

# คุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรด

## จากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์

### Rheological characteristics of virgin coconut oil spread

พรรณนิภา ฤาโชคชัย, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการผลิตต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ผลิตจากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์บริสุทธิ์ ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ปริมาณน้ำมันมะพร้าว ปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ และความเร็วรอบของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ 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 และปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ ส่วนค่าความคงตัว consistency coefficient (K) มีค่าในช่วง 2387.81 – 7998.34 Pa s และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำมันมะพร้าวและปริมาณอิมัลซิฟายเออร์เพิ่มขึ้น เช่นกัน นอกจากนี้ยังได้แสดงความสัมพันธ์ของค่า consistency coefficient (K) ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ในช่วง 30 - 60 องศาเซลเซียส ด้วยสมการอาร์เรเนียส ค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) ที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 6652.36 – 52212.75 จูลต่อโมล ซึ่งค่าพลังงานกระตุ้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น

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

#### 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 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 (Ea) appeared in the range of 6652.36 – 52212.75 J/mol. and decreased with increasing of virgin coconut oil concentration.

**Key words :** Virgin Coconut Oil, Spread, Emulsifier, Homogenization, Rheology, Pseudo-plastic

C Spread

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

มะพร้าว เป็นพืชพื้นเมืองสำคัญของไทย มะพร้าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน จนได้ชื่อว่าเป็นต้นไม้สารพัดประโยชน์[1] ประเทศไทยมีปริมาณการเพาะปลูกมะพร้าวเป็นจำนวนถึงประมาณ 2 ล้านต้นต่อปี ปัจจุบันส่งออกจำหน่ายในรูปแบบเนื้อมะพร้าวฝอย เนื้อมะพร้าวแห้ง กะทิสำเร็จรูป รวมทั้งน้ำมันมะพร้าว [2]

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil) เป็นน้ำมันมะพร้าวที่สกัดโดยไม่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านการเติมออกซิเจน น้ำมันที่ได้มีความบริสุทธิ์ สีใส และมีปริมาณวิตามินอีสูง[1,3] วิตามินอีที่มีอยู่ในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ มีกรดลอริกซึ่งเป็นสารปฏิชีวนะ[4,5] กรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว ส่วนใหญ่มีโมเลกุลขนาดกลาง สามารถถูกดูดซึมในร่างกายให้เป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่มีไขมันเหลือสะสมในร่างกาย จึงช่วยลดความอ้วน โดยไปนำไขมันที่ร่างกายสะสมไว้ออกมาใช้เป็นพลังงาน[6]

ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสำคัญต่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์และมีคุณค่าครบถ้วน การเลือกรับประทานอาหาร จึงมิได้มุ่งเน้นที่รสชาติความอร่อยและอึดท้องเท่านั้น หากแต่ยังพิจารณาถึงประโยชน์ที่จะนำไปสู่การมีสุขภาพที่ดีปราศจากโรคร้ายไข้เจ็บด้วย

ช็อกโกแลตสเปรดเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมมากในแถบตะวันตก และมีแนวโน้มได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในเอเชียตามลำดับ ส่วนผสมสำคัญในการผลิตช็อกโกแลตสเปรดที่วางขายในท้องตลาดจะมีน้ำมันจากถั่วผสมอยู่ประมาณ 13 - 15 เปอร์เซ็นต์ [5] ทำให้ผู้ที่มีปัญหาสุขภาพหรือผู้ที่แพ้ถั่วไม่สามารถบริโภคผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้ ดังนั้นการเลือกใช้น้ำมันมะพร้าวมาทดแทนน้ำมันจากถั่วจึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภค ยิ่งกว่านั้นการใช้น้ำผึ้งทดแทนน้ำตาลในการผลิตผลิตภัณฑ์

ประเภทสเปรด จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเป็นผลดีต่อสุขภาพ 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 องุ่น ลูกพรุน ซึ่งได้สรุปว่าคุณสมบัติทางรีโอโลยี โดยเฉพาะทางด้านความหนืดและพฤติกรรมการไหลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ สามารถนำมาบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค [8,9,10] นอกจากนี้มีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องต่อการผลิต เช่น อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ ชนิดและปริมาณของสารช่วยลดแรงตึงผิว (อิมัลซิฟายเออร์) เทคนิคการทำอิมัลชัน อุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการทำอิมัลชัน เป็นต้น ความเข้าใจถึงผลของตัวแปรในการผลิตเป็นประโยชน์ในการควบคุมการผลิตให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ตามต้องการ สำหรับการนำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สเปรดยังมิได้มีการศึกษากันมากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการผลิตและผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการผลิตต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ได้จากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์บริสุทธิ์ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแปรรูปมะพร้าวของประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตประกอบด้วย น้ำมันมะพร้าวอินทรีย์บริสุทธิ์ (บ. Tropical Nutrition) น้ำผึ้ง (บ.คอยคำ) นมผง (บ. Dumex) ผงโกโก้ และไข่แดง ซึ่งใช้เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ (Belovo) สำหรับปริมาณผงโกโก้และนมผง กำหนดให้คงที่ที่ร้อยละ 7 และร้อยละ 8 (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำมันมะพร้าวและไข่แดงกำหนดตามแผนการทดลองในหัวข้อ 2.2 จากนั้นนำส่วนประกอบทั้งหมดมาผสมในเครื่องผสมแป้ง Philips mixer HR 1456 ก่อนนำเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ Amfield Siverson L4R เพื่อให้เกิดอิมัลชันได้เป็นผลิตภัณฑ์สเปรดขั้นตอนการผลิตแสดงในรูปแบบที่ 1

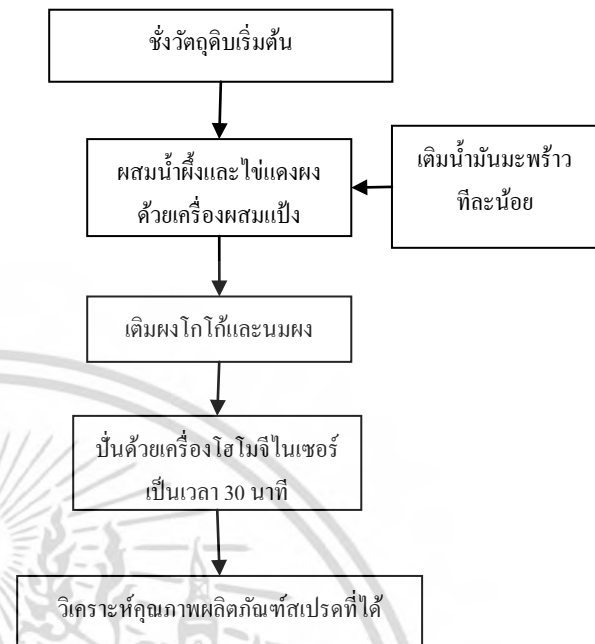
### 2.2 การวางแผนการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรในการผลิต ได้แก่ ปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ (ไข่แดง) ปริมาณน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และความเร็วรอบการทำงานของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของซ็อกโกแลตสเปรดวางแผนการทดลองแบบ Box Behnken ซึ่งประกอบด้วย 15 สภาวะการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงค่าตัวแปรและระดับของค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	ระดับของตัวแปร
ปริมาณไข่แดง	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  $a_w$  ชื่อ Aqualab Series 3TE โดย  $a_w$  เป็นอัตราส่วนระหว่างความดันไอในผลิตภัณฑ์อาหาร (P) และความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ ( $P_0$ ) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังสมการ [7]

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

#### 2.3.2 วิเคราะห์ความหนืด (Viscosity) และคุณสมบัติด้านรีโอโลยี (Rheological properties)

ทำการวัดคุณสมบัติความหนืดของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์ด้วยเครื่อง Brookfield DV II + Programmable Viscometer โดยใช้หัววัดความหนืดขนาด No. 7 ใช้ค่าความเร็วรอบระหว่าง 3-15 รอบต่อนาที และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาคุณสมบัติความหนืดตามความสัมพันธ์ ดังนี้ [11]

Shear rate ( $\text{Sec}^{-1}$ ):

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

Shear stress ( $\text{dynes/cm}^2$ );

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

Viscosity (poise);

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

เมื่อ  $\omega$  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 รัศมีของวัสดุที่ใส่ตัวอย่าง (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]

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

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

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อ consistency coefficient อาศัยสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model)

$$K = A \exp^{(E_a / RT)} \quad (7)$$

เมื่อ  $A$  คือ pre-exponential factor  $E_a$  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 (%w/w)	egg yolk powder (%w/w)	speed (rpm)	n	K (Pa.s)	R <sup>2</sup>
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

เมื่อทำการศึกษาคูสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดที่ได้ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (แสดงผลการทดลองในตารางที่ 2) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress และ Shear rate สอดคล้องกับสมการ Power-law model และพบว่าทุกสภาวะที่ทำการทดลอง ผลิตภัณฑ์สเปรดแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-Newtonian ประเภท ชูโดพลาสติก (Shear Thinning) นั่นคือค่าความหนืดปรากฏมีค่าลดลงเมื่อค่า shear stress เพิ่มขึ้น ค่าความคงตัว (consistency coefficient, K) ของผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่าง 2387.81 – 7998.34 Pa s. และค่า flow behavior index (n) ระหว่าง 0.4043 – 0.7805 ซึ่งค่า flow behavior index ที่ได้ให้ผลสอดคล้องกับคุณสมบัติด้านรีโอโลยีแบบชูโด

พลาสติกที่กำหนดไว้ว่า ค่า flow behavior index [3] ที่มีค่าอยู่ระหว่าง  $0 < n < 1$  จะเป็นพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก และพบว่าค่า flow behavior index (n) และค่า consistency coefficient (K) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าว ปริมาณอิมัลซิฟายเออร์สูงขึ้น Seyed และคณะ [9] ทำการศึกษาผลของอิมัลซิฟายเออร์หลายชนิด (guar gum, xanthan และ starch) และอุณหภูมิต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของของผสมระหว่างไขมันงาและน้ำเชื่อม โดยใช้ความสัมพันธ์ของ power-law model พบว่าพฤติกรรมการไหลของของผสมทุกสภาวะเป็นแบบซูโดพลาสติก มีค่า flow behavior index ระหว่าง 0.35-0.51

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

เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพลังงานความร้อนภายในโมเลกุลจะเพิ่มขึ้น เกิดระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากแรงกระทำระหว่างโมเลกุลลดลงส่งผลให้ความหนืดของของไหลลดลง ค่า consistency coefficient (K) และค่า flow behavior index (n) ที่ได้ก็มีผลลดลงเช่นกัน [13] จึงสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์สเปรดจะแสดงพฤติกรรมการไหลเป็นแบบซูโดพลาสติกเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่า flow behavior index(n) ที่ได้มีค่าลดลงซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Seyed และคณะ ทำการศึกษาผลของ อุณหภูมิต่อคุณสมบัติด้านรีโอ โลยีของของผสมระหว่างไขมันงาและน้ำลูกพรุน พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิระหว่าง 35 - 65 องศาเซลเซียสค่า consistency coefficient (K) และค่า flow behavior index ที่ได้จะลดลง [9]

เมื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่า consistency coefficient (K) จากสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius-type model) จะได้ค่า พลังงานกระตุ้น (Ea) ระหว่าง 8268.44 - 52212.75 จูลต่อโมล พบว่าเมื่อปริมาณน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้นค่า พลังงานกระตุ้น (Ea) ที่ได้จะมีค่าลดลง

### 3.3 ปริมาณน้ำอิสระ

เมื่อทำการวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) พบว่าทุกสภาวะการทดลองของผลิตภัณฑ์สเปรด มีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.565 - 0.591 โดยค่าปริมาณน้ำอิสระเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเก็บรักษาของอาหาร มีผลกระทบต่ออัตราเร็วในการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า ปริมาณน้ำอิสระ ต่ำกว่า 0.6 จะช่วยป้องกันความเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดจากจุลินทรีย์ จำพวก ยีสต์ รา และแบคทีเรีย [7] โดยปกติผลิตภัณฑ์สเปรดควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.87 Salmi [14] ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของ ซ็อกโกแลตสเปรด

ไขมันต่ำโดยใช้ไขมันปาล์มเป็นส่วนประกอบพบว่า  
ได้ค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.76 – 0.79

#### 4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของ ปริมาณน้ำมันมะพร้าว (ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก) อิมัลซิฟายเออร์ (ไข่แดงผง ร้อยละ 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก) และความเร็วรอบการหมุนของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (5000, 7500 และ 10000 รอบต่อนาที) ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรด พบว่าผลิตภัณฑ์มีพฤติกรรมการไหล 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) มีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันมะพร้าวและปริมาณอิมัลซิฟายเออร์เพิ่มขึ้นและได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 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, vol.40, pp.193-199.
- [4] German, J.B. and Dillard, C.J. (2004) “Saturated fats: what dietary intake” American Journal of Clinical Nutrition, vol.80, pp.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, vol.131, pp.242 – 245.

[6] Bureau of product standards, (2004) “Philippine National Standard Virgin coconut oil” Department of Trade and Industry Philippines, PNS/BAFPS22:ICS67.200.10

[7] Lewis, M.J. (1987) “Physical properties of foods and food processing systems” Chichester: Ellis Horwood, Woodhead Publishing Limited, Cambridge England 480 pages.

[8] Buffo, R.A., Reineccius, G.A. (2002) “Modeling the rheology of concentrated beverage emulsion” Food Engineering, vol.51, pp.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, vol.21, pp. 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, vol.65, pp. 189-196

[11] Brookfield DV-II+ Programmable Viscometer Operating Instructions Manual No.M/97-164-D1000 “More solutions to sticky problems” Brookfield Engineering Laboratories, Inc.

[12] Bourne, M. (2002) “Food and Texture and Viscosity Concept and Measurement” 2<sup>nd</sup> Edition Academic press an elsevier science imprint Geneva, New York 427 pages.

[13] Arslan, E., Yener, M.E., Esin, A. (2005) “Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends” Food Engineering, vol.69, pp. 167 – 172.

[14] Salmi Yati Samsudin, “Low-Fat Chocolate Spread Based on Palm Oil” Palm Oil Developments, vol.45, pp. 27 – 30.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้