

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ทุนอุดหนุนวิจัย 2553

การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดอิมัลชันของผลิตภัณฑ์สเปรด
จากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์บริสุทธิ์

Study on Emulsifying Parameters for Spread Product from Virgin Coconut Oil

โดย

มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

พรรณนิภา ฤาไชคชัย

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

TP

684

.C4

ม48471

เลขหมู่.....

114476

เลขทะเบียน.....

20 ส.ค. 2554

วันเดือนปี.....

เสนอต่อ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรกฎาคม 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. 122 911 54

บทคัดย่อ

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

คำสำคัญ : น้ำมันมะพร้าวอินทรีย์, ผลิตภัณฑ์สเปรด, อิมัลซิฟายเออร์, ไฮโดรไมซ์ในเซอร์, รีโอโลยี, ซูโดพลาสติก

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.

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
ปก	i
บทคัดย่อ	ii
ABSTRACT	iii
สารบัญ	iv
1. บทนำ	1
2. การสำรวจเอกสาร	3
2.1 ข้อมูลน้ำมันมะพร้าว	3
2.2 อิมัลชัน	5
2.2.1 ชนิดของอิมัลชัน	6
2.2.2 ส่วนประกอบของอิมัลชัน	7
2.2.3 การเกิดอิมัลชัน	8
2.3 คุณสมบัติด้านรีโอโลยี	8
2.3.1 ของไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา	9
2.3.2 ของไหลที่ขึ้นกับเวลา	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	16
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ	16
3.2 วิธีการทดลอง	16
3.3 การวางแผนการทดลอง	17
3.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สเปรด	19
3.4.1 การหาปริมาณน้ำอิสระ	19
3.4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีโอโลยี (Rheological properties)	19
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	21
4.1 ผลการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์	21
4.2 พฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์	22
4.3 คุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1	Flow behavior index (n)	23
4.3.2	Consistency coefficient (K)	27
4.3.3	ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรด	29
4.4	ปริมาณน้ำอิสระ	32
5.	สรุปผลการทดลอง	34
	เอกสารอ้างอิง	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil) เป็นน้ำมันมะพร้าวที่สกัดโดยไม่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านการเติมออกซิเจน น้ำมันที่ได้มีความบริสุทธิ์ สีใส และมีปริมาณวิตามินอีสูง^[1,2] วิตามินอีที่มีอยู่ในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ มีกรดลอริกซึ่งเป็นสารปฏิชีวนะ^[3,4] กรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว ส่วนใหญ่มีโมเลกุลขนาดกลาง สามารถถูกดูดซึมในร่างกายให้เป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว ช่วยลดการสะสมไขมันในร่างกาย จึงช่วยป้องกันปัญหาโรคอ้วน^[5] กอปรกับแนวโน้มปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสำคัญต่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องการบริโภคอาหารอาหารที่รับประทานต้องมีประโยชน์และมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน การเลือกรับประทานอาหารจึงมิได้มุ่งเน้นที่รสชาติความอร่อยและอิมท้องเท่านั้น หากแต่ยังพิจารณาถึงประโยชน์ที่จะนำไปสู่การมีสุขภาพที่ดีปราศจากโรคภัยไข้เจ็บด้วย

ช็อกโกแลตสเปรดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทหนึ่งที่ยิยมมากในแถบตะวันตก และมีแนวโน้มได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในเอเชีย ในการผลิตช็อกโกแลตสเปรดที่จำหน่ายในท้องตลาดจะมีส่วนประกอบสำคัญที่เป็นน้ำมันจากถั่วผสมอยู่ประมาณ 15-50 เปอร์เซ็นต์^[4] ทำให้ผู้ที่มีปัญหาสุขภาพหรือผู้ที่แพ้ถั่วไม่สามารถบริโภคผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้ การเลือกใช้น้ำมันจากมะพร้าวมาทดแทนน้ำมันจากถั่ว จึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคที่มีปัญหาสุขภาพ นอกจากนี้ส่วนผสมที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือน้ำตาล ปัจจุบันสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ(สสส) พยายามรณรงค์ให้ลดการบริโภคน้ำตาลลง เนื่องจากสถิติการบริโภคน้ำตาลในประชากรไทยเพิ่มทวีขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปัญหาสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับการบริโภค การดำเนินการแก้ปัญหาโดยการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้ส่วนผสมอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อผู้บริโภคจะได้มีทางเลือกผลิตภัณฑ์อาหารที่เหมาะสมกับสุขภาพของตนได้มากขึ้น

การผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดเป็นการผสมส่วนประกอบที่เป็นไขมันหรือน้ำมันกับส่วนที่เป็นน้ำหรือสารละลายของน้ำ ที่แยกกันให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นการทำให้เกิดสภาพ "อิมัลชัน" โดยทั่วไปส่วนที่เป็นไขมันน้ำมัน จะเป็นส่วน continuous phase และส่วนที่เป็นสารละลาย จะเป็นส่วน disperse phase ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เมื่อนำมาบริโภคจะมีลักษณะเป็นครีมข้น ไม่แยกชั้น สามารถนำมาทานอาหารอื่น เช่น ขนมปังได้ มีรายงานการศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีในผลิตภัณฑ์ประเภทสเปรดจากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น น้ำมันถั่ว น้ำมันงา น้ำมันปาล์ม องุ่น ลูกพุน พบว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ได้จะขึ้นกับคุณสมบัติทางรีโอโลยี โดยเฉพาะคุณสมบัติทางด้านความหนืดและพฤติกรรมไหลของผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญ รวมทั้งสามารถนำมาบ่งชี้ถึงการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคได้^[5,6,7] ในการทำให้เกิดสภาพอิมัลชันมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาทิ เช่น อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เป็นไขมัน/น้ำมันกับส่วนที่ละลาย ชนิดและปริมาณของสารช่วยลดแรงตึงผิว (อิมัลซิฟายเออร์) เทคนิคการทำอิมัลชัน อุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการทำอิมัลชัน เป็นต้น ความรู้ความเข้าใจถึงผลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องจะเป็นประโยชน์ในการควบคุมการผลิตให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์สเปรดตามต้องการ อย่างไรก็ตามข้อมูลการนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สเปรดนั้นยังมีได้มีการนำเสนอ ดังนั้นการศึกษาแนวทางการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์บริสุทธิ์ นอกจากจะเป็นการช่วยเพิ่มศักยภาพในการแปรรูปมะพร้าวซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศแล้ว ยังเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้รักสุขภาพหรือสำหรับผู้ที่มีปัญหาสุขภาพอีกนัยหนึ่ง

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษากรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยวิธีไฮโมจิไนเซชัน โดยศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยในการเกิดอิมัลชัน ประกอบด้วย ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์, ชนิดและปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ ความเร็วรอบในการไฮโมจิไนซ์ ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีและพฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสำรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลน้ำมันมะพร้าว [1, 8]

มะพร้าวถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญอย่างหนึ่งของไทย ผลผลิตมะพร้าวแต่ละปีมีมูลค่าไม่ต่ำกว่าปีละ 2,700 ล้านบาท ประชากรไทยบริโภคเนื้อมะพร้าวเฉลี่ยปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผล/คน/ปี ผลผลิตของมะพร้าวที่ถูกนำไปใช้แปรรูปในอุตสาหกรรมและส่งออก คิดเป็น 35% ของปริมาณผลผลิตรวมของมะพร้าวทั้งหมด (ประมาณ 1,000 ล้านผล/ปี) การแปรรูปมะพร้าวสามารถเป็น 2 ประเภท คือ 1. ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภค เช่น อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น อุตสาหกรรมมะพร้าวชุบแห้ง อุตสาหกรรมน้ำตาลมะพร้าว และ 2) ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการอุปโภค เช่น อุตสาหกรรมเส้นใยมะพร้าว อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ อุตสาหกรรมเผาถ่านจากกะลามะพร้าว อุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

น้ำมันมะพร้าว เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภคในรูปแบบหนึ่ง ซึ่งสามารถผลิตด้วยวิธีการสกัด (Refining, Bleaching, Deodorization: RBD) ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ ฟอกสี และกำจัดกลิ่น น้ำมันที่ได้มีสีเหลืองอ่อน ไม่มีกลิ่นรส ปราศจากวิตามินอี ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ไม่เกิน 0.1 นอกจากนี้ น้ำมันมะพร้าวยังสามารถผลิตด้วยวิธีอัดบีบ (Cold-Pressed) ซึ่งการผลิตแบบนี้จะไม่ผ่านความร้อน น้ำมันมะพร้าวที่ได้ จะมีสีใสเหมือนน้ำ ปริมาณวิตามินอีสูง และเนื่องจากไม่ผ่านขั้นตอนการเติมออกซิเจน (oxidation) จึงทำให้มีค่า peroxide และกรดไขมันอิสระต่ำ มีกลิ่น มะพร้าวอ่อนๆ มีความชื้นไม่เกิน 0.1 % เรียกน้ำมันมะพร้าวชนิดนี้ว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil)

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil)

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acids) อะตอมของธาตุดูดคาร์บอนของกรดไขมันที่อิ่มตัว จะต่อกันเป็นเส้น (chain) โดยมีพันธะเดี่ยว (single bond) จับกันเองเป็นเส้นยาวตามจำนวนของคาร์บอน แต่ละอะตอมของคาร์บอนจะมีไฮโดรเจนติดอยู่ 2 ตัว เนื่องจากแต่ละอะตอมของคาร์บอนไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีกเพราะไม่มีพันธะว่าง จึงเรียกน้ำมันที่มีกรดไขมันประเภทนี้ว่า "น้ำมันอิ่มตัว" กรดไขมันที่สำคัญได้แก่ กรดคาปริก (Capric acid – C10) กรดลอริก (Lauric acid – C12) และกรดไมริสติก (Myristic acid – C14) ทำให้โมเลกุลมีความยาวของเส้น (chain) ขนาดปานกลาง เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัวโดยที่พันธะ (bond) ที่จับกันระหว่างอะตอมของคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยว (single bond) ทำให้มีความเสถียรหรืออยู่ตัว (stability) สูงจึงไม่ถูกอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าไปแทรก ซึ่งเรียกว่า hydrogenation และ oxidation ได้ง่าย ๆ และ ไม่มีกลิ่นหืนเหมือนน้ำมันไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะพวกที่เป็นน้ำมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated oil) ซึ่งมีพันธะคู่หลายตำแหน่งเมื่อถูกความร้อนสูงจะทำให้เกิดเป็น trans fatty acids ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดทำให้เกิดผลร้ายต่อร่างกายมากมาย เช่น ทำลาย เยื่อหุ้มเซลล์ (membrane) อันเป็นผลทำให้เซลล์อ่อนแอจนเชื้อโรคและสารพิษเข้าไปได้สะดวก ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง เปลี่ยนแปลงกลไกของร่างกายในการขจัดคอเลสเตอรอลโดยการขัดขวางการเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในตับ จึงทำให้มีปริมาณคอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้นในกระแสโลหิต ลดปริมาณและคุณภาพของนม น้ำเหลืองของมารดา เพิ่มโอกาสเป็นโรคเบาหวาน ลดปริมาณของฮอโมนเทสโตสเตอโรล ในเพศชาย เป็นต้น

กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) มีเพียง 9 % แบ่งเป็น 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)

กรดลอริก (lauric acid)

น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันจากพืชที่มีกรดลอริกอยู่ในปริมาณที่สูงมาก ประมาณ 48 – 53 % และกรดลอริกนี้เอง ที่ทำให้น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติในการเสริมสร้างสุขภาพ กรดลอริกในน้ำมันมะพร้าวจะเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ที่มีชื่อว่า โมโนลอรีน (monolaurin) ซึ่งเป็นสารตัวเดียวกับที่อยู่ในน้ำมันมมารดา ที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกันให้กับทารกในระยะ 6 เดือนแรก ที่ร่างกายยังไม่สร้างระบบภูมิคุ้มกันโรค โมโนลอรีนเป็นสารปฏิชีวนะที่ทำลายเชื้อโรคบางชนิด น้ำมันมะพร้าวยังมีกรดคาปริก (Capric acid) ประมาณ 6-7 % ซึ่งช่วยเสริมประสิทธิภาพของกรดลอริก

วิตามินอี (vitamin E)

น้ำมันมะพร้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ RBD ยังคงมีวิตามินอีเหลืออยู่ จึงทำให้น้ำมันมะพร้าวได้รับความสนใจว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ วิตามินอีในน้ำมันมะพร้าว มีหน้าที่เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยการป้องกันเซลล์ไม่ให้ถูกเติมออกซิเจน และเป็นตัวต่อต้านอนุมูลอิสระ (free radicals) ซึ่งเกิดจากมลพิษในสิ่งแวดล้อม อาหารและเครื่องดื่ม การสูบบุหรี่ รังสี ความเครียด ฯลฯ โดยปกติร่างกายของมนุษย์มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระคอยทำลายอนุมูลอิสระอยู่แล้ว แต่เมื่อบริโภคเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันพืชประเภทไม่อิ่มตัวซึ่งถูกเติมออกซิเจน (oxidized) ได้ง่าย ๆ ตั้งแต่เริ่มสกัด ตลอดจนระหว่างการขนส่ง การวางจำหน่าย และการเก็บรักษาก่อนบริโภค จึงเกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ง่าย อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะไปปลบล้างประสิทธิภาพ (neutralize) ของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในร่างกาย ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เป็นผลเสียแก่เซลล์และเนื้อเยื่อ เนื่องจากอนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่เปลี่ยนสภาพโดยการสูญเสีย อิเล็กตรอน (electron) จึงไปจับกับโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงต่อไปเรื่อย ๆ เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เป็นผลทำให้เซลล์ผิดปกติไป เช่น เยื่อบุเซลล์ฉีกขาด เปลี่ยนสารพันธุกรรมใน นิวเคลียส เกิดการกลายพันธุ์ ทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับความเสื่อม (degenerative diseases) เช่น โรคหัวใจ มะเร็ง ไชข้ออักเสบ เบาหวาน โรคภูมิแพ้ ซราสภาพก่อนวัย เป็นต้น

สารโทโคโทริโนล (Tocotrienol) วิตามินอีในน้ำมันมะพร้าว มีสารโทโคโทริโนล ซึ่งเป็นรูปของวิตามินอีที่มีคุณภาพสูงกว่าสารโทโคเฟอรอล (Tocopherol) ซึ่งอยู่ในวิตามินอีทั่วไป โดยเฉพาะที่มีอยู่ในเครื่องสำอางรักษาผิวถึง 40-60 เท่า ด้วยเหตุนี้ น้ำมันมะพร้าวจึงต่อต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กรดคาปริกและโมโนคาปรีน แม้ว่าจะมีปริมาณเพียง 6-7 % แต่กรดคาปริก (Capric acid) ก็ช่วยเสริมประสิทธิภาพของโมโนลอรีน โดยการเปลี่ยนเป็นสารโมโนคาปรีน (Monocaprin) เมื่อน้ำมันมะพร้าวถูกบริโภคเข้าไปในร่างกายซึ่งมีฤทธิ์เช่นเดียวกับกับโมโนลอรีน ทั้งนี้ก็เพราะประสิทธิภาพของการทำงานของโมโน ลอรีน และโมโนคาปรีนขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีอยู่

2.2 อิมัลชัน [9]

อิมัลชัน (Emulsion) หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งไม่เข้ากันหรือไม่ละลายในกันและกัน เช่น น้ำและน้ำมัน ถ้าต้องนำมาไว้ด้วยกันในลักษณะที่ผสมผสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกันก็ต้องใช้ตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier) เป็นตัวผสมทั้งสองเข้าด้วยกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันแต่ถ้ามองด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็จะเห็นเป็น 2 วัฏภาค คือ เห็นเป็นหยดเล็กๆ ของของเหลวชนิดหนึ่งที่เรียกว่าวัฏภาคภายใน (internal or dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า วัฏภาคภายนอก (External or continuous phase) โดยทั่วไปหยดของวัฏภาคภายในอาจมีขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ขนาดที่เล็กกว่า 0.05 ไมครอน จนถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคของวัฏภาคภายในมีผลต่อการกระจายแสงได้ต่างกัน จึงทำให้อิมัลชันมีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกันโดยขนาดหยดอนุภาคของวัฏภาคภายในอิมัลชันที่สามารถมองเห็นได้ถ้ามีขนาด เล็กกว่า 0.050 ไมครอน จะมีลักษณะโปร่งใส (Transparent) 0.05 – 0.10 ไมครอน จะมีลักษณะขุ่นหรือโปร่งใส (Translucent) 0.10–1.00 ไมครอน จะมีลักษณะสีขาวอมฟ้า ใหญ่กว่า 1.00 ไมครอน จะมีลักษณะขุ่นขาวทึบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ชนิดของอิมัลชัน

2.2.1.1. การจำแนกชนิดของผลิตภัณฑ์อิมัลชันตามลักษณะปรากฏ

ผลิตภัณฑ์อิมัลชันที่พบโดยทั่วไปมักมีลักษณะขาวขุ่นคล้ายน้ำนม แต่ความจริงแล้วอิมัลชันอาจมีลักษณะโปร่งใสก็ได้ การแบ่งชนิดของอิมัลชันตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

- **แมคโครอิมัลชัน (Macroemulsion)** คือ อิมัลชันลักษณะขุ่นขาวที่พบโดยทั่วไปนั่นเอง อนุภาคของวัฏภาคภายในของอิมัลชันชนิดนี้มักมีขนาดตั้งแต่ 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 ครีมกันแดดโลชั่นทาผิว เป็นต้น
- **ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)** มีลักษณะโปร่งใส เนื่องจากอนุภาคของวัฏภาคภายในเล็กมาก (ประมาณ 10 – 75 นาโนเมตร) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) จึงไม่หักเหหรือกระจายแสง แสงจึงสามารถทะลุผ่านได้ ทำให้ดูโปร่งใส หยดของวัฏภาคภายในมีลักษณะกลมถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มของตัวทำอิมัลชัน มีทั้ง ชนิด O/W และ W/O

2.2.1.2. การจำแนกชนิดตามของของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและวัฏภาคภายนอก แบ่งออกเป็น 3 ชนิด

- **อิมัลชันชนิด น้ำในน้ำมัน (W/O Emulsion)** อิมัลชันชนิดนี้มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำ วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำมันพบอิมัลชันชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมล้างหน้า (Cleansing cream) ครีมทากลางคืน (Night cream) ครีมนวดหน้า (Massage cream) และครีมฮอร์โมน (Hormone cream) เป็นต้น เนื่องจากอิมัลชันชนิดนี้ค่อนข้างเหนอะหนะและล้างน้ำออกยาก จึงเป็นที่นิยมใช้น้อย
- **อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W Emulsion)** อิมัลชันชนิดนี้กลับกันกลับชนิดแรก คือ มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำ จึงมีความเหนอะหนะน้อย ทาแล้วกระจาย ดี ล้างน้ำออกง่าย เป็นที่นิยมมากในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมแลโลชั่นทาผิว (Body cream and lotion) ครีมทาหน้า (Vanishing cream) ครีมกันแดด (Sun screen cream) ครีมรองพื้น (Foundation cream) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple Emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีวัฏภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น W/O/W หรือ O/W/O อิมัลชันเชิงซ้อนเหล่านี้สามารถกลับกลายเป็นอิมัลชันชนิดธรรมดาได้ เช่น W/O/W ซึ่งมีน้ำเป็นวัฏภาคภายนอก แต่วัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน จะมีหยดเล็กๆ ของหยดน้ำซ้อนอยู่อีกที เมื่อกลับกลายเป็นอิมัลชันธรรมดาจะกลายเป็นชนิด O/W พบอิมัลชันชนิดนี้บ้างในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเช่น Cold cream ซึ่งเป็นชนิด O/W/O เป็นต้น

2.2.2 ส่วนประกอบของอิมัลชัน

ผลิตภัณฑ์รูปแบบอิมัลชัน มีส่วนประกอบหลักสำคัญ 3 ส่วน คือ

2.2.2.1. วัฏภาคน้ำ (Water phase) ได้แก่ น้ำและสารต่างๆ ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ละลายได้ในน้ำ อาจเป็นสารเพิ่มความหนืด เช่น Acacia, Veegum, Methylcellulose, Carbopol สารอิมัลชัน เช่น Glycerin, propylene glycol หรือ glycol ทั้งหลาย สารกันเสีย เช่น Metthylparaben, Sodium benzoate สารลดแรงตึงผิวเช่น Tween, Sodium lauryl sulfate สีที่ละลายน้ำ สารต้านออกซิเดชัน เช่น Sodium metabisulfite นอกจากนี้ยังเป็นสารออกฤทธิ์อื่นที่ละลายน้ำได้ เช่น Cetyl pyridinium chloride, Benzalkonium chloride เป็นต้น สารต่างๆ เหล่านี้อาจเติมลงใน วัฏภาคน้ำได้ทั้งสิ้น แล้วแต่ส่วนประกอบของสูตรในผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

2.2.2.2. 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 สีที่ละลายในน้ำมัน น้ำหอมต่างๆ สารกันหืน เช่น BHT, BHA สารลดแรงตึงผิว เช่น Span, Emulgin C 1000 หรือสารออกฤทธิ์ต่างๆ เช่นฮอร์โมน วิตามิน เป็นต้น แล้วแต่ส่วนประกอบในสูตรของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทเช่นกัน

2.2.2.3. สารอิมัลชัน (Emulsifier) ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวเช่น Tween, Span, Sodium lauryl sulfate คอลลอยด์ที่ชอบน้ำ เช่น Acacia, Gelatin ของแข็งอนุภาคละเอียด เช่น Bentonite, Colloidal magnesium aluminium silicate เป็นต้น ตัวทำอิมัลชันเป็นตัวสำคัญในการผสมผสานให้วัฏภาค น้ำและน้ำมันเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้

จากส่วนประกอบของอิมัลชัน พบว่า การผลิตอิมัลชันให้ได้ดีคือมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน สดงามน่าใช้ เนื้อเนียนเรียบ มีความคงตัวโดยไม่แยกชั้น มีความหนืดอย่างที่ต้องการนั้น เป็นสิ่งที่ยุ่งยากพอสมควร ต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญอย่างน้อย 2 ประการ คือ ความรู้ความเข้าใจในพื้นฐานเกี่ยวกับกลไกการเกิดอิมัลชัน ตัวทำอิมัลชันและคุณสมบัติต่างๆ ของอิมัลชัน และความรู้เกี่ยวกับเทคนิคในการผลิตอิมัลชันที่ถูกต้อง เครื่องมือที่ใช้ในการผลิต การผสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สม่ำเสมอและคงตัวดี ตลอดจนการวิจัยและพัฒนาสูตรตำรับเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของตลาด

2.2.3 การเกิดอิมัลชัน [9]

ปกติของเหลวสองชนิดซึ่งไม่เข้ากันเมื่อถูกนำมารวมจะแยกกันอยู่เป็น 2 ชั้น เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างผิวขึ้น แต่เมื่อมีการเขย่าซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง จะทำให้ของเหลวนั้นกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันได้ และมีลักษณะของอิมัลชันเกิดขึ้น แต่เป็นเพียงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นชั่วคราว ซึ่งหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์อธิบายได้ว่า การเขย่าเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Surface free energy) ของเหลวจึงเข้ากันได้ชั่วคราว สถานะนี้ถือว่าไม่คงสภาพ เพราะเมื่อหยุดเขย่าหรือหยุดกวน ของเหลวเหล่านั้นก็จะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดังเดิม เนื่องจากมีการปรับสถานะให้เข้าจุดคงสภาพโดยลดพื้นที่ผิวการสัมผัสระหว่างกันน้อยที่สุด 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

2.3 คุณสมบัติด้านรีโอโลยี [10]

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

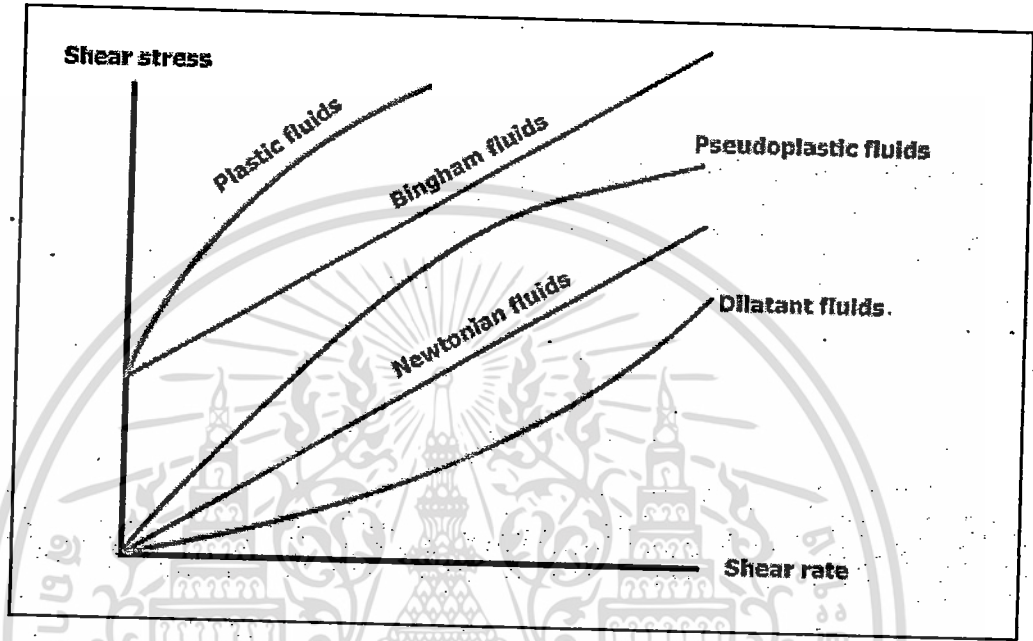
ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดเป็นสมบัติของของไหลที่ต้านทานการเคลื่อนที่ของชั้นของไหล การแบ่งประเภทลักษณะพฤติกรรมของไหล แสดงในรูปกราฟระหว่างค่า Shear stress กับ Shear rate (ดังรูปที่ 2.1) เราสามารถจำแนกลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นออกเป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ ๆ คือ 1) Newtonian Fluid เช่น น้ำ, น้ำมันเจือจาง เป็นต้น ค่าความหนืดที่ได้จะมีค่าคงที่อย่างมีนัยสำคัญ จากสมการ power law model

$\tau = K\dot{\gamma}^n$ ค่า n ของไหลนิวโตเนียนจะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ และ 2) Non-Newtonian Fluid เช่น อาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นทั่วไป เช่น ซอสมะเขือเทศ มัสตาร์ด มายองเนส ซึ่งในอาหารต่างๆไปจะพบว่ามีลักษณะการไหลเป็นแบบนอน-นิวโตเนียนเป็นส่วนใหญ่ การที่เกิดลักษณะการไหลประเภทนี้เป็นเพราะภายในของไหลมีขนาดของอนุภาคที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆ ซึ่งทำให้ในระหว่างช่วงการไหลเกิดลักษณะไม่ราบรื่น ในการไหลแบบนอน-นิวโตเนียนมีปัจจัยหลายๆอย่างที่มีผลต่อ Shear rate



รูปที่ 2.1 ลักษณะของพฤติกรรมกรไหล

ของไหลนอน-นิวโตเนียนสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ดังนี้

2.3.1 ของไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent non-newtonian fluids)

ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้ขึ้นกับ Shear stress กับ Shear rate แต่จะไม่ขึ้นกับระยะเวลาที่ของไหลได้รับความเค้นเฉือน (Shear stress) นั่นคือความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress และ Shear rate จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา ตัวอย่างของไหลนอนนิวโตเนียนประเภทนี้ได้แก่

ของไหลซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluids) หรือ Shear-thinning fluid ได้แก่ นม, fruit puree, มายองเนส, มัสตาด และ ชุปผัก

ของไหลไดลาแทนต์ (Dilatant fluids) หรือ Shear-thickening fluid เช่น candy compound, น้ำแป้งข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไหลพลาสติก (Plastic fluids) และของไหลบิงแฮม (Bingham fluid) ของไหลประเภทนี้ที่ค่าแรงเฉือนมีค่าต่ำๆจะไม่มี การเคลื่อนที่แต่อย่างใด จนกระทั่งค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกจุดที่แรงเฉือนมีผลทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่นี้ว่า Yield stress ในของไหลบิงแฮม (Bingham fluids) เมื่อออกแรงเฉือนจนถึงจุด Yield stress หลังจากนั้นของไหลจะพฤติกรรมเหมือนของไหลนิวโตเนียน ของไหลที่มีพฤติกรรมแบบนี้ได้แก่ ซอสมะเขือเทศ (Tomato ketchup) ส่วนของไหลพลาสติกนั้นเมื่อออกแรงจนถึงจุด Yield stress ของไหลก็จะมีพฤติกรรมการไหลคล้ายกับของไหล Pseudoplastic

2.3.2 ของไหลที่ขึ้นกับเวลา (Time dependent non-newtonian fluids)

ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับค่า Shear stress และ Shear rate แล้ว ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ของไหลได้รับแรงเฉือนเฉือนได้รับ ตัวอย่างของไหลประเภทนี้ได้แก่

ของไหลไรโซโทรอปิก (Thixotropic fluids) ของไหลประเภทนี้ค่าความหนืดจะลดลงตามระยะเวลา เมื่อของไหลได้รับแรงเฉือนในอัตราคงที่ ลักษณะการไหลประเภทนี้พบได้น้อย แต่ก็มีพบบ้างในวัสดุประเภท grease, สีทาบ้าน และน้ำหมึกสำหรับเครื่องพิมพ์ขนาดใหญ่

ของไหลรีโอเพคซิก (Rheopeccic fluids) ของไหลประเภทนี้ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา เมื่อของไหลได้รับแรงเฉือนในอัตราคงที่ ลักษณะการไหลแบบรีโอเพคซิกนี้ค่อนข้างจะพบได้ยาก

เครื่องมือสำหรับวัดคุณสมบัติความหนืดเรียกโดยทั่วไปว่า Rheometer หรือ Viscometer ซึ่งมีหลายแบบ แต่โดยทั่วไปสามารถ แสดงค่า μ_{app} และ γ ได้ ที่นิยมคือ Brookfield® viscometer สำหรับ 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} แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงของ rotational speed ทำให้ μ_{app} เปลี่ยนแปลง ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ในรูปเอกซ์โปเนนเชียล ถือว่าอาหารนั้นมีคุณสมบัติเป็น Non-newtonian fluid การสรุปความข้นหนืดของอาหารในรูป μ_{app} ต้องกำกับ γ ด้วยเสมอ อย่างไรก็ตามเพื่อความ เป็นสากล การรายงานความหนืดของอาหาร Non-newtonian นิยมรายงานในค่าทั่วไปของความหนืดซึ่งได้แก่ Consistency index, K (Pa.sⁿ) และ Flow behavior, n (ไม่มีหน่วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2.1)$$

$$\log \tau = \log K + n \log \dot{\gamma} \quad (2.2)$$

ถ้าอาหารมีคุณสมบัติเป็น 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

ตารางที่ 2.1 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	$1 < n < \infty$	0	40% corn starch solution
บิงแฮม พลาสติก	> 0	1	> 0	ยาสีฟัน, ซอสมะเขือเทศ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันคุณสมบัติด้านรีโอโลยีได้มีการศึกษาและวิจัยอย่างต่อเนื่องในหลากหลายกลุ่มผลิตภัณฑ์ เช่นในทางวิศวกรรมจะใช้เพื่อออกแบบการกระบวนการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการไหลของอาหาร เมื่อมีการไหลในท่อ เมื่อทำการกวน [11] เมื่อทำการบรรจุ คุณสมบัติด้านรีโอโลยีเป็นประโยชน์ให้พื้นฐานความเข้าใจ เกี่ยวกับโครงสร้าง และแรงระหว่างส่วนประกอบภายในของอนุภาค เช่นการวัดความหนืด และวัด shear rate สามารถใช้เป็นข้อมูลเกี่ยวกับ strength ของแรงระหว่างอนุภาคของคอลลอยด์ สำหรับในด้านอาหารความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของอิมัลชันมีความสำคัญต่อวิทยาศาสตร์อาหาร เช่น การรับรู้ทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ซึ่งมีความเกี่ยวข้องโดยตรง เช่น การเกิดคริม ความหนา ความราบเรียบ การกระจายตัว การเทออก และการไหล อายุของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหาร ข้อมูลเกี่ยวกับรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นอาหารจำพวกอิมัลชันมีส่วนประกอบและโครงสร้างที่ซับซ้อน ซึ่งจะปรากฏความแตกต่างทางรีโอโลยีที่แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีผลต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีจึงเป็นสิ่งสำคัญ

Arslan และคณะ [12] 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

$$\gamma(s^{-1}) = 2\Omega(\text{rad/s}) \left(\frac{\alpha^2}{\alpha^2 - 1} \right) = 1.2236\Omega(\text{rpm}) \quad (2.3)$$

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 ทุกความเข้มข้นและทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง apparent viscosity และ shear rate เป็นแบบ non-Newtonian ซึ่งค่า apparent viscosity ของของผสมลดลงเมื่อเพิ่ม shear rate เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดลดลง ค่า consistency coefficient (K) มีนัยสำคัญกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพบว่า ค่าของ n และ K จะลดลง ยกเว้น n ที่ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่ร้อยละ 32 อุณหภูมิมีผลกับค่า K โดยอธิบายจากสมการอาร์เรเนียส

$$K = k_0 e^{(E_a/RT)} \quad (2.4)$$

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 [13] ทำการศึกษาผลของปริมาณสารที่ใช้แทนที่ไขมัน (guar gum, xanthan และ starch) และผลของอุณหภูมิ (25, 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส) ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของผสมไขมันงาและน้ำลูกพรุน โดยใช้ Brookfield rotational จากการศึกษาพบว่าค่า flow เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

behavior index (n) และ consistency coefficient (K) ที่ได้จากความสัมพันธ์ shear stress และ shear rate สอดคล้องกับสมการ power-law model และพบว่าทุกค่าของอุณหภูมิและความเข้มข้นของของผสมมีพฤติกรรมแบบ non-Newtonian ค่า n ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงการเป็นของไหลแบบ ชูโดพลาสติกค่า 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 และสารเริ่มต้นที่ไม่มีการใช้สารแทนที่ไขมัน ยิ่งค่า n มีค่าน้อยพฤติกรรมการไหลของของไหลยิ่งเบี่ยงเบนไปจากคุณสมบัติ Newtonian มากขึ้น เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของผสมพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า K และ ค่า apparent viscosity ลดลง อุณหภูมิมีผลต่อค่าความหนืดของของผสมซึ่งอธิบายโดยสมการอาร์เรเนียส กำหนดให้ค่า K เป็น ฟังก์ชันของอุณหภูมิ พบว่าค่า E_a ของของผสมที่มีการใช้สารแทนที่ไขมันจะมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับของผสมเริ่มต้นที่ไม่มีการใช้สารแทนที่ของไขมัน และเมื่อปริมาณการใช้สารแทนที่ไขมันเพิ่มขึ้นค่า E_a จะยิ่งลดลงยกเว้นกรณีของ xanthan

Salmi [14] ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของซ็อกโกแลตสเปรดไขมันต่ำ วัสดุที่ใช้ในการผลิตซ็อกโกแลตสเปรดไขมันต่ำประกอบด้วย น้ำตาล, ผงโกโก้, นมผง, ไขมัน, น้ำ, เลซิติน และ สารคงตัว โดยไขมันและน้ำมันที่เลือกใช้เป็นไขมันจากปาล์มน้ำมันและทำ การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองกับผลิตภัณฑ์ที่วางขายในตลาดเช่น Nutella ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเข้ามาจากเบลเยียม ในการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ความสามารถในการกระจายตัวของสเปรดด้วยเครื่องวัด 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 นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระสูง บอกให้รู้ว่าผลิตภัณฑ์มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะอ่อนนุ่มและเหนียว ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระ ระหว่าง $0.76 - 0.79$ สามารถต้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้นานกว่า 6 เดือนซึ่งต้องเติมสารกันบูด (potassium sorbate) และทำการพลาสเจอไรเซชันอย่างพอเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Martinez และคณะ [15] ทำการศึกษาผลของปริมาณเกลือและองค์ประกอบของสาร อิมัลซิฟายเออร์ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของน้ำสลัด โดยใช้ส่วนผสมสองชนิดระหว่างไข่แดง กับความเป็นขั้วของโมเลกุล amphiphilic ชนิดต่างๆ (tween 20, sucrose laurate, และ pea protein) ในหลายอัตราส่วน ซึ่งใช้เพื่อให้สารอิมัลชันมีความเสถียร โดยปริมาณของเกลือที่ใช้มีตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 2.3 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบคุณสมบัติด้านรีโอโลยีด้วยเครื่อง controlled – stress rheometer RS 100 และใช้ Plate- plate geometry เพื่อป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ wall – slip ในการวัดอัตราการไหล และทำการทดลองคุณสมบัติด้านรีโอโลยีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าค่าความคงตัวของอิมัลชันจะเสื่อมลงจากปรากฏการณ์การเกิดครีม ซึ่งพิจารณาจากการแยกชั้นผิวน้ำที่ก้นของขวดเก็บน้ำสลัด ชนิดของสารอิมัลซิฟายเออร์ที่ใช้ และการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ ทั้งสามปัจจัยส่งผลอย่างชัดเจนต่อการเพิ่มความเสถียรของอิมัลชัน โดยเฉพาะอิมัลชันที่มีความเข้มข้นของไข่แดงน้อยซึ่งความคงตัวของครีมนั้น จะเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเกลือ ในทางตรงกันข้ามค่าความคงตัวจะน้อยลงเมื่ออิมัลชันมีปริมาณเกลือเพียงเล็กน้อย เช่นที่ 0.4 % ยกเว้นในกรณีที่อิมัลชันมีปริมาณของไข่แดงสูง จึงสรุปได้ว่าปริมาณเกลือที่เป็นองค์ประกอบและส่วนผสมของอิมัลซิฟายเออร์มีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีและความคงตัวของอิมัลชัน ซึ่งโดยทั่วไปนั้นคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของไหลจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเกลือ และปริมาณเกลือยังมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันในไข่แดงหรือ ในโปรตีนตัว หรือในส่วนผสมของ อิมัลซิฟายเออร์มากกว่าความคงตัวจาก non ionic low molecular weight surfactant ซึ่งมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ ionic strength การเพิ่มขึ้นของความหนืดและ linear viscoelastic function ของอิมัลชันนั้นจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อมีโปรตีนผสมในอิมัลซิฟายเออร์เพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้จากการเพิ่มแรงกระทำระหว่างโมเลกุลส่งผลให้เกิดการเพิ่มความหนืดของตัวกลางระหว่างเฟส การเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดและ linear viscoelastic function ของอิมัลชันนั้นถูกเหนี่ยวนำโดยการเติมเกลือซึ่งมีผลต่อการจัดลำดับของชั้น flocculated (ชั้นจับเป็นอนุภาค) และการเพิ่มขึ้นของความคงตัวของครีม

Thitima และคณะ [16] 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 องศาเซลเซียสโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิในการควบคุมอุณหภูมิ จากผลการทดลองพบว่ากะทิที่มีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ระหว่างร้อยละ 15 – 30 ที่ preheat temperature ระหว่าง 70 – 90 องศาเซลเซียส คุณสมบัติด้านรีโอโลยี ที่ได้จากแต่ละผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเป็นพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ประเภทซูโดพลาสติก พบว่า apparent เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

viscosity ลดลงเมื่อเพิ่ม shear rate ซึ่งเป็นผลมาจากแรงกระทำระหว่างอนุภาคมีการเปลี่ยนรูปและลดขนาดลง ส่งผลให้ความหนืดลดลง ที่ shear rate สูงขึ้นค่าความหนืดจะเข้าสู่สภาวะคงที่ เนื่องจากแรงรบกวนและอนุภาคถูกกระทำสมบูรณ์แล้วทำให้เหลือเฉพาะขนาดอนุภาคเล็กๆอยู่ในระบบ จากการทดลอง พบว่าที่ preheat temperature คงที่เมื่อเพิ่มปริมาณองค์ประกอบไขมัน ส่งผลให้คุณสมบัติด้านรีโอโลยีจะยิ่งแสดงเด่นชัดขึ้นโดยแสดงให้เห็นว่าค่า n ลดลง เมื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลง preheat temperature และปริมาณองค์ประกอบไขมันคงที่ พบว่าที่อุณหภูมิ preheat temperature เพิ่มขึ้นค่า K จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยค่า K สูงสุด และค่า apparent viscosity สูงสุดจะพบที่กะทิที่มีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 30 และ preheating ที่ 90 องศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัตถุดิบ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การศึกษากาการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ผลิต แสดงในตารางที่ 3.1

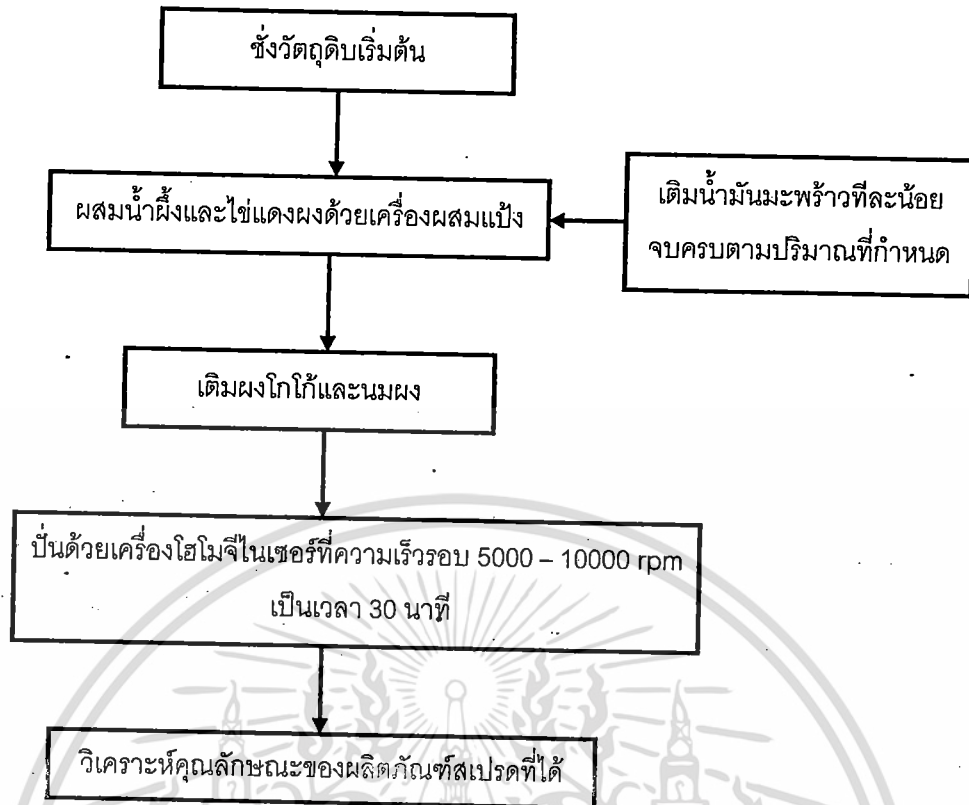
ตารางที่ 3.1 แสดงวัตถุดิบและปริมาณที่ใช้ในการทดลอง

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

นอกจากนั้นได้เติมอิมัลซิไฟเออร์(ไข่แดงผง) ในอัตราร้อยละ 5, 7.5 และ 10 ของน้ำหนักส่วนประกอบทั้งหมดที่แสดงในตารางข้างต้น

3.2 วิธีการทดลอง

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



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

3.3 การวางแผนการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรในการผลิต ได้แก่ ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์(ไขแดงผงด) ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และความเร็วรอบของเครื่องโฮมจี ในเซอร์ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโรยีของช็อกโกแลตสเปค วางแผนการทดลองแบบ Box Behnken ซึ่งประกอบด้วย 15 สภาวะการทดลอง แสดงในตาราง 3.2 และ 3.3 ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Multiple Linear Regression Analysis รูปแบบความสัมพันธ์ที่ใช้เป็นแบบโพลีโนเมียลกำลังสองคือ

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

เมื่อ y_i คือ ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ flow behavior index (n), consistency coefficient (K)

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

$\beta_{i,j}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร (Coefficient) , i,j คือ 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ	ระดับของตัวแปร
ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าว (X_1)	30 (% w/w)
	40 (% w/w)
	50 (% w/w)
ความเร็วรอบเครื่องไฮโมจีไนเซอร์ (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	ความเข้มข้นน้ำมันมะพร้าว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความเร็วรอบเครื่องไฮโมจีไนเซอร์ (รอบต่อนาที)	ความเข้มข้นไข่แดง (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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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[17]

$$a_w = \frac{P}{P_o} = \frac{EHH}{100} \quad (3.2)$$

3.4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติด้านรีโอโลยี (Rheological properties)

ทำการวัดคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ด้วย เครื่อง Brookfield DV II + Programmable Viscometer โดยใช้หัววัดความหนืดขนาด No. 7 ใช้ค่าความเร็วรอบระหว่าง 3-15 รอบต่อนาที และนำมาค่าที่ได้มาคำนวณหาคุณสมบัติความหนืดตามความสัมพันธ์ ดังนี้ [18].

Shear rate (Sec^{-1}):

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

Shear stress (dynes/cm^2):

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

Viscosity (poise):

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

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

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

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

R_b คือ รัศมีของหัววัด (radius of spindle, cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 [19]

$$\tau = K\gamma^n \quad (3.7)$$

เมื่อ τ คือ shear stress (Pa)

γ คือ shear rate (sec^{-1})

K คือ consistency coefficient (Pa s^n)

n คือ flow behavior index

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อ consistency coefficient อาศัยสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model)

$$K = k_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3.8)$$

เมื่อ k_0 คือ ค่าคงที่

E_a คือ พลังงานกระตุ้น (activation energy, J/mol)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (J/mol K)

T คือ อุณหภูมิ (K)

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรตจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

การผลิตผลิตภัณฑ์สเปรตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ใช้วิธีการผลิต 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 ใช้เครื่องปั่นแบบความเร็วรอบต่ำ ด้วยเครื่องผสมแป้งรุ่น Philips mixer HR 1456 ปั่นส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันเป็นเวลา 40 นาที

วิธีที่ 2 ใช้เครื่องปั่นแบบความเร็วรอบสูงด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์รุ่น Amfield Siverson L4R ที่ความเร็วรอบ 5000 7500 และ 10000 รอบต่อนาที ปั่นส่วนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

วิธีที่ 3 ใช้การปั่นผสมที่ความเร็วรอบต่ำด้วยเครื่องผสมแป้งรุ่น Philips mixer HR 1456 เป็นเวลา 30 นาที และปั่นซ้ำที่ความเร็วรอบสูงด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์รุ่น Amfield Siverson L4R อีก 30 นาที

เก็บผลิตภัณฑ์สเปรตที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วันก่อนนำมาวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรต

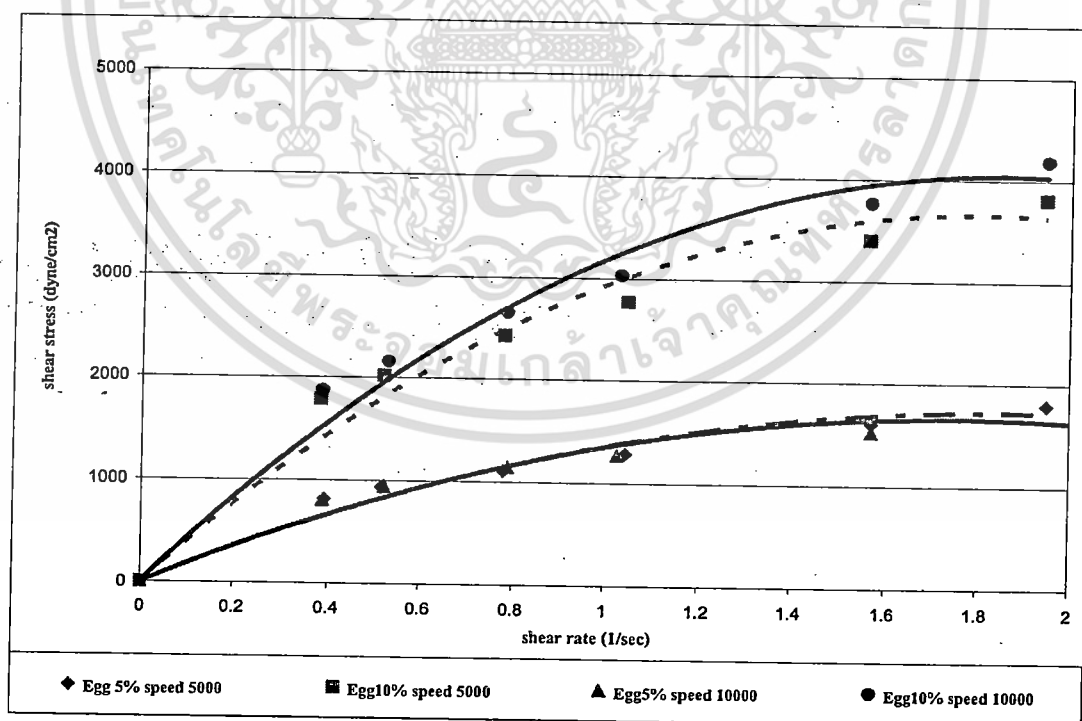
วิธีการผลิต	วิธีการทดลอง	ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์สเปรต
1	ปั่นผสมแบบความเร็วรอบต่ำด้วยเครื่องผสม แป้งรุ่น Philips mixer HR 1456 เป็นเวลา 40 นาที	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีการแยกชั้นของอิมัลชัน เนื้อสัมผัสไม่ละเอียด
2	ปั่นผสมแบบความเร็วรอบสูงด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์รุ่น Amfield Siverson L4R เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดการแยกชั้นของอิมัลชัน มีเนื้อสัมผัสละเอียด
3	ปั่นผสมแบบความเร็วรอบต่ำด้วยเครื่องผสม แป้งรุ่น Philips mixer HR 1456 เป็นเวลา 30 นาทีและปั่นซ้ำที่ความเร็วรอบสูงด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์รุ่น Amfield Siverson L4R อีกเป็นเวลา 30 นาที	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีการแยกชั้นของอิมัลชัน มีเนื้อสัมผัสละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 พฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

เมื่อทำการศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืดและพฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์สเปรด น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ 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 [10]

เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์สเปรดที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่ 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 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์สเปรด เป็น 45 และ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความหนืดที่ได้มีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เนื่องจากการเพิ่มของอุณหภูมิเป็นผลให้โมเลกุลของวัตถุดิบได้รับพลังงานความร้อน ระยะห่างระหว่างโมเลกุลลดลง แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลลดลงทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงด้วย [12] ซึ่งอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าความหนืดโดยตรง [19]



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส

No.	virgin coconut oil (%w/w)	egg yolk powder (%w/w)	speed (rpm)	Viscosity (cp)		
				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 $\tau = Ky^n$ 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 ที่ได้ให้ผลสอดคล้องกับคุณสมบัติ รีโอโลยีแบบซูดพลาสติกที่กำหนดไว้ว่า ค่า n มีค่าอยู่ระหว่าง $0 < n < 1$ เป็นพฤติกรรมการไหลแบบซูดพลาสติก [10] เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าว ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์ และความเร็วรอบของการผสม เป็นผลให้ค่า n เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Seyed และคณะ [9].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษาค่าของอิมัลซิไฟเออร์หลายชนิด (guar gum, xanthan และ starch) และผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของผสมระหว่างไขมันงาและน้ำเชื่อม และได้ใช้ ความสัมพันธ์ของ power-law model พบว่าพฤติกรรมการไหลของของผสมในทุกสภาวะการทดลองเป็นแบบซูโดพลาสติก มีค่า n ระหว่าง 0.35-0.51

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าของ n , K ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

No.	virgin coconut oil (%w/w)	speed (rpm)	egg yolk powder (%w/w)	n	K (Pa.s)
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

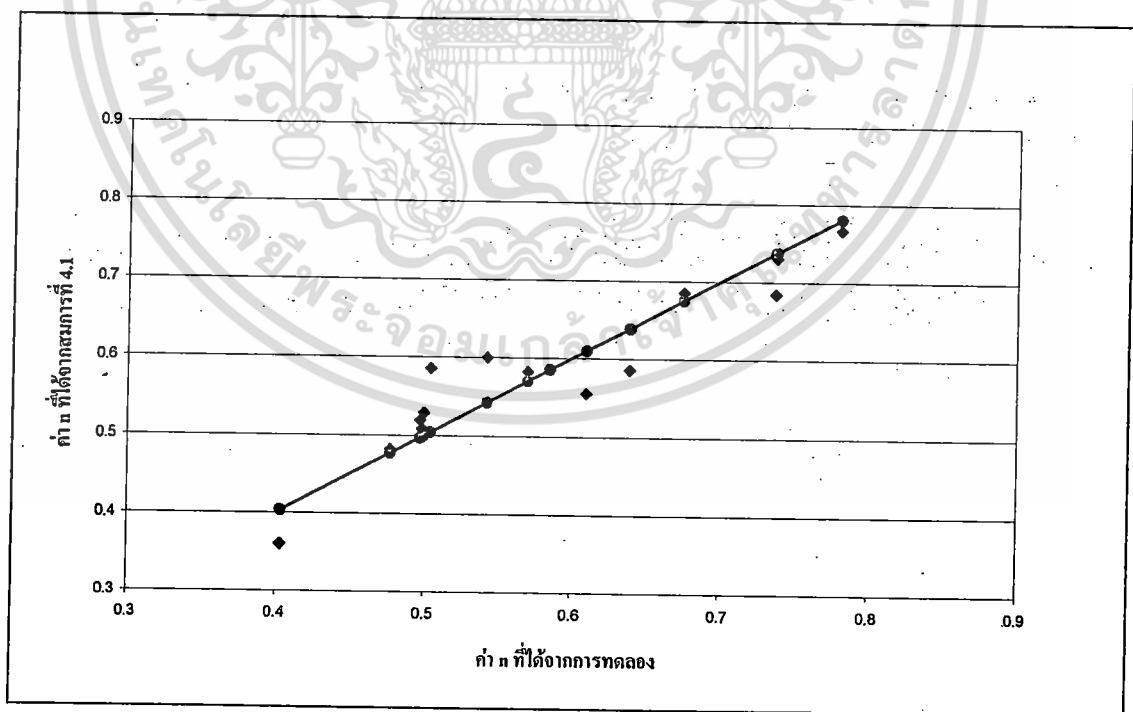
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Regression Analysis รูปแบบความสัมพันธ์ที่ใช้เป็นแบบโพลิโนเมียลกำลังสอง ความสัมพันธ์ที่ได้เป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 n &= -0.6380 + 0.0705x_1 + 0.0001x_2 - 0.2346x_3 \\
 &\quad - 0.0009x_1^2 - 2.87 \times 10^{-9}x_2^2 + 0.0157x_3^2 \\
 &\quad - 5.9185 \times 10^{-7}x_1x_2 + 0.0011x_1x_3 - 2.9802 \times 10^{-6}x_2x_3 \\
 R^2 &= 0.8698, \text{ SE.} = 0.0669, p < 0.1
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

เมื่อ n คือค่า flow behavior index (n) x_1 , x_2 และ x_3 คือ ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์, ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องไฮโมจีในเซอร์ และความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์(ไข่แดง) ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องไฮโมจีในเซอร์ครั้งที่ 5,000 7,500 และ 10,000 รอบต่อนาที รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวและความเข้มข้นของไข่แดง ต่อค่า n ที่ความเร็วรอบการผสมที่ระดับ 5000 7500 และ 10000 รอบต่อนาทีตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของไข่แดงเพิ่มขึ้นค่า n ที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงในรูปที่ 4.2

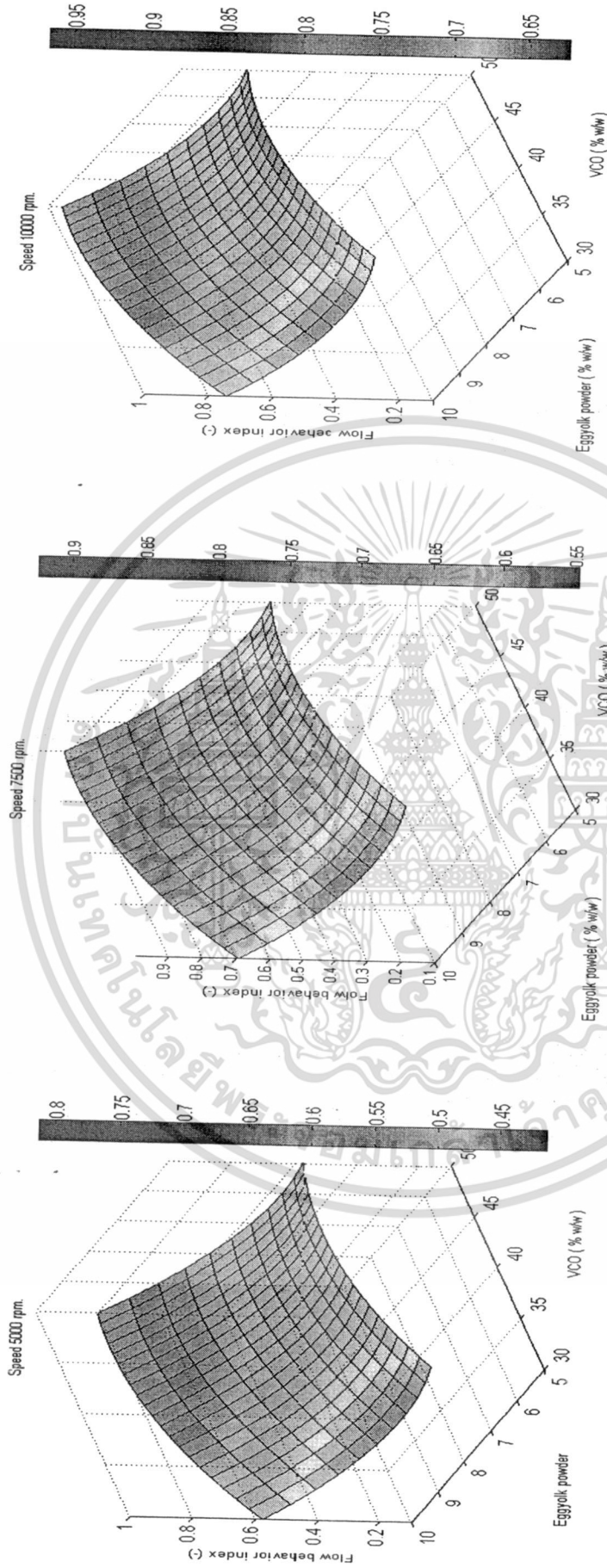
ส่วนรูปที่ 4:3 แสดงการเปรียบเทียบค่า n ที่ได้จากการสมการที่ 4.1 กับค่า n ที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีความสอดคล้องกันที่ระดับนัยสำคัญ $p = 0.08$ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 Consistency coefficient (K)

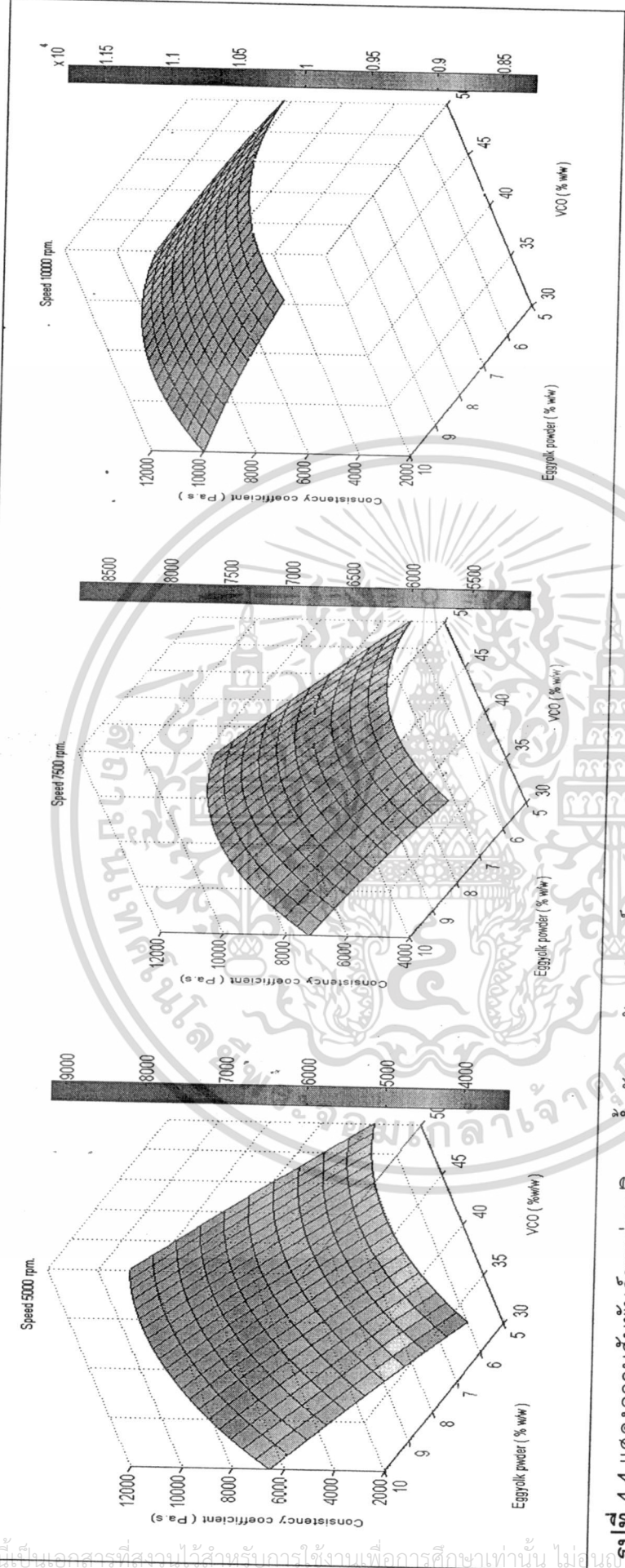
ค่าความคงตัว (Consistency coefficient (K)) เป็นค่าที่ใช้บอกความเหนียวของอาหารประเภท Non-newtonian เช่นเดียวกับค่า flow behavior index (n) จากการทดลองหาความสัมพันธ์ของสมการ power – law model จากผลิตภัณฑ์สเปรดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าค่า K ของผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่าง 2387.81 – 7998.34 Pa.s (แสดงในตารางที่ 4.3) เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองนี้ไปหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมัน มะพร้าวบริสุทธิ์ ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์(ไข่แดงผง) และความเร็วรอบการหมุนของการผสม ต่อค่า K ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ด้วยวิธี Multiple Linear Regression Analysis รูปแบบความสัมพันธ์ที่ได้เป็นดังนี้

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

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

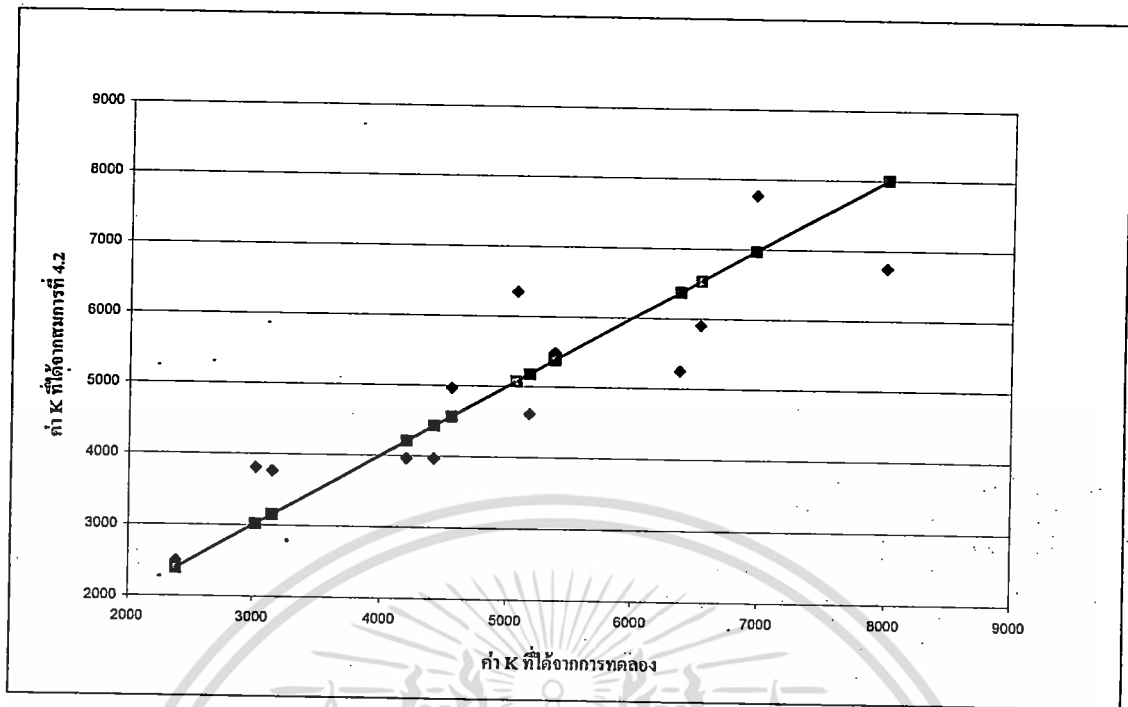
เมื่อ K คือค่า Consistency coefficient (K), x_1 , x_2 และ x_3 คือ ความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์, ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ และ ความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์(ไข่แดงผง) ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้นจาก 30 % ถึง 45 % โดยน้ำหนัก ค่า K มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้ผสม เกิน 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 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และปริมาณไข่แดงฝง ต่อค่า consistency coefficient (K) ที่ความเร็วรอบการผสมที่ระดับ 5000, 7500, และ 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิคงที่ 30 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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 ที่ได้ก็ลดลงเช่นกัน [12] จึงสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์สเปรดจะแสดงพฤติกรรมการไหลเป็นแบบซูโดพลาสติกเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่า n ที่ได้มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Seyed และคณะซึ่งได้ทำการศึกษาผลของ อุณหภูมิต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของผสมระหว่างไขมันงาและน้ำลูกพรุน พบว่าเมื่อเพิ่ม อุณหภูมิระหว่าง 35 – 65 องศาเซลเซียสค่า K และค่า n ที่ได้จะลดลง [13]

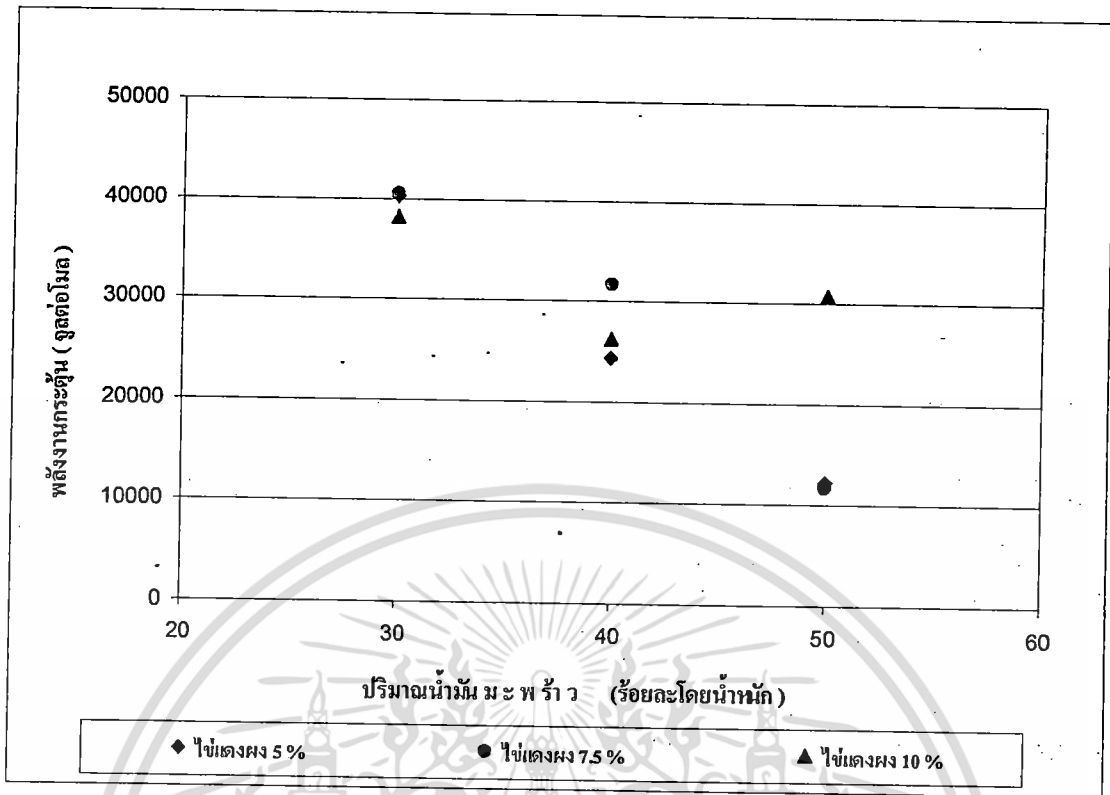
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

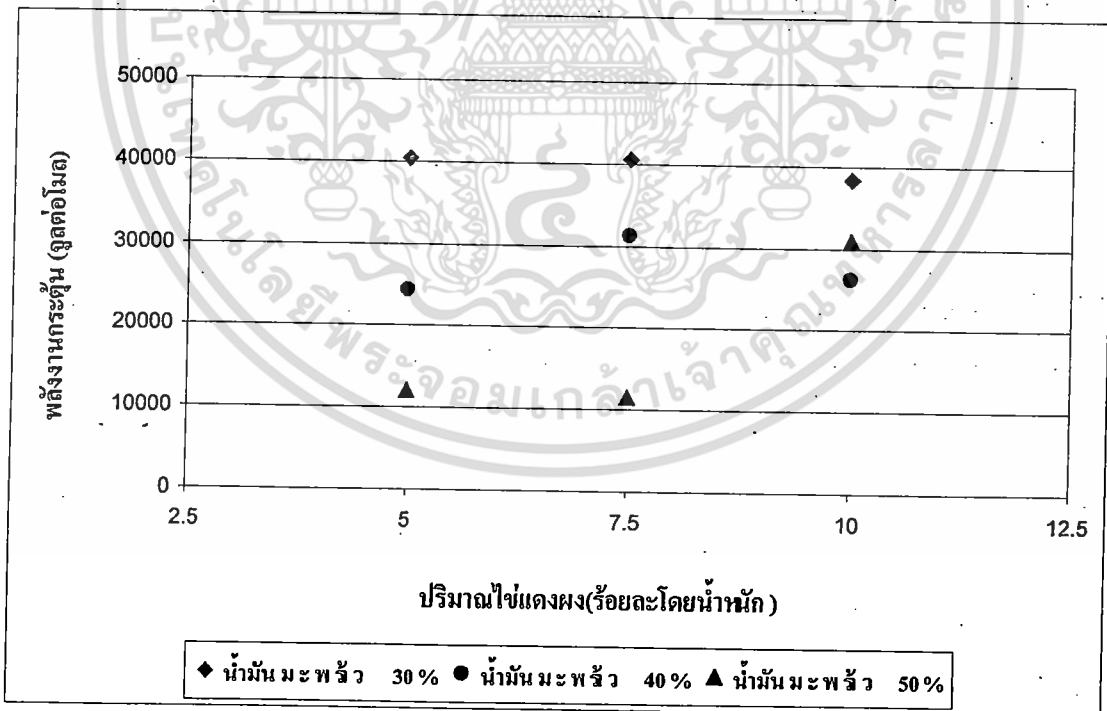
No.	virgin coconut oil (%w/w)	speed (rpm)	egg yolk powder (%w/w)	n			K (Pa.s)		
				T 30 °C	T 45 °C	T 60 °C	T 30 °C	T 45 °C	T 60 °C
1	40	5000	5	0.4997	0.655	0.4887	3019.95	1389.95	1279.38
2	40	5000	10	0.6752	0.5355	0.4694	6966.27	3443.50	2754.23
3	40	10000	5	0.7371	0.5944	0.4487	7998.34	2074.91	1253.14
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 และความเร็วรอบการหมุนของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าพลังงานกระตุ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

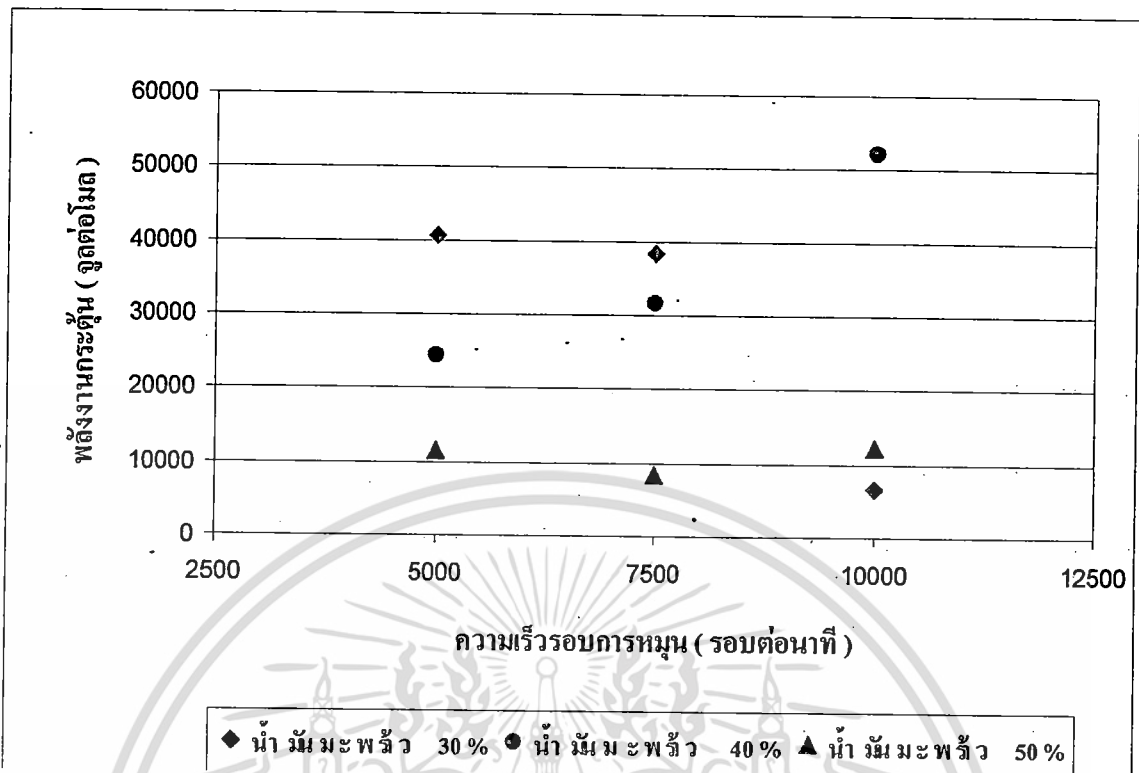


รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และค่าพลังงานกระตุ้น ที่ปริมาณไขมันร้อยละ 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ (ไขมัน) และค่าพลังงานกระตุ้น ที่ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนของเครื่องไฮโมจีในเซอร์และค่าพลังงาน กระตุ่น ที่ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก

4.4 ปริมาณน้ำอิสระ

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) พบว่าทุกสภาวะการทดลองของ ผลิตภัณฑ์สเปรด มีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.565 – 0.591 (แสดงผลการทดลองตามตารางที่ 4.5) โดยค่า a_w เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเก็บรักษาของอาหาร มีผลกระทบต่ออัตราเร็วในการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ในอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 จะช่วยป้องกันความเสื่อมเสียของอาหารที่เกิด จากจุลินทรีย์ จำพวก ยีสต์ รา และแบคทีเรีย [17] โดยปกติผลิตภัณฑ์สเปรดควรมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.87 Salmi [14] ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของ ช็อกโกแลตสเปรดไขมันต่ำโดยใช้น้ำมันปาล์ม เป็นส่วนประกอบพบว่าได้ค่า 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ คุณสมบัติ ด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์ และผลกระทบบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการผลิต (น้ำมันมะพร้าว ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก อิมัลซิฟายเออร์ (ไข่แดงผง) ร้อยละ 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก และ ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ 5000, 7500 และ 10000 รอบต่อนาที) ต่อคุณสมบัติ ด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การผลิต ผลิตภัณฑ์สเปรด ด้วยวิธีปั่น กวนแบบความเร็วรอบต่ำ ด้วยเครื่องผสมแบ่งเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งการปั่นกวนวิธีนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ ที่ได้ไม่เกิดการแยกชั้นของอิมัลชัน และทำการปั่นกวนซ้ำ อีกครั้ง ด้วยเครื่องปั่นความเร็วรอบสูงด้วย เครื่องโฮโมจีไนเซอร์เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งการปั่นกวนในขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สเปรดที่มีเนื้อ สัมผัสละเอียด และเมื่อพิจารณาในคุณสมบัติด้าน รีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ได้พบว่าผลิตภัณฑ์ มีพฤติกรรมการไหล 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 และความเร็วรอบการหมุน สูงขึ้น และได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่า K โดยใช้สมการอาร์เรเนียส พบว่าพลังงานกระตุ้นจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าว เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์ (ไข่แดงผง) ความเข้มข้นของน้ำมัน มะพร้าวบริสุทธิ์ และความเร็ว รอบการหมุนของ เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ต่อค่า n และค่า K ของ ผลิตภัณฑ์สเปรดและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง กับผลที่ได้จากการคำนวณตามสมการ Multiple Linear Regression Analysis พบว่าผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องดีกับผลที่ได้จากการ สมการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณรงค์ โฉมเฉลา (2008) "บทบาทของน้ำมันมะพร้าวต่อสุขภาพ และความงาม" available online: www.dtam.moph.go.th/alternative/viewstory.php?id=360
- [2] 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.
- [3] German, J.B. and Dillard, C.J. (2004) "Saturated fats: what dietary intake" American Journal of Clinical Nutrition, 80, p.550-559.
- [4] 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, (xx), p.242 – 245.
- [5] Buffo, R.A., Reineccius, G.A. (2002) "Modeling the rheology of concentrated beverage emulsion" Food Engineering, 51, p.267 – 272.
- [6] 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.
- [7] 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. 189d En
- [8] พืชเศรษฐกิจสารพัดประโยชน์มะพร้าว 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
- [9] พิมพ์รติลาพิสิทธิ์ "ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอิมัลชัน" หนังสือเครื่องสำอางสำหรับผิวหนัง available online: <http://www.cosmeccs.com/emulsion.php#>
- [10] Food engineer for education site available online "ความหนืดและพฤติกรรมการไหลของไหล": http://www.geocities.com/owen10/fluid_mech/viscosity_behavior.htm
- [11] Buffo, R.A., Reineccius, G.A. (2002) "Modeling the rheology of concentrated beverage emulsion" Food Engineering, 51, p.267 – 272.
- [12] Arslan, E., Yener, M.E., Esin, A. "Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends" Food Engineering 69 (2005) 167 – 172.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] 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.
- [14] Salmi Yati Samsudin, "Low-Fat Chocolate Spread Based on Palm Oil" *Palm Oil Developments* 45 p 27 – 30.
- [15] Martinez, I., Riscardo, M.A., Franco, J. M., "Effect of salt content on the rheological properties of salad dressing-type emulsion stabilized by emulsifier blends " *Food Engineering* 80 (2007) 1272 – 1281. .
- [16] 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.
- [17] Lewis, M.J. (1987) "Physical properties of foods and food processing systems" Chichester: Ellis Horwood,
- [18] Brookfield DV-II+ Programmable Viscometer Operating Instructions Manual No.M/97-164-D1000 "More solutions to sticky problems." Brookfield Engineering Laboratories, Inc.
- [19] Bourne, M. (2002) "Food and Texture and Viscosity Concept and Measurement" Academic Press