

การประมาณค่าความจุความร้อนของไบโอดีเซล

Estimation Heat Capacity of Biodiesel

ศุภิสรา พรานพันธุ์¹, สุริยา พันธุ์โกศล^{2*}, แก้วกันยา สุดประเสริฐ¹, กรณ์กนก อายุสุข³ และ
คณิต กฤษณังกูร³

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาธิปไตย บางมด กรุงเทพฯ 10140

²สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา 1061 อีสราภาพ 15 แขวงหิรัญรูจี กรุงเทพฯ 10600

³สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน 49 เทียนทะเล 25 ท่าข้าม บางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

*E-mail: s.phankosol@gmail.com

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางสำหรับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วสูง ในการใช้งานจำเป็นต้องทราบถึงสมบัติทางกายภาพเพื่อออกแบบกระบวนการ และเครื่องมือต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งค่าความจุความร้อนเป็นหนึ่งในสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลที่สำคัญเพราะมีผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไบโอดีเซลและยังส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการประมาณค่าความจุความร้อนของเมทิลไบโอดีเซลโดยประยุกต์ใช้สมการที่พัฒนาจากกฎควมรวมพลังงานอิสระ

ในการศึกษาได้ใช้ข้อมูลจากวรรณกรรมเพื่อสนับสนุนและอ้างอิงความแม่นยำของการทำนาย จากผลการศึกษาพบว่าสมการการทำนายค่าความจุความร้อนของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (FAME) ที่อุณหภูมิ 250-390 K พบว่าค่าความจุความร้อนจากการทำนายเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองได้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (AD%) อยู่ในช่วง 0.07-2.24% และค่าเฉลี่ย (ADD%) เท่ากับ 0.82% และ 0.92% การใช้งานนอกช่วงอุณหภูมิที่นำเสนอความแม่นยำอาจต่ำลง

คำสำคัญ: การประมาณค่า เมทิลไบโอดีเซล ความจุความร้อน

Abstract

Biodiesel has widely been used as an alternative fuel in the high speed diesel engines. The heat capacity is one of the important physical properties of biodiesel. It directly affects the change in temperature of the fuel as heat is applied. This study is focused on developing a mathematical model for estimation of the heat capacity of fatty acid methyl ester (FAME) and biodiesel.

Heat capacity data were obtained from literature for modeling and validate the accuracy of the prediction. The results showed that the absolute deviation (AD%) were in the range of 0.07-2.24%. The average absolute deviation (ADD%) were 0.82 and 0.92%, respectively for FAME and biodiesel at 250-390 K. The AAD was better

than the previously reported in literature. Moreover, the proposed model was much simpler. Only (average) carbon numbers and number of double bonds were required for the calculation.

Keywords: Estimation, Methyl Biodiesel, Heat capacity

1. บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการด้านพลังงานของมนุษย์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกสาขาเศรษฐกิจ โดยสาขาอุตสาหกรรมเป็นสาขาที่มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่สูงกว่าสาขาอื่น รองลงมาคือสาขาการคมนาคมขนส่ง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ความต้องการด้านพลังงานมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันปิโตรเลียมที่มีอยู่อย่างจำกัดนั้นมีปริมาณลดน้อยลงอย่างต่อเนื่อง ประเทศไทยก็เช่นกันมีความต้องการเชื้อเพลิงเพื่อการคมนาคมที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องพยายามหาแหล่งพลังงานอื่นเพื่อทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจจากหลายประเทศที่สามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วในทุกอัตราส่วน อีกทั้งมีการคิดค้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

ไบโอดีเซล (Biodiesel) สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และไขมันที่ผ่านการใช้งาน โดยผ่านการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) เป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนหมู่แอลคิลที่ได้จากแอลกอฮอล์ (เมทานอล และเอทานอล) โดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ภาวะอุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันให้อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้จากเมทานอลและเอทานอลตามลำดับ [1] ซึ่งไบโอดีเซลยังมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ หรือสามารถนำเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลแบบธรรมดาได้ และในแง่ของมลพิษนั้นไบโอดีเซลมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลปกติ [2] ทำให้มีการปลดปล่อยมลพิษน้อยลง [2] นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังประกอบไปด้วยกรดไขมันหลายตัวรวมกันสามารถแบ่งออกได้เป็น กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) คือกรดไขมันที่ไม่เลกุลส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอน มีพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนจับกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) คือกรดไขมันที่ไม่เลกุลส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนมีพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนจับกันด้วยพันธะคู่อย่างน้อยหนึ่งพันธะโดยองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชหรือสัตว์แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบแตกต่างกันออกไป [3]

ในการนำไบโอดีเซลไปใช้งานนั้นจำเป็นที่จะต้องทราบสมบัติทางกายภาพเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การผลิต การออกแบบระบบขนส่งและการปรับปรุงและพัฒนาเชื้อเพลิงให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งค่าความจุความร้อนเป็นหนึ่งในสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล เนื่องจากความจุความร้อนของไบโอดีเซลมีความสัมพันธ์กับการดำเนินของปฏิกิริยาเคมีโดยมีผลต่ออุณหภูมิรวมของระบบโดยเฉพาะในระบบที่อุณหภูมิไม่คงตัว ใช้คำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และใช้ในการประเมินประสิทธิภาพห้องเผาไหม้ โดยการวัดค่าความจุความร้อนส่วนใหญ่จะใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (differential scanning calorimeter) หรือที่เรียกย่อว่าเครื่อง DSC [10] ซึ่งการใช้ DSC เพื่อหาค่าความจุความร้อนพบว่าขึ้นกับอุณหภูมิที่ยุ่งยาก ซับซ้อน มีต้นทุนที่สูง และเมื่อต้องการทราบอุณหภูมิที่ต่างกันในการทดลองยังทำให้ใช้เวลานาน ดังนั้น การสร้างสมการเพื่อทำนายความจุความร้อนของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลจะช่วยให้ได้ค่าความจุความร้อนได้รวดเร็วขึ้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับนำมาประมาณค่าความจุความร้อนคือ Valderrama, J. O., et al. [8] ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมการที่ (1) เพื่อหาค่าความจุความร้อนของเหลวไอออนิกด้วยวิธีการแบ่งกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลที่อุณหภูมิ 250 - 426 เคลวิน แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 2.8% และจาก สมการที่ (1) พบว่ามีความยุ่งยากในการคำนวณเนื่องจากในการหาค่า λ เป็นค่าจำเพาะที่เปลี่ยนแปลงตามชนิดของสาร สำหรับการใช้งานการประมาณค่าไบโอดีเซลจำเป็นต้องคำนวณหาค่าความจุความร้อนของไขมันเมทิลเอสเทอร์ในแต่ละตัวก่อนก่อให้เกิดความยุ่งยากและเสียเวลาอย่างมากในการคำนวณ

$$C_p(T) = \sum g_i G_i + A + B\lambda + \lambda[CT + DT^2] \quad (1)$$

เมื่อ G_i, g_i คือค่าของแต่ละกลุ่มโมเลกุล
 A, B, C และ D คือค่าคงที่
 λ คือค่าจำเพาะที่เปลี่ยนแปลงตามชนิดของสาร

Ceriani et al. [9] ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (2) ด้วยวิธีการแบ่งกลุ่มโครงสร้างโมเลกุล (Group Contribution Method) เพื่อหาค่าความจุความร้อนของของเหลวอินทรีย์ในกลุ่มไฮมันที่ช่วงอุณหภูมิ 350 ± 0.5 เคลวิน และแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 0.41% จากสมการที่ (2) พบว่าสำหรับการใช้งานการประมาณค่าไบโอดีเซลจำเป็นต้องคำนวณหาค่าความจุความร้อนของไฮมันเมทิลเอสเทอร์ในแต่ละตัวก่อนก่อให้เกิดความซ้ำซ้อนในการคำนวณเช่นกัน

$$Cp_i^l = \sum_k N_k \cdot (A_k + B_k \cdot T) \quad (2)$$

เมื่อ N_k คือตัวเลขของกลุ่ม k ในโมเลกุล
 k คือชนิดของกลุ่มโมเลกุล
 A_k และ B_k คือค่าคงที่

สมการสำหรับประมาณค่าความจุความร้อนของ FAME และไบโอดีเซลพบว่ามีจำนวนน้อย อีกทั้งสมการที่ (1) และ (2) มีความยุ่งยากซับซ้อนในการนำไปใช้งานหรือประยุกต์เพื่อศึกษาสมบัติหรือพฤติกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความแม่นยำในการประมาณค่าความจุความร้อนของ FAME และไบโอดีเซล โดยมีความสัมพันธ์กับตัวแปร 3 ค่า คือขนาดโมเลกุล ระดับความไม่อิ่มตัว และอุณหภูมิ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Phankosol, S., et al. (2014) ได้เสนอสมการประมาณความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์กรดไขมันและไบโอดีเซล จากกฎควรรวมพลังงานอิสระของมาร์ติน เป็นสมการความสัมพันธ์ที่มีความสมบูรณ์เนื่องจากมีผลของขนาดโมเลกุล ระดับความไม่อิ่มตัว และอุณหภูมิ ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\ln \mu = a + bz + \frac{c}{T} + \frac{dz}{T} + en_d + \frac{fn_d}{T} \quad (3)$$

เมื่อ z คือจำนวนอะตอมคาร์บอนในสายไฮโดรคาร์บอน
 n_d คือจำนวนพันธะคู่
 T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์
 $a...f$ คือค่าคงที่ทางอุณหพลศาสตร์

2.1 ความจุความร้อนของไขมันเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์

ในงานวิจัยนี้สนใจประยุกต์ใช้สมการที่ (3) ในการทำนายค่าความจุความร้อนของไขมันเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ได้ดังสมการที่ (4)

$$C_p = a + bz + \frac{c}{T} + \frac{dz}{T} + en_d + \frac{fn_d}{T} \quad (4)$$

2.2 ความจุความร้อนของไบโอดีเซล

สำหรับการทำนายค่าความจุความร้อน (C_p) ของไบโอดีเซลด้วยสมการที่ (4) สามารถใช้ค่า z_{ave} และ $n_{d(ave)}$ ได้ จะทำให้สะดวกในการพิจารณามากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามวิธีของ Phankosol et al. (Phankosol, Sudaprasert et al. 2014) เมื่อแทนค่าได้ตั้งสมการที่ (5)

$$C_p = a + bz_{ave} + \frac{c}{T} + \frac{dz_{ave}}{T} + en_{d,(ave)} + \frac{fn_{d,(ave)}}{T} \quad (5)$$

โดยที่

$$z_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i z_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (6)$$

$$n_{d,ave} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i n_{d,i}}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (7)$$

- เมื่อ x_i คือสัดส่วนโดยโมลหรือมวลของ FAME_i ที่เป็นองค์ประกอบในไบโอดีเซล
 z_i คือจำนวนอะตอมคาร์บอนของ FAME_i ที่เป็นองค์ประกอบในไบโอดีเซลชนิด
 $n_{d,i}$ คือจำนวนอะตอมคาร์บอนของ FAME_i ที่เป็นองค์ประกอบในไบโอดีเซลชนิด

3. ระเบียบวิธี

3.1 ข้อมูลการทดลอง

ข้อมูลการทดลองค่าความจุความร้อนของเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ของกรดไขมันและไบโอดีเซล ใช้ผลการทดลองของ (Pauly, Kouakou et al. 2014)) ที่ช่วงอุณหภูมิ 250-390 K โดยใช้เครื่อง SETARAM cylindrical standard batch vessel ให้อัตราการร้อนเท่ากับ 0.2 K/min ในงานศึกษา

3.2 ค่าคงที่ของสมการค่าความจุความร้อนของไขมันเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ (C12-C22)

ในการหาค่าคงที่ a, b, c, d และ f สำหรับสมการที่ (4) โดยใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุ

3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (AAD (%)) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$AAD(\%) = \left(\frac{1}{N} \right) \sum_{N=1}^N \left| \frac{C_{p(exp)} - C_{p(cal)}}{C_{p(exp)}} \right| \times 100\% \quad (8)$$

โดย exp คือค่าความจุความร้อนจากผลการทดลองที่มีการนำเสนอ

cal คือค่าความจุความร้อนจากการคำนวณ

N คือจำนวนของจุดข้อมูล

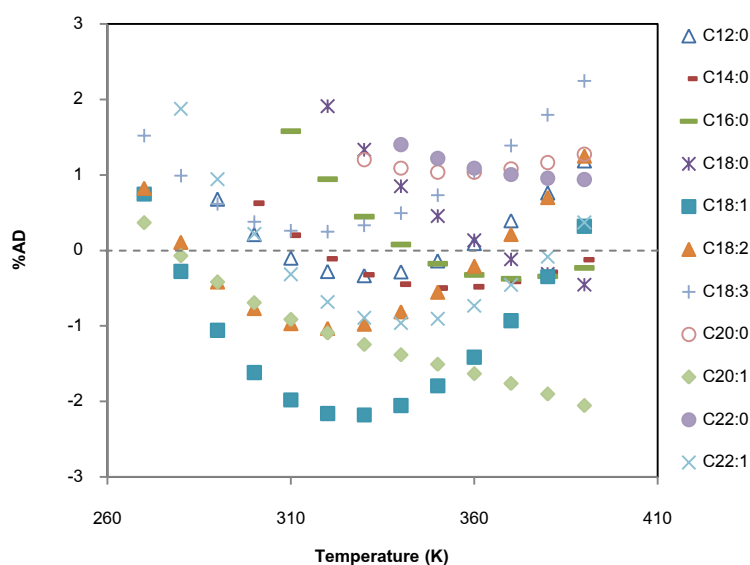
4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาค่าความจุความร้อนของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ (C12 - C22)

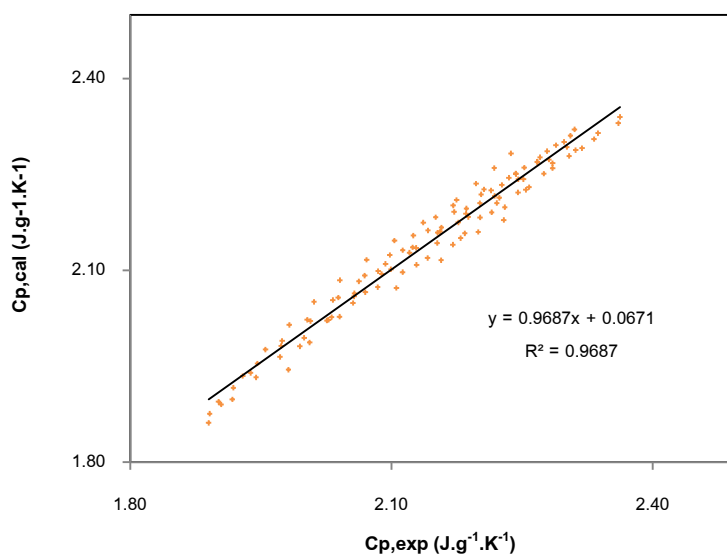
สำหรับการหาค่าคงที่ช่วงสายยาว C12 - C22 ของสมการที่ (4) จะหาค่าคงที่ a, b, c, d, e และ f ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุผลัลพีร์เท่ากับ 3.0588, 0.0110, -322.1458, -2.3863, -0.1211 และ 28.7997 จากนั้นนำค่าคงที่ต่างๆ แทนลงในสมการที่ (4) จะได้สมการที่ (9)

$$C_p = 3.0588 + (0.0110)z - \frac{322.1458}{T} - \frac{2.3863z}{T} - 0.1211n_d + \frac{28.7997n_d}{T} \quad (9)$$

จากการประมาณค่าความจุความร้อนของ FAME ชนิดไม่อิ่มตัวที่ช่วงอุณหภูมิ 290 – 390 K ด้วยสมการที่ (9) เทียบกับผลการทดลอง (Pauly, Kouakou et al. 2014)) ที่ช่วงอุณหภูมิ 290 – 390 K พบว่า %AD อยู่ในช่วง 0.07 – 2.24% และค่า %AAD เท่ากับ 0.82%



ภาพที่ 1 การกระจายตัวของร้อยละค่าความคลาดเคลื่อน (%AD) ค่าความจุความร้อนของไขมันเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ เทียบกับการทดลอง (Pauly, J., et al. (2014))



ภาพที่ 2 การทำนายค่าความจุความร้อนของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์กับผลการทดลอง (Pauly, J., et al. (2014))
ในช่วงอุณหภูมิ 290 – 390 เคลวิน

จากการสร้างกราฟผลการทำนายค่าความจุความร้อนของ FAME ชนิดไม่อิ่มกับผลการทดลอง (Pauly, J., et al. (2014)) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองมากและมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2 มีค่าจุดตัดแกนความชัน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.0671, 0.9687 และ 0.9687 ตามลำดับ

4.2 ความจุความร้อนไบโอดีเซล

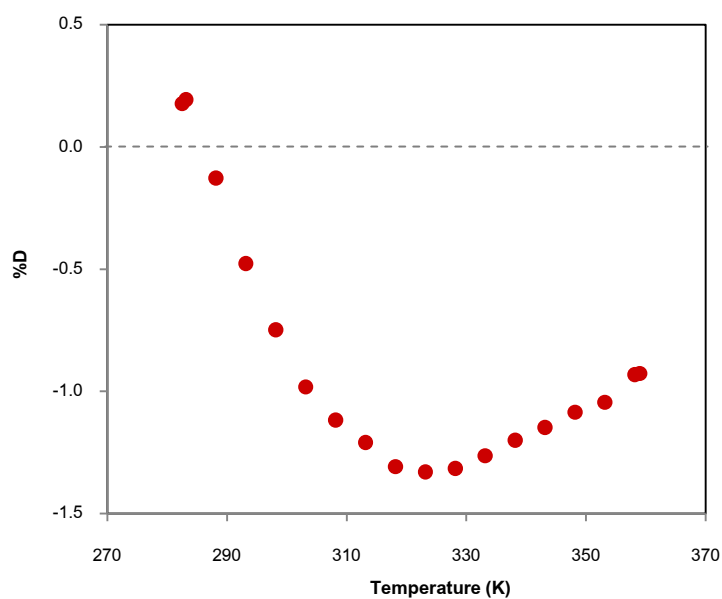
ไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ร่วมกับแอลกอฮอล์ ซึ่งอาจทำให้องค์ประกอบของ FAME ในไบโอดีเซลแตกต่างกันตามวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิต ในงานวิจัยนี้ได้ทำนายค่าความจุความร้อนของไบโอดีเซลโดยรวบรวมองค์ประกอบ FAME ของไบโอดีเซลไว้ในตารางที่ 1 และใช้ค่าคงที่ a, b, c, d, e และ f เหมือนกับสมการที่ (9) โดยใช้ค่า (z_{ave}) และ $n_{d(ave)}$ แทนลงในสมการที่ (9) จะได้สมการที่ (10)

$$C_p = 3.0588 + 0.0110z_{ave} - \frac{322.1458}{T} - \frac{2.3863z_{ave}}{T} - 0.1211n_{d(ave)} + \frac{28.7997n_{d(ave)}}{T} \quad (10)$$

ตารางที่ 1 องค์ประกอบกรดไขมันของไบโอดีเซล และค่า Z_{ave} และ $n_{d(ave)}$

$Cz : n_d$	Rapeseed	$Cz : n_d$	Rapeseed
C12:0	0.1	C18:3	10.2
C14:0	0.1	C20:0	0.5
C16:0	4.9	C20:1	1.3
C16:1	0.3	C22:0	0.3
C18:0	1.5	C22:1	0.3
C18:1	60.3	C24:0	0.1
C18:2	19.2		
		$Z_{(ave)}$	17.95
		$n_{d(ave)}$	1.31

จากการทำนายค่าความจุความร้อนของไบโอดีเซล 1 ชนิดโดยสมการที่ (10) ช่วงอุณหภูมิ 282.51 – 358.97 เคลวิน จากผลการทำนายได้ค่า ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์อยู่ในช่วง 0.13-1.33% และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.92% ดังภาพที่ 3 และ ตารางที่ 2 แสดงการกระจายตัวของร้อยละความคลาดเคลื่อน (%D) จากการทำนายค่าความจุความร้อนของไบโอดีเซลที่ ช่วงอุณหภูมิต่างๆ



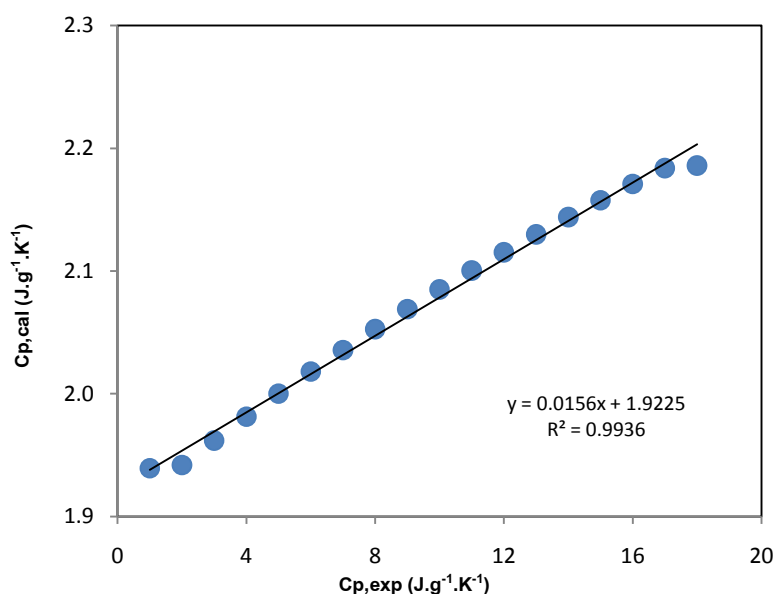
ภาพที่ 3 การกระจายตัวของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (% Δ) ความจุความร้อนของไบโอดีเซล เทียบกับการทดลอง Dzida, M., et al. (2008) ที่ช่วงอุณหภูมิ 282.51 – 358.97 K

ตารางที่ 2 การทำนายค่าความจุความร้อนของไบโอดีเซลด้วยสมการที่ (10) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เทียบกับ

ผลการทดลอง Dzida, M., et al. (2008)

Biodiesel	T (K)	$C_p^{bio(exp)}$ ($J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$)	$C_p^{bio(cal)}$ ($J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$)	%D
Rapeseed	282.51	1.94	1.94	0.18
	283.14	1.95	1.94	0.19
	288.14	1.96	1.96	-0.13
	293.15	1.97	1.98	-0.48
	298.16	1.99	2.00	-0.75
	303.15	2.00	2.02	-0.98
	308.14	2.01	2.04	-1.12
	313.16	2.03	2.05	-1.21
	318.15	2.04	2.07	-1.31
	323.16	2.06	2.08	-1.33
	328.15	2.07	2.10	-1.31
	333.14	2.09	2.12	-1.26
	338.15	2.10	2.13	-1.20
	343.14	2.12	2.14	-1.15
	348.16	2.13	2.16	-1.09
	353.15	2.15	2.17	-1.04
	358.14	2.16	2.18	-0.93
	358.97	2.17	2.19	-0.93
AAD (%)				0.92

จากการสร้างกราฟผลการทำนายกับผลการทดลอง Dzida, M., et al. (2008) ค่าความจุความร้อนของไบโอดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงโดยมีค่าจุดตัดแกน ความชัน และสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 1.9225, 0.0156 และ 0.9936 ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ผลการทำนายค่าความจุความร้อนของไบโอดีเซลจากสมการที่ (10) กับผลการทดลอง Dzida, M., et al. (2008) ที่ช่วงอุณหภูมิ 318.15-343.15 เคลวิน

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของค่าความจุความร้อนของไขมันเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์และเมทิลไบโอดีเซลโดยใช้สมการที่ (1) และสมการที่ (2) มาเปรียบเทียบกับสมการที่ (9) และสมการที่ (10) อย่างไรก็ดีตามเมื่อทำการเปรียบเทียบหาค่าความจุความร้อนของไขมันเมทิลเอสเทอร์และเมทิลไบโอดีเซลที่อุณหภูมิเดียวกันนั้นพบว่าผลค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของสมการที่นำเสนอให้ค่าที่น้อยสุด สมการที่นำเสนอเมื่อเทียบกับสมการอื่นมีความแม่นยำที่สูงกว่าสมการอื่นๆ สำหรับการนำไปใช้งานประมาณค่าความจุความร้อน

ตารางที่ 3 ผลค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของค่าความจุความร้อนจากสมการที่นำเสนอและสมการอื่นๆ

	%ADD	
	FAME	Biodiesel
Valderrama, J. O., et al. [8]	8.38	3.68
Ceriani, R., et al. [9]	3.00	5.29
This work	0.82	0.92

5. สรุป

จากการประยุกต์ใช้สมการสำหรับการทำนายค่าความจุความร้อนของไขมันเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากผลการทำนายค่าความจุความร้อนที่ได้จากสมการเทียบกับการทดลองพบว่ามีความถูกต้องแม่นยำ สมการที่นำเสนอเป็นประโยชน์สำหรับการทำนายความจุความร้อนของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นสมการที่ง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน

6. ข้อเสนอแนะ

การใช้งานสมการทำนายนอกช่วงอุณหภูมิที่นำเสนออาจทำให้ความแม่นยำในการทำนายลดต่ำลง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เทคนิคการผลิตไบโอดีเซลให้ได้คุณภาพ [online], Available: <http://www2.dede.go.th/bett/Activities/KM/BioDiesel%20Manual.pdf>, [12 มีนาคม 2558].
- [2] โครงการเคยู-ไบโอดีเซล, 2550, ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล [Online], Available: http://www.biodiesel.rdi.ku.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=12, [12 มีนาคม 2558].
- [3] ลิพิด (lipid) [Online], Available: [http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/288%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%9E%E0%B8%B4%E0%B8%94+\(lipid\)?groupid=132](http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/288%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%9E%E0%B8%B4%E0%B8%94+(lipid)?groupid=132), [21 สิงหาคม 2558].
- [4] สุริยา พันธโกศล, 2556, การโยงสัมพันธ์สมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลกับพารามิเตอร์อุณหพลศาสตร์, วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 45.
- [5] Pauly, J., Kouakou, A.C., Habrioux, M., Mapihan, K., 2014, "Heat capacity measurements of pure fatty acid methyl esters and biodiesels from 250 to 390 K", *Fuel*, Vol. 137, pp. 21-27.
- [6] Dzida, M., Prusakiewicz, P., 2008, "The effect of temperature and pressure on the physicochemical properties of petroleum diesel oil and biodiesel fuel", *Fuel*, Vol. 87, pp. 1941-1948.
- [7] Phankosol, S., & Krisnangkura., 2014, "Estimation kinematic viscosity of biodiesel produced by ethanolysis. in 6th International Science, Social Sciences" Engineering and Energy Conference, Prajaktra Design Hotel, UdonThani, Thailand.
- [8] Valderrama, J.O., Toro, A., Rojas, R.E., 2011, "Prediction of the heat capacity of ionic liquids using the mass connectivity index and a group contribution method", *The Journal of Chemical Thermodynamics*, Vol. 43, pp. 1068-1073.
- [9] Ceriani, R., Gani, Rafiqul., Meirelles, A, J.A., 2009, "Prediction of heat capacity and heats of vaporization of organic liquids by group contribution method", *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 283, pp. 49-55.
- [10] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์, [Online], Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2606/differential-scanning-calorimeter> [3 มีนาคม 2559].