



# ความสัมพันธ์ความหนาแน่นและความหนืดไดนามิกของน้ำมันพืชกับค่าสะaponification และค่าไอโอดีน

สุริยา พันธุ์โกศล<sup>1\*</sup>, ตินณภพ จุ่มอิน<sup>2</sup> และคณิต กฤษณังกูร<sup>3</sup>

## Correlation of Density and Dynamics Viscosity of Vegetable Oils to Its Saponification Number and Iodine Value

Suriya Phankosol<sup>1\*</sup>, Thinnaphop Chum-in<sup>2</sup> and Kanit Krisnangkura<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร 10600

<sup>2</sup>สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร 10900

<sup>3</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (วิทยาเขตบางขุนเทียน) กรุงเทพมหานคร 10150

<sup>1</sup>Department of Industrial and Technology Management, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok, 10600, Thailand.

<sup>2</sup>Department of Technology Management, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, 10900, Thailand.

<sup>3</sup>Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi (Bangkhuntien), Bangkok 10150, Thailand.

\* Corresponding author. E-mail address: s.phankosol@gmail.com

Received: 26 December 2016; Accepted: 20 April 2017

### บทคัดย่อ

ความหนาแน่นและความหนืดไดนามิกเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของของเหลว ความหนาแน่นและความหนืดไดนามิกมีความสัมพันธ์กับจำนวนคาร์บอนอะตอม จำนวนพันธะคู่ และอุณหภูมิ ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาประมาณความหนาแน่นและความหนืดไดนามิกจากค่าสะaponification (SN) และค่าไอโอดีน (IV) ของน้ำมันพืชที่อุณหภูมิต่างๆ ในการศึกษาใช้ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงมาใช้ในการศึกษาและสนับสนุนเพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของสมการที่จะนำไปใช้ จากการศึกษาพบว่าสมการที่นำเสนอมีความง่ายต่อการนำไปใช้งานและมีความถูกต้องแม่นยำสำหรับการประมาณค่าความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันพืชที่อุณหภูมิต่างๆ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ของความหนาแน่นและความหนืดไดนามิกที่อุณหภูมิ 283.15–413.15 K มีค่าเท่ากับ 0.23 และ 7.57% ตามลำดับ สำหรับการประมาณความหนาแน่นและความหนืดไดนามิกนอกช่วงอุณหภูมิ 283.15 ถึง 413.15K ที่ศึกษาอาจมีความแม่นยำต่ำลง

คำสำคัญ: ค่าสะaponification ค่าไอโอดีน ความหนาแน่น ความหนืดไดนามิก

### Abstract

Density and dynamics viscosity are important physical properties of a liquid. The density and viscosity of vegetable oils are correlated to number of carbon atoms, number of double bond(s) and temperature. In this work, an empirical approach for estimation density and dynamics viscosity of vegetable oils can be estimated by using saponification number (SN) and iodine value (IV). Data available in literatures are used to validate, and support the speculations derived from the proposed equation. The proposed equations are easy to use and the estimated density and dynamics viscosity values of vegetable oils at different temperatures agree well with the literature values. The average absolute deviation of density and dynamic viscosity of vegetable oils at 283.15–413.15 K are 0.23 and 7.57 %, respectively. The density and dynamics viscosity outside temperature between 283.15 and 413.15 K may be estimated by this model but accuracy may be lower.

**Keywords:** Saponification number, Iodine value, Density, Dynamic viscosity



## บทนำ

สมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชมีความสำคัญมากในการออกแบบกระบวนการต่างๆ รวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง เช่น เครื่องปฏิกรณ์ ปั่น และเครื่องแยกสาร เป็นต้น สมบัติทางกายภาพของของไหลที่สำคัญคือ ความหนืด และความหนาแน่น ซึ่งความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันพืชสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธีตามวิธีมาตรฐานซึ่งความถูกต้องแม่นยำขึ้นอยู่กับความละเอียดและเที่ยงตรงของเครื่องมือวิเคราะห์ แต่เมื่อต้องการทราบค่าความหนาแน่นและความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆ ทำให้ต้องเสียเวลาเป็นอย่างมาก ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะเป็นประโยชน์อย่างมากทำให้ทราบข้อมูลความหนาแน่นและความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว และหากสมการดังกล่าวโยงสัมพันธ์กับโครงสร้างสารด้วย จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาออกแบบ

องค์ประกอบทางเคมีให้เหมาะสมกับความหนาแน่นและความหนืดที่ต้องการ (Halvorsen, Mammel, & Clements, 1993) ได้แสดงเงื่อนไขสำคัญของสมการที่ดีสำหรับประมาณสมบัติทางกายภาพคือ ต้องมีความสัมพันธ์กับจำนวนอะตอมคาร์บอน ระดับความไม่อิ่มตัว และเปลี่ยนตามอุณหภูมิ

Phankosol, Chum-in, and Krisnangkura (2018) ได้เสนอสมการสำหรับประมาณความหนาแน่นของน้ำมันพืชจากความสัมพันธ์พลังงานอิสระควรรวมของการขยายปริมาตร (สมการที่ (1)) พร้อมโยงความสัมพันธ์กฎควรรวมพลังงานอิสระ ( $\Delta G$ ) กับโครงสร้างโมเลกุลได้ตั้งสมการที่ (2) และได้รายงานผลความหนาแน่นจากการประมาณด้วยสมการที่ (2) เทียบกับผลการทดลองของน้ำมันพืชในช่วงอุณหภูมิ 283.15–413.15K แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยไม่เท่ากับ 0.23%

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{\Delta G}{RT}\right) \quad (1)$$

เมื่อ  $\rho$  คือความหนาแน่นของสาร ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )  
 $\rho_0$  คือความหนาแน่นอ้างอิง ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )  
 $T$  คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)  
 $R$  คือค่าคงที่ของแก๊ส

$$\ln \rho = (-1.1651 + 0.04452z_{ave} + 0.0048n_{d,ave}) + (388.88 - 17.447z_{ave} + 3.34n_{d,ave}) \frac{1}{T} \quad (2)$$

เมื่อ  $\rho$  คือความหนาแน่นของน้ำมันพืช ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )  
 $T$  คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)  
 $z_{ave}$  คือจำนวนอะตอมคาร์บอนของกรดไขมันเฉลี่ยที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช  
 $n_{d,ave}$  คือจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันเฉลี่ยที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช

สมการความสัมพันธ์ความหนืดไดนามิกที่อุณหภูมิต่างๆ กับพลังงานอิสระ (Krisnangkura, Yimsuwan, & Pairintra, 2006) แสดงในสมการที่ (3) ถูกใช้ในการประมาณความหนืดไดนามิกของของเหลวต่างๆ รวมถึง

น้ำมันพืช ซึ่งตรงกับสมการที่นำเสนอโดย (Andrade, 1930) อย่างไรก็ตามสมการที่ (3) จำเป็นต้องหาค่าคงที่ใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของน้ำมัน เพราะค่าคงที่เปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบทางเคมี

$$\eta = A \exp\left(\frac{\Delta G}{RT}\right) \quad (3)$$



- เมื่อ  $\eta$  คือความหนืดไดนามิกส์ (mPa•s)
- $T$  คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)
- $A$  คือค่าคงที่มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมี
- $\Delta G$  คือพลังงานอิสระของการไหล
- $R$  คือค่าคงที่ของแก๊ส

Phankosol, Chum-in, and Krisnangkura (2017) ได้เสนอสมการสำหรับประมาณความหนืดไดนามิกส์ของน้ำมันพืชจากความสัมพันธ์พลังงานอิสระควรวรวมของการไหล (สมการที่ (3)) พร้อมโยงความสัมพันธ์กฎพลังงานอิสระควรวรวมกับโครงสร้างโมเลกุลได้ตั้งสมการที่ (4)

และได้รายงานผลความหนืดไดนามิกส์จากการประมาณด้วยสมการที่ (4) เทียบกับผลการทดลองของน้ำมันพืชในช่วงอุณหภูมิ 283.15-413.15K แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 7.57%

$$\ln \eta = (-5.2405 - 0.08488z_{ave} + 0.5488n_{d,ave}) + (1941.85 + 77.423z_{ave} - 266.46n_{d,ave}) \frac{1}{T} \quad (4)$$

- เมื่อ  $\eta$  คือความหนืดไดนามิกส์ของน้ำมันพืช (mPa•s)
- $T$  คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)
- $z_{ave}$  คือจำนวนอะตอมคาร์บอนของกรดไขมันเฉลี่ยที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช
- $n_{d,ave}$  คือจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันเฉลี่ยที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช

อย่างไรก็ตามสมการที่ (2) และ (4) ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานจำเป็นต้องทราบข้อมูลองค์ประกอบของกรดไขมันซึ่งต้องทำการวิเคราะห์จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) หรือไฮเพอร์ฟอร์แมนส์ลิควิดโครมาโทกราฟี (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) โดยเครื่องมือทั้งคู่มีราคาค่อนข้างสูงและในการใช้งานจำเป็นต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ ดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการประมาณความหนาแน่นและความหนืดไดนามิกส์ของน้ำมันพืชที่อุณหภูมิต่างจากค่าสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification Number; SN) และค่าไอโอดีน (Iodine Value; IV) ซึ่งค่าทั้งสองได้แสดงความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับลักษณะปรากฏของน้ำมันเช่น ค่าซีเทน (Krisnangkura, 1986) และค่าความร้อนการเผาไหม้ (Krisnangkura, 1991) เป็นต้น

### ทฤษฎี

(Phankosol, Chum-in, & Krisnangkura, 2016; Phankosol, Sudaprasert, Lilitchan, Aryasuk, & Krisnangkura, 2014) ได้เสนอการประมาณค่าสมบัติทางกายภาพที่อุณหภูมิต่างๆ จากค่าซาปอนนิฟิเคชัน (Saponification Number; SN) และค่าไอโอดีน (Iodine Value; IV) ซึ่งค่าทั้งสองได้แสดงความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับขนาดโมเลกุลและความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน ลักษณะปรากฏของน้ำมันเช่น ค่าซีเทน (Krisnangkura, 1986) และค่าความร้อนการเผาไหม้ (Krisnangkura, 1991) เป็นต้น โดยชุดสมการความสัมพันธ์ที่ (5)-(7)

$$M = 14z - 2n_d + 46 \quad (5)$$

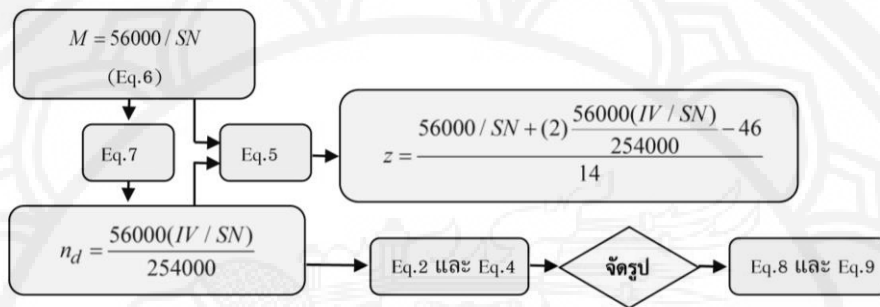
$$SN = \frac{56000}{M} \quad (6)$$

$$IV = \frac{25400(n_d)}{M} \quad (7)$$



- เมื่อ  $M$  คือมวลโมเลกุลของน้ำมันพืช
- $z$  คือจำนวนอะตอมคาร์บอนของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช
- $n_d$  คือจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืช
- $SN$  คือค่าสะปอนนิฟิเคชัน
- $IV$  คือค่าไอโอดีน

แทนสมการที่ (5)-(7) ในสมการที่ (2) และ (4) และจัด หามาแน่นและความหนืดไดนามิกส์ของน้ำมันพืชที่อุณหภูมิ  
 รูปสมการใหม่ได้ตั้งสมการที่ (8) และ (9) ตามลำดับ ต่าง ๆ จากค่า  $SN$  กับ  $IV$   
 โดยขั้นตอนแสดงในรูปที่ 1 เป็นสมการประมาณความ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการแทนสมการที่ (5)-(7) ในสมการที่ (2) และ (4) ในการสร้างสมการที่ (8) และ (9)

$$\ln \rho = -1.3112 + \frac{178.09}{SN} + \frac{0.0248(IV)}{SN} + \left( 446.13 - \frac{69792}{SN} + \frac{1.8393(IV)}{SN} \right) \frac{1}{T} \quad (8)$$

$$\ln \eta = -4.96199 - \frac{339.54}{SN} + \frac{1.1863(IV)}{SN} + \left( 1687.81 + \frac{309707}{SN} - \frac{564.48(IV)}{SN} \right) \frac{1}{T} \quad (9)$$

- เมื่อ  $\rho$  คือความหนาแน่นของสาร ( $g \cdot cm^{-3}$ )
- $\eta$  คือความหนืดไดนามิกส์ของน้ำมันพืช ( $mPa \cdot s$ )
- $T$  คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)
- $SN$  คือค่าสะปอนนิฟิเคชัน
- $IV$  คือค่าไอโอดีน

**ระเบียบวิธี**

**1. ข้อมูลการทดลอง**

**ความหนาแน่น**

ในการศึกษานี้ใช้ผลการทดลองของ (Esteban, Riba, Baquero, Rius, & Puig, 2012); (Ceriani, Paiva, Gonçalves, Batista, & Meirelles, 2008) ทำการวัดความหนาแน่นของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ (ตารางที่ 1) ด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) และเครื่อง Anton Paar DMA-58 Vibrating Tube Densimeter (ระดับความแม่นยำ  $0.00004 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) ตามลำดับ

**ความหนืดไดนามิกส์**

ในการศึกษานี้ใช้ผลการทดลองของ (Esteban et al., 2012); (Quinchia, Delgado, Valencia, Franco, & Gallegos, 2010); (Ceriani et al., 2008) โดยที่ (Esteban et al., 2012) วัดความหนืดโคเนมาติคส์ด้วย Cannon-Fenske-Type Gravity Flow Viscometers และทำการแปลงให้อยู่ในรูปความหนืดไดนามิกส์ด้วยการคูณความหนาแน่นในงานเดียวกันที่ได้นำเสนอ สำหรับ (Quinchia et al., 2010) และ (Ceriani et al., 2008) วัดความหนืดไดนามิกส์ด้วยเครื่อง Rotational Controlled Strain Rheometer รุ่น ARES (Rheometric Scientific,



UK) และ Automatic Viscosimeter AMV 200 (Anton Paar) ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์ทางสถิติ  
ความคลาดเคลื่อน (D (%))

$$D(\%) = \frac{P_{exp} - P_{cal}}{P_{exp}} \times 100\% \tag{10}$$

โดยที่  $P_{exp}$  และ  $P_{cal}$  คือค่าจากการทดลอง และค่าจากการประมาณ ตามลำดับ

ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (AD (%))

$$AD(\%) = \left| \frac{P_{exp} - P_{cal}}{P_{exp}} \right| \times 100\% \tag{11}$$

โดยที่  $P_{exp}$  และ  $P_{cal}$  คือค่าจากการทดลอง และค่าจากการประมาณ ตามลำดับ

ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (AAD (%))

$$AAD(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_{exp} - P_{cal}}{P_{exp}} \right| \tag{12}$$

โดยที่  $P_{exp}$  และ  $P_{cal}$  และ  $N$  คือค่าจากการทดลอง ค่าจากการประมาณ และจำนวนข้อมูล ตามลำดับ

ค่าเอนเอียง (Bias (%))

$$Bias(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{P_{exp} - P_{cal}}{P_{exp}} \right] \tag{13}$$

โดยที่  $P_{exp}$  และ  $P_{cal}$  และ  $N$  คือค่าจากการทดลอง ค่าจากการประมาณ และจำนวนข้อมูล ตามลำดับ

ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error:  $\sigma_{\bar{x}}$ )

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{N} \tag{14}$$

เมื่อ  $\sigma$  และ  $N$  คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และจำนวนข้อมูล ตามลำดับ



ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination:  $R^2$ )

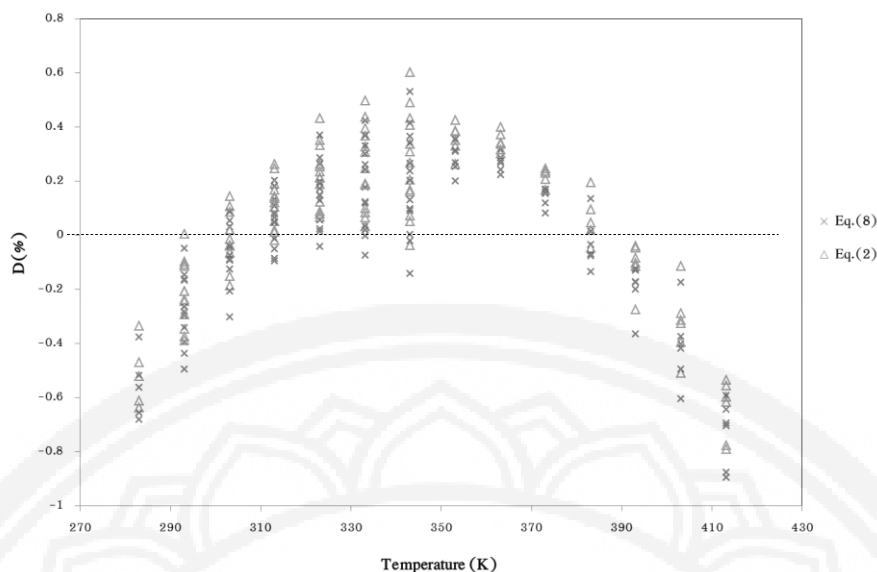
$$R^2 = \left[ \frac{n \sum_{i=1}^n X_{\text{exp}} Y_{\text{cal}} - \left( \sum_{i=1}^n X_{\text{exp}} \right) \left( \sum_{i=1}^n Y_{\text{cal}} \right)}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_{\text{exp}}^2 - \left( \sum_{i=1}^n Y_{\text{exp}} \right)^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n X_{\text{cal}}^2 - \left( \sum_{i=1}^n Y_{\text{cal}} \right)^2 \right]}} \right]^2 \quad (15)$$

โดยที่  $X_{\text{exp}}$ ,  $Y_{\text{cal}}$  และ  $n$  คือค่าจากการทดลอง, ค่าจากการประมาณ และจำนวนของจุดข้อมูล ตามลำดับ

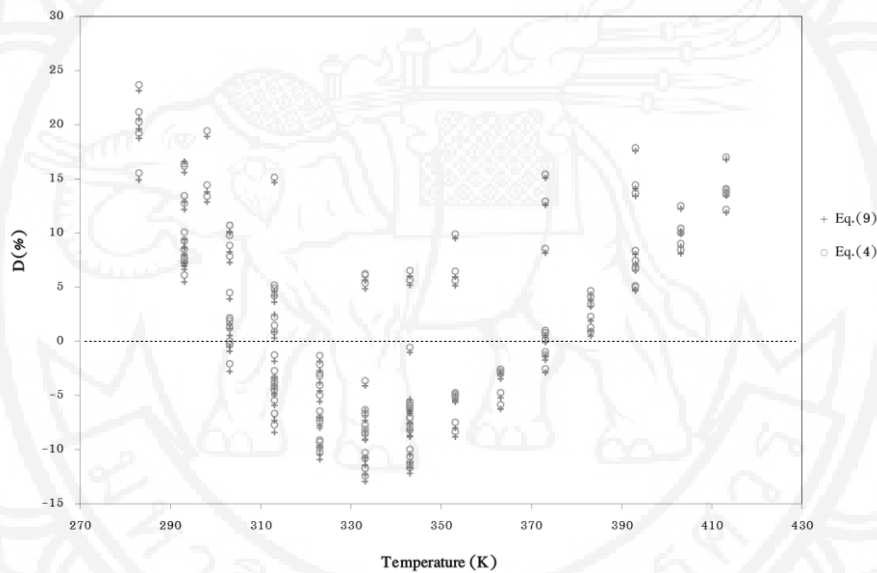
#### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการคำนวณค่า SN และ IV ด้วยสมการที่ (6) และ (7) ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 1 พบว่ามีช่วงของค่า SN และ IV มีค่าเท่ากับ 179.3-237.71 และ 19.67-136.96 ตามลำดับ การประมาณความหนาแน่นและความหนืดไดนามิกส์ของน้ำมันพืชด้วยสมการที่ (8) และ (9) ตามลำดับ ที่ช่วงอุณหภูมิ 283.15-413.15 K มีค่าใกล้เคียงกับการประมาณด้วยสมการที่ (2) และ (4) เมื่อ

เปรียบเทียบค่าที่ประมาณด้วยสมการที่ (8) และ (9) กับการทดลองพบว่าค่า Bias (%) เท่ากับ -0.03% และ 1.56% ตามลำดับ และ AAD (%) เท่ากับ 0.23% และ 7.57% ตามลำดับ ซึ่งค่า Bias (%) และ AAD (%) มีค่าใกล้เคียงกับผลของการประมาณด้วยสมการที่ (2) และ (4) การกระจายตัว D (%) จากการประมาณด้วยสมการที่ (8) และ (9) ที่ช่วงอุณหภูมิ 283.15-413.15 K ดังแสดงในรูปที่ 2



(a)



(b)

รูปที่ 2 (a) ร้อยละความคลาดเคลื่อน (D (%)) จากการประมาณความหนาแน่นที่ประมาณด้วยสมการที่ (2) และ (8), (b) ความหนืดไดนามิกที่ประมาณด้วยสมการที่ (4) และ (9) เทียบกับผลการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 283.15–413.15 K

ตารางที่ 1 องค์ประกอบกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืช

Vegetable Oils	C16 <sup>a</sup> 0 <sup>b</sup>	C16: 1	C18: 0	C18: 1	C18: 2	C18: 3	Othe r	MW	Z <sub>(ave)</sub>	n <sub>d(av)</sub> c)	SN	IV
Rapeseed (Esteban et al., 2012)	4.70	0.30	1.30	65.3	19.2	8.30	1.10	883.	17.9	1.30	190.0	111.4
Sunflower (Esteban et al., 2012)	6.70	0.30	2.90	38.7	51.3	0.10	0.20	880.	17.8	1.42	190.8	121.9
Soybean (Esteban et al., 2012)	11.20	0.20	2.90	25.2	55.4	5.00	0.20	876.	17.7	1.51	191.7	130.2
Palm (Esteban et al., 2012)	45.60	0.40	3.80	38.5	10.5	0.10	1.00	849.	17.0	0.60	197.8	51.75



ตารางที่ 1 (ต่อ)

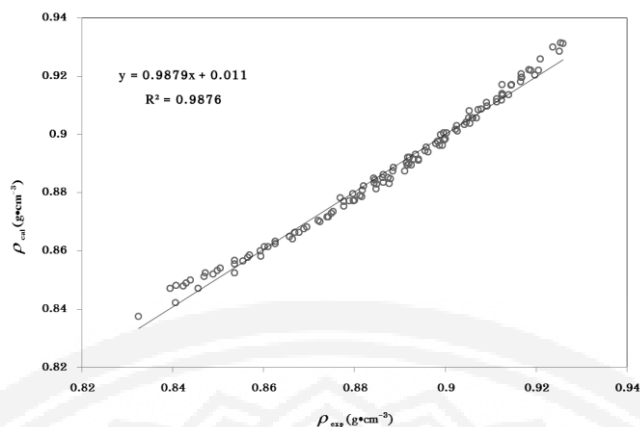
Vegetable Oils	C16 <sup>a</sup> :0 <sup>b</sup>	C16 :1	C18 :0	C18 :1	C18 :2	C18 :3	Oth er	M W	Z <sub>(ave)</sub> )	n <sub>d(a)</sub> ve)	SN	IV
Corn (Esteban et al., 2012)	11.40	0.30	1.70	32.8	53.3	0.50	0.2	876	17.	1.4	191.	121.
							0	.3	76	1	71	37
Grape Seed (Esteban et al., 2012)	7.20	0.10	3.90	20.2	68.4	0.20	0.2	879	17.	1.5	191.	135.
							0	.3	85	7	07	62
High-Oleic Sunflower oil (HOSO) (Quinchia et al., 2010)	3.84	0.00	4.42	83.6	8.08	0.00	0.0	886	17.	1.0	189.	85.5
				6			0	.0	92	0	62	4
Sunflower Oil (SO) (Quinchia et al., 2010)	6.18	0.00	3.41	25.6	64.8	0.00	0.0	880	17.	1.5	190.	133.
							0	.5	88	5	79	63
Soybean Oil (SYO) (Quinchia et al., 2010)	11.28	0.00	2.70	24.3	56.2	5.34	0.0	876	17.	1.5	191.	131.
				9	8		0	.1	77	3	76	81
Brazil Nut (Ceriani et al., 2008)	15.92	0.35	10.3	37.7	34.9	0.05	0.6	874	17.	1.0	192.	93.0
			7	5	3		4	.6	68	8	09	2
Buriti (Ceriani et al., 2008)	16.63	0.41	1.21	78.6	1.40	1.25	0.4	875	17.	0.8	192.	73.6
				9			1	.0	66	6	00	2
Grape Seed (Ceriani et al., 2008)	6.80	0.14	3.23	20.3	68.8	0.21	0.4	879	17.	1.5	190.	136.
				1	9		2	.9	87	9	94	96
Macadamia Nut Oil (Rodrigues, Silva, Marsaioli, & Meirelles, 2005)	9.38	19.2	3.40	59.7	2.03	0.14	6.0	866	17.	0.8	193.	75.1
		8		6			2	.3	49	6	94	8
1to1 <sup>c</sup> (Ceriani et al., 2008)	14.07	0.25	2.10	50.6	28.8	3.55	0.5	875	17.	1.1	191.	102.
				5	5		4	.6	72	9	86	69
1to2 (Ceriani et al., 2008)	13.23	0.19	2.40	41.3	37.9	4.31	0.5	875	17.	1.3	191.	112.
				8	4		5	.8	74	1	83	34
1to3 (Ceriani et al., 2008)	12.81	0.16	2.54	36.7	42.4	4.69	0.6	875	17.	1.3	191.	117.
				4	6		0	.9	75	6	81	11

<sup>a</sup> Carbon Numbers<sup>b</sup> Number of Double Bonds<sup>c</sup> Volume Fractions of Buriti Oil/Soybean Oil

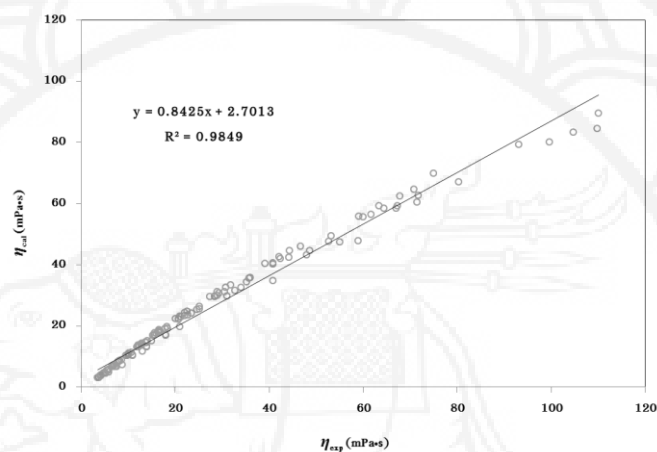
เมื่อวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการประมาณด้วยสมการที่ (8) และ (9) กับการทดลอง ดังรูปที่ 3a และ 3b ตามลำดับ พบว่าได้กราฟความสัมพันธ์เส้นตรง โดยรูปที่ 3a เป็นความสัมพันธ์ของค่าหนาแน่นที่ประมาณด้วยสมการที่ (8) กับการทดลอง มีค่า จุดตัด ความชัน สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เท่ากับ 0.011, 0.9879, 0.9876 และ 0.002 ตามลำดับ สำหรับรูปที่ 3b เป็นความสัมพันธ์ของความ

หนืดไดนามิกที่ประมาณด้วยสมการที่ (9) กับการทดลอง มีค่า จุดตัด ความชัน สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เท่ากับ 2.7013, 0.8425, 0.9849 และ 0.094 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความชันและค่า  $R^2$  ที่ได้จากรูปที่ 3a และ 3b พบว่ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากสมการมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองมากและมีความสัมพันธ์ในระดับที่สูงมาก





(a)



(b)

รูปที่ 3 (a) ค่าความหนาแน่นที่ประมาณด้วยสมการที่ (8) กับผลการทดลอง, (b) ความหนืดไดนามิกที่ประมาณด้วยสมการที่ (9) เทียบกับผลการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 283.15-413.15 K

การใช้สมการที่ (8) และ (9) ในการประมาณน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันโครงสร้างพิเศษที่พบได้ในพืชบางชนิด เช่นน้ำมันละหุ่งมี Hydroxylated Fatty acid พบว่ามีกลุ่มไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group; -OH) เพิ่มเข้ามาในโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งในการสร้างสมการที่ (2) และ (4) ไม่ได้พิจารณาผลของกลุ่มไฮดรอกซิลทำให้การนำสมการไปใช้งานอาจเกิดความคลาดเคลื่อนสูง

### สรุป

การโยงความสัมพันธ์เพื่อประมาณค่าความหนืดไดนามิก และความหนาแน่นของน้ำมันพืชที่อุณหภูมิต่างๆ จากค่าสะปอนนิฟิเคชันและค่าไอโอดีน จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสมการความสัมพันธ์ที่นำเสนอมีความถูกต้องแม่นยำเท่ากับสมการที่ประมาณด้วยจำนวนอะตอมคาร์บอน และจำนวนพันธะคู่ ทั้งนี้ถ้าน้ำมันพืชมีสิ่ง

ปนเปื้อนสูง อาทิ เช่น กรดไขมันอิสระ และความชื้น เป็นต้น จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากสมการที่นำเสนอพัฒนาจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์ การใช้งานสมการที่นำเสนอนอกช่วงอุณหภูมิที่ศึกษาความคลาดเคลื่อนอาจเพิ่มขึ้นได้

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่สนับสนุนงบประมาณวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

Andrade, E. N. D. C. (1930). *The Viscosity of Liquids. Nature*, 125(3148), 309-310.



- Ceriani, R., Paiva, F. R., Gonçalves, C. B., Batista, E. A. C., & Meirelles, A. J. A. (2008). Densities and Viscosities of Vegetable Oils of Nutritional Value. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 53(8), 1846-1853.
- Esteban, B., Riba, J. R., Baquero, G., Rius, A., & Puig, R. (2012). Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. *Biomass and bioenergy*, 42, 164-171.
- Halvorsen, J. D., Mammel, W. C., & Clements, L. D. (1993). Density estimation for fatty acids and vegetable oils based on their fatty acid composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 70(9), 875-880.
- Krisnangkura, K. (1986). A simple method for estimation of cetane index of vegetable oil methyl esters. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 63(4), 552-553.
- Krisnangkura, K. (1991). Estimation of heat of combustion of triglycerides and fatty acid methyl esters. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 68(1), 56-58.
- Krisnangkura, K., Yimsuwan, T., & Pairintra, R. (2006). An empirical approach in predicting biodiesel viscosity at various temperatures. *Fuel*, 85(1), 107-113.
- Phankosol, S., Chum-in, T., & Krisnangkura, K. (2017). Dynamics Viscosity of Vegetable Oils at Various Temperatures to Its Chemical Composition. *UBU Engineering Journal*, 10(2), 8 pages.
- Phankosol, S., Chum-in, T., & Krisnangkura, K. (2018). Free Energy Additivity Model for Estimation Vegetable Oils Density at Various Temperatures. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 26(1), 10 pages.
- Phankosol, S., Chum-in, T., & Krisnangkura, K. (2016). Estimating the Surface Tension of Vegetable oils by Law of Free Energy Additivity. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 24(1), 82-90.
- Phankosol, S., Sudaprasert, K., Lilitchan, S., Aryusuk, K., & Krisnangkura, K. (2014). Estimation of density of biodiesel. *Energy & Fuels*, 28(7), 4633-4641.
- Quinchia, L. A., Delgado, M. A., Valencia, C., Franco, J. M., & Gallegos, C. (2010). Viscosity modification of different vegetable oils with EVA copolymer for lubricant applications. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 607-612.
- Rodrigues, C. E. C., Silva, F. A., Marsaioli, A., & Meirelles, A. J. A. (2005). Deacidification of Brazil Nut and Macadamia Nut Oils by Solvent Extraction: Liquid-Liquid Equilibrium Data at 298.2 K. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 50(2), 517-523.