾ โดยปกติผลิตภัณฑ์สเปรดควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.87 Salmi⁽¹⁴⁾ การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของซ็อกโกแลตสเปรดไขมันต่ำโดยใช้น้ำมันปาล์มเป็นส่วนประกอบพบว่าได้ค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.76 - 0.79

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของ น้ำมันมะพร้าว (ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก) อิมัลซิฟายเออร์ (ไข่แลมเพ ร้อยละ 5, 7.5 และ 10) โดยน้ำหนัก และ

ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (5000, 7500 และ 10000 รอบต่อนาที) ต่อคุณสมบัติ ด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรด พบว่าผลิตภัณฑ์ มีพฤติกรรมการไหล แบบ non-Newtonian ประเภทซูโดพลาสติก ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress สอดคล้องกับสมการ power-law model ซึ่งค่า flow behavior index (n) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าว ปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ และความเร็วรอบการทำงานสูงขึ้น สำหรับค่า consistency coefficient (K) มีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันมะพร้าวและปริมาณอิมัลซิฟายเออร์เพิ่มขึ้นและได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับค่า consistency coefficient (K) โดยใช้สมการอาร์เรเนียส พบว่าพลังงานกระตุ้นจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.dtam.moph.go.th/alternative/viewstory.php?id=360>
- [2] <http://media.thaigov.go.th/>
- [3] Villarino, B.J., Ma, L.M., Lizada, C.C. (2007) "Descriptive sensory evaluation of virgin coconut oil and refined, bleached and deodorized coconut oil" LWT, 40, p.193-199.
- [4] German, J.B. and Dillard, C.J. (2004) "Saturated fats: what dietary intake" American Journal of Clinical Nutrition, 80, p.550-559.
- [5] Roos, N.M., Schouten, E.G. and Katan, M.B. (2001) "Consumption of a Solid Fat Rich in Lauric Acid Results in a More Favorable Serum Lipid Profile in Healthy Men and Woman than Consumption of a Solid Fat Rich in trans-Fatty Acids" The Journal of Nutrition, (131), p.242 – 245.
- [6] Bureau of product standards, (2004) "Philippine National Standard Virgin coconut oil" Department of Trade and Industry Philippines, PNS/BAFPS22:
- [7] Lewis, M.J. (1987) "Physical properties of foods and food processing systems" Chichester: Ellis Horwood,
- [8] Buffo, R.A., Reineccius, G.A. (2002) "Modeling the rheology of concentrated beverage emulsion" Food Engineering, 51, p.267 – 272.
- [9] Seyed M.A. Razavi, M.B., Habibi Najafi, and Alaei, Z. (2007) "The time independent rheological properties of low fat sesame paste/date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature" Food Hydrocolloids, 21, p. 198-202.
- [10] Swami, S.B., Das, S.K., Maiti, B. (2004) "Effect of water and air content on the rheological properties of black gram batter" Food Engineering, 65, p. 189-196
- [11] Brookfield DV-II- Programmable Viscometer Operating Instructions Manual No.M/97-164-DI1000 "More solutions to sticky problems" Brookfield Engineering Laboratories, Inc.
- [12] Bourne, M. (2002) "Food and Texture and Viscosity Concept and Measurement" Academic press
- [13] Arslan, E., Yener, M.E., Esin, A. (2005) "Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends" Food Engineering, 69, p. 167 – 172.
- [14] Salmi Yati Samsudin, "Low-Fat Chocolate Spread Based on Palm Oil" Palm Oil Developments, 45, p 27 – 30.

ประวัติผู้เขียน

นางสาว พรรณิภา ฤาโชคชัย เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ.2526 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จากภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549