

**การเตรียมกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์จากไขรำข้าวดิบ**  
**Preparation of Fatty Acid Ethyl Ester from Crude Rice Bran Wax**

**ปัตมา นันทองคำ<sup>1</sup>** กรณ์กนก อายุสุข<sup>1</sup> และคณิต กฤษณังกูร<sup>1</sup>  
**Pattama Numthongkum<sup>1</sup>, Kornkanok Aryusuk<sup>1</sup> and Kanit Krisnangkura<sup>1</sup>**

**บทคัดย่อ**

ไขรำข้าวดิบซึ่งมีน้ำมันรำข้าวเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณสูง เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่มีมูลค่าต่ำ ซึ่งได้จากขั้นตอนการขจัดไขของกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์อาจเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตไบโอดีเซลได้ การศึกษานี้ได้เตรียมกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ของน้ำมันรำข้าวโดยการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันภายในไขรำข้าวดิบที่มีน้ำมันอยู่ 66.67% โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องและใช้สัดส่วนโมลของไขต่อเอทานอลเท่ากับ 1:30

จากการศึกษาพบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6% หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.0% (เทียบกับแอลกอฮอล์) ในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันสามารถเปลี่ยนน้ำมันรำข้าวไปเป็นกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ได้สูงสุดร้อยละ 93.99 และ 97.72 ตามลำดับ ภายในเวลา 5 นาที พิจารณาที่ค่าไอโอดีน และค่าซีเทนของกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ที่เตรียมได้จากไขรำข้าวดิบพบว่าเป็นไปตามมาตรฐานของไทย (มาตรฐานเดียวกับยุโรป) อย่างไรก็ตามค่าความหนืดของกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ที่ได้สูงเกินกว่าค่ากำหนดของมาตรฐานไบโอดีเซล ซึ่งน่าจะเกิดจากการละลายปนเปื้อนของไข

**คำสำคัญ :** กรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ ไขรำข้าวดิบ ไบโอดีเซล ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน เอทานอล

**ABSTRACT**

Crude rice bran wax (CRBW) with high oil content (66.67%) is a low value co-product from dewaxing step of rice bran oil (RBO) refinery. The entrapped oil has great potential for the preparation of biodiesel. In this study, fatty acid ethyl ester (FAEE) of RBO was prepared by *in situ* transesterification of CRBW with NaOH or KOH as catalyst. Transesterifications were performed at room temperature with 1:30 molar ratio of CRBW to ethanol. About 93.99% and 97.72% of FAEE were obtained within 5 min of transesterifications by using 1.6% NaOH or 2.0% KOH in ethanol as catalyst, respectively. Based on the iodine value and cetane index, the obtained FAEE met Thai biodiesel specification (the same as EN standard). However, viscosity of the FAEE was slightly higher than the Thai biodiesel specification. This might be due to a small contamination of the wax in the FAEE.

<sup>1</sup> สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology

Keywords : Fatty acid ethyl ester, Crude rice bran wax, Biodiesel, Transesterification, Ethanol

## คำนำ

เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนน้ำมันจากปิโตรเลียม (Petrodiesel) ทำให้การวิจัยน้ำมันทางเลือกอย่างไบโอดีเซล (Biodiesel) ได้รับความสนใจและศึกษากันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคั้นหาน้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของการผลิตชนิดใหม่ๆ ทั้งจาก พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ หรือแม้แต่การนำน้ำมันใช้แล้ว (Reused oil) มาผลิตไบโอดีเซล

น้ำมันรำข้าว (RBO) เป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการนำมาผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากเป็นน้ำมันที่ได้จากรำข้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว และเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูก โดย RBO ที่นำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลอาจมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid; FFA) แตกต่างกันไป ซึ่งส่งผลให้การเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแตกต่างกันไปด้วย เช่น Sinha และคณะ (2008) ผลิตไบโอดีเซลจาก RBO ที่มีปริมาณ FFA 2.8% โดยเลือกใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 40-60°C ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที Einloft และคณะ (2008) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจาก RBO ที่มี FFA ประมาณ 3.0% โดยใช้ Tin compound เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง Lin และคณะ (2009) ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าวดิบ (Crude RBO) โดยการเร่งปฏิกิริยาด้วยกรดเพื่อลดปริมาณ FFA ลงก่อนตามด้วยการเร่งปฏิกิริยาด้วยต่าง ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นต้น

ไขรำข้าวดิบ (CRBW) เป็นผลผลิตพลอยได้จากขั้นตอนการขจัดไขของกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าว ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก ใน CRBW ประกอบด้วยน้ำมันในปริมาณค่อนข้างสูง (20-80%) (Vali และคณะ, 2005) ซึ่งจำเป็นต้องขจัดออกหากต้องการผลิตไขรำข้าวบริสุทธิ์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารโดยการนำ CRBW มาสกัดน้ำมันออกด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม ซึ่งต้องใช้ตัวทำละลายปริมาณมาก จำเป็นต้องสกัดซ้ำหลายครั้ง และใช้เวลานานกว่าจะได้ไขบริสุทธิ์ (Vali และคณะ, 2005; สายสนม ประดิษฐ์ดวง และคณะ, 2533)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจาก CRBW โดยใช้เอทานอล และใช้ต่าง NaOH และ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเป็นการค้นหาแหล่งวัตถุดิบใหม่สำหรับผลิตไบโอดีเซล อีกทั้งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของไขรำข้าวอีกด้วยเนื่องจากผลผลิตร่วมที่ได้ควบคู่กับไบโอดีเซลคือไขรำข้าวบริสุทธิ์ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

โดยใช้คอลัมน์ชนิด Phenogel ขนาด 7.8 mm, ID x 300 mm, L ขนาดอนุภาคบรรจุ 5 µm, Pore size 100 Å (บริษัท Phenomenex Pa) ต่อกับ Injector ยี่ห้อ Rheodyne รุ่น 7125 Sample loop ขนาด 20 µL ใช้ระบบชะ

สารแบบ Isocratic ที่อัตราการไหล 1 mL/min อุณหภูมิคอลัมน์และอินเจคเตอร์ 60°C ต่อกับเครื่องตรวจวัดชนิด Evaporative Light Scattering Detector (ELSD) ของ SEDEX รุ่น 55 เครื่องประมวลผลรุ่น CSW 32

## 2. เครื่อง Gas Chromatograph (GC)

ใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี Shimadzu รุ่น GC-2010 วิเคราะห์สารด้วยคอลัมน์ BPX70 (70% bis-cyanopropyl polysilphenylene-siloxane) ขนาด 0.25 mm, ID x 0.25  $\mu$ m, d<sub>f</sub> x 30 m, L อุณหภูมิของคอลัมน์ 180°C อุณหภูมิของ Injector และ Detector 250°C โดยใช้ He เป็นแก๊สตัวพาที่อัตราการไหล 2 mL/min โดยใช้ระบบฉีดสารแบบปล่อยสารทิ้งบางส่วน (Split injection) ต่อกับเครื่องตรวจวัดชนิด FID และเครื่องประมวลผล CBM-102

## วิธีการ

### 1. การเตรียมกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์จากไขรำข้าวดิบ

ซึ่ง CRBW 20 กรัม ใส่ขวดกั้นแบน เติมด้วยเอทานอลปราศจากน้ำที่มี NaOH หรือ KOH ละลายอยู่ 1 - 2.5% (w/v) โดยใช้สัดส่วนโมลของ CRBW ต่อเอทานอลเท่ากับ 1:30 กวนด้วย Magnetic stirrer เก็บตัวอย่างประมาณ 2 mL ทุก 1 นาที นำตัวอย่างที่เก็บได้มาหยุดปฏิกิริยาทันทีด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นล้างด้วยน้ำกลั่น และดูความขุ่นด้วย Sodium sulfate anhydrous เตรียมสารตัวอย่างที่ได้ในโทลูอีน ที่ความเข้มข้น 1000 ppm นำไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วย HPLC เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาโดยพิจารณาจากปริมาณน้ำมันที่หายไป และปริมาณของ FAEE ที่เกิดขึ้น โดยใช้ 0.15% กรดอะซิติก 35% โทลูอีนและ 65% ไอโซออกเทน เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่

### 2. การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของเอทิลเอสเทอร์จาก CRBW ด้วย HPLC

เมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน CRBW ด้วยเอทานอลที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว หยุดปฏิกิริยาด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น จากนั้นกรองแยก FAEE ออกจากตะกอนไขโดยใช้ Buchner Funnel นำ FAEE ที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 4-5 ครั้ง ดูดความขุ่นด้วย Sodium sulfate anhydrous ระบายเอทานอลออก ตั้งตัวอย่างที่ได้ไปละลายในโทลูอีนที่ความเข้มข้น 1000 ppm วิเคราะห์ด้วย HPLC ชะด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ซึ่งประกอบด้วย 0.15% กรดอะซิติก 35% โทลูอีน และ 65% ไอโซออกเทน

### 3. การวิเคราะห์ชนิดของ FAEE จาก CRBW ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี

นำตัวอย่าง FAEE มาละลายในเฮกเซน ฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี พิสูจน์เอกลักษณ์ (Identification) ของกรดไขมันจากค่าเวลาคงค้างของสาร (retention time;  $t_R$ ) ตามวิธีของ Krisnangkura และคณะ (1997) และคำนวณสัดส่วนร้อยละขององค์ประกอบจากพื้นที่ใต้พีค (Peak area) ของสารแต่ละชนิด

### 4. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ FAEE

ค่าไอโอดีน (Iodine value) และค่าซาโปนิฟิเคชัน (Saponification number) คำนวณจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของ FAEE ตามวิธีของ Krisnangkura (1991) ค่าซีเทน (Cetane index) คำนวณตามวิธีของ Lapuerta และคณะ (Inpress)

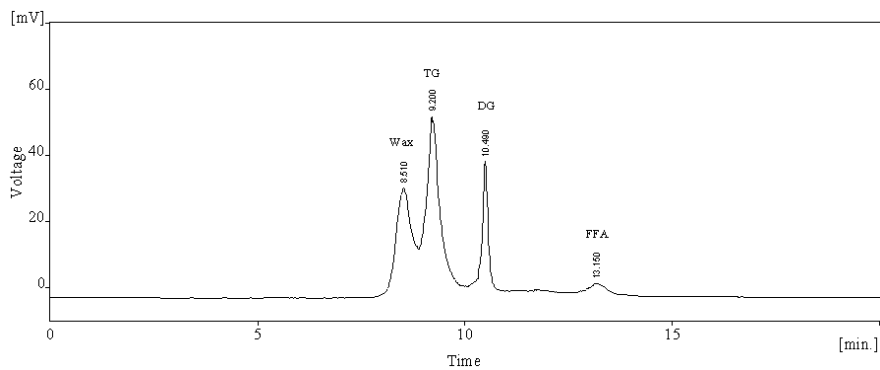
ค่าความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) วิเคราะห์ด้วย Glass viscometer ที่อุณหภูมิ 40°C โดยวัดระยะเวลาที่ FAEE ใช้ในการไหลตามปริมาตรที่กำหนด เทียบกับเวลาที่ใช้ในการไหลของสารมาตรฐาน แล้วคำนวณค่าความหนืดดังสมการ

$$\text{Viscosity} = t_{\text{sample}} \times 5.705 \text{ cSt}/t_{\text{standard}}$$

เมื่อ  $t_{\text{sample}} = \text{Flow time of FAEE (min)}$        $t_{\text{standard}} = \text{Flow time of Standard (min)}$

### ผลการทดลองและวิจารณ์

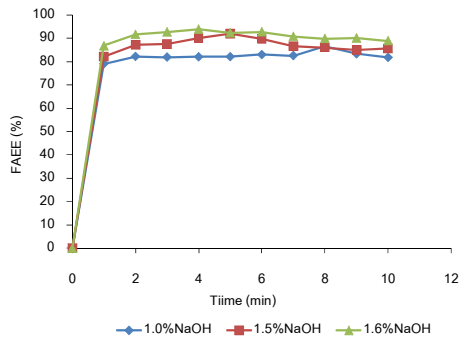
ไขรำข้าวดิบที่ได้จากโรงงานรีไฟน์น้ำมันรำข้าวจะมีน้ำมันปนเปื้อนออกมาด้วยเสมอจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงาน ในงานวิจัยนี้เมื่อนำ CRBW ไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วย HPLC พบว่าประกอบด้วย น้ำมัน (ไตรกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์) 66.67%, แวกซ์เอสเทอร์ 30.7% และกรดไขมันอิสระ 2.63% ดังแสดงในรูปที่ 1



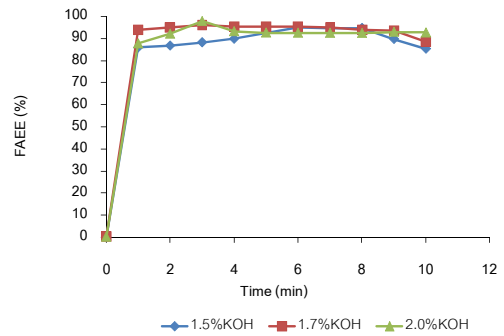
รูปที่ 1 โครมาโตแกรมของ CRBW วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Phenogel ต่อกับเครื่องตรวจวัดชนิด ELSD และใช้กรดอะซิติก: โทลูอีน: ไอโซออกเทน เท่ากับ 0.15: 35: 65 เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่

จะเห็นได้ว่าตัวอย่าง CRBW ประกอบด้วยน้ำมันในปริมาณสูงซึ่งน่าจะสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากความสามารถในการละลายของไขในเมทานอลต่ำกว่าในเอทานอล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เอทานอลในการทำปฏิกิริยา โดยใช้สัดส่วนโมลของไขต่อเอทานอลในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง คือ 1: 30 เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการละลายของไข โดยเลือกทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิห้องเพื่อต้องการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันรำข้าวเท่านั้น

จากการศึกษาผลของชนิดและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้น้ำมันเปลี่ยนไปเป็น FAEE ได้มากขึ้น โดยน้ำมันเปลี่ยนไปเป็น FAEE ได้สูงสุด เมื่อใช้ NaOH หรือ KOH เท่ากับ 1.6% หรือ 2.0% เทียบกับแอลกอฮอล์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 4 และ 3 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2



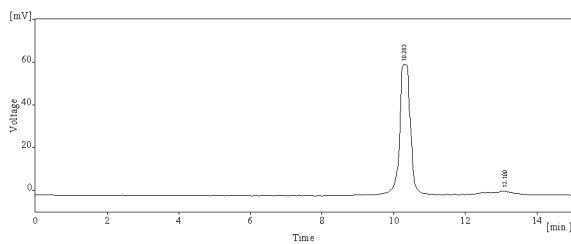
(ก)



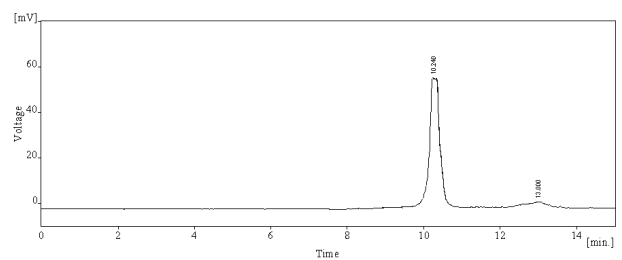
(ข)

รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบปริมาณต่าง (ก) NaOH (ข) KOH ที่ใช้เร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่เวลาต่างๆ

เมื่อปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์แล้วนำมากรองแยก FAEE ออกจากตะกอนไข ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของ FAEE ที่ได้ด้วย HPLC พบว่าเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้ NaOH และ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีความบริสุทธิ์ 95.90% และ 97.96% ตามลำดับ โดยมีกรดไขมันอิสระเป็นสารปนเปื้อนอยู่ใน FAEE ดังแสดงในรูปที่ 3



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 โครมาโตแกรมของ FAEE ที่ใช้ (ก) NaOH (ข) KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (สภาวะการทดลองเดียวกับรูปที่ 1)

เมื่อนำ FAEE ที่ใช้ NaOH และ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามาวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันด้วย GC เปรียบเทียบกับ FAEE ที่เตรียมได้จากน้ำมันรำข้าวรีไฟน์ที่มีขายในท้องตลาด ได้องค์ประกอบของกรดไขมันดังแสดงในตารางที่ 1

จากตารางจะเห็นว่าองค์ประกอบของกรดไขมันที่ได้จาก RBO ให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sinha และคณะ (1) ที่เตรียมกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (Fatty acid methyl ester; FAME) จาก RBO กล่าวคือใน RBO มีกรดโอเลอิก และ ลิโนเลอิกเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีอยู่ ประมาณ 41-43% และ 33-36% ตามลำดับและมีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัว ต่อ กรดไขมันไม่อิ่มตัว 1 ตำแหน่ง ต่อ กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในสัดส่วน ประมาณ 1.0: 2.0: 1.5 ในขณะที่องค์ประกอบของ FAEE ที่ได้จาก RBO ซึ่งเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจาก CRBW มีสัดส่วนของกรดไขมันที่แตกต่างออกไปกล่าวคือ ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว ต่อ กรดไขมันไม่อิ่มตัว 1 ตำแหน่ง ต่อ กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในสัดส่วน 1.0: 0.9: 0.1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในกระบวนการแยก CRBW ออก

จากน้ำมันจะใช้วิธีการตกผลึกไขซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงโดยการลดอุณหภูมิของน้ำมันลง ดังนั้น กรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงซึ่งได้แก่กรดไขมันชนิดอิ่มตัวจึงมีโอกาสตกผลึกร่วมกับไขในอัตราส่วนที่สูงกว่ากรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ(กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว) ทำให้สัดส่วนองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จาก CRBW แตกต่างจาก RBO โดยทั่วไป

**ตารางที่ 1** องค์ประกอบของ FAEE ที่ได้จาก CRBW เทียบกับ FAEE ที่ได้จาก RBO ที่ผ่านการรีไฟน์

Fatty acid	% Composition of FAEE			
	RBW (NaOH)	RBW (KOH)	RBO (NaOH)	FAME from RBO*
Palmitic acid (C <sub>16:0</sub> )	43.43	43.91	21.41	18.8
Stearic acid (C <sub>18:0</sub> )	3.55	4.24	1.18	2.4
Oleic acid (C <sub>18:1</sub> )	43.53	45.89	41.41	43.1
Linoleic acid (C <sub>18:2</sub> )	7.23	3.97	35.50	33.2
Linolenic acid (C <sub>18:3</sub> )	0.94	0.83	0.30	0.6
Arachidic acid (C <sub>20:0</sub> )	1.32	1.17	0.20	0.7
Others				1.2

\*Fatty acid methyl ester of rice bran oil, data from Sinha *et al* (2008)

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีบางประการของ FAEE เมื่อเทียบกับมาตรฐาน EN 14214 ของ FAME แสดงดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีบางประการของ FAEE ที่เตรียมได้เทียบกับไบโอดีเซลมาตรฐาน

Properties	Fatty acid ethyl ester			
	RBW (NaOH)	RBW (KOH)	RBO (NaOH)	Standard biodiesel* (FAME)
Iodine Value (IV)	49.76	46.06	93.02	< 120
Cetane Index (CI)	70.5	71.5	61.4	> 51.0
Kinematic viscosity at 40°C (cSt)	18.95	19.79	4.7	3.5–5.0

\* EN 14214

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า FAEE ที่ได้จาก CRBW มีค่า IV และ CI ได้ตามมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามความหนืดที่ได้ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากใน FAEE ที่เตรียมได้ อาจมีการปนเปื้อนของไขรำข้าว หรือกรดไขมันแอลกอฮอล์สายยาวอิสระเล็กน้อย (ปริมาณต่ำมาก จนไม่สามารถ

ตรวจพบได้ด้วย HPLC ดังโครมาแกรมในรูปที่ 3) ซึ่งมีรายงานว่าสารทั้งสองชนิดแม้ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันเพียงเล็กน้อย (ระดับ 0.1%) ก็ส่งผลอย่างมากต่อการเพิ่มความหนืดของน้ำมัน (Aryasuk และคณะ, 2008)

### สรุปผลและเสนอแนะ

จากการศึกษาการผลิต FAEE จาก CRBW โดยเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่าง NaOH กับ KOH พบว่าการใช้ NaOH และ KOH ที่ปริมาณ 1.6 และ 2.0% (เทียบกับแอลกอฮอล์) มีความเหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง โดยปฏิกิริยาสามารถเกิดได้สมบูรณ์ภายใน 5 นาที ได้ FAEE ที่มีความบริสุทธิ์ 95.90 และ 97.96% ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของ FAEE ที่ได้ด้วย GC พบว่ามีกรดไขมันที่มีความยาวอยู่ในช่วง C<sub>16</sub>-C<sub>20</sub> อะตอม FAEE ที่ได้มีค่า IV และ CI เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด อย่างไรก็ตามความหนืดของ FAEE ที่ได้ยังมีค่าสูงถึง 19.79 และ 18.95 cSt ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนของไขมันหรือกรดไขมันแอลกอฮอล์สายยาวเข้าไปใน FAEE ดังนั้นการเตรียมไบโอดีเซลจาก CRBW เพื่อให้ได้ความหนืดตามมาตรฐานกำหนดจึงอาจปรับปรุงวิธีการโดยการสกัดน้ำมันออกจาก CRBW ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมก่อนนำมาผลิตไบโอดีเซลเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารทั้งสองชนิด

### เอกสารอ้างอิง

- สายสนม ประดิษฐ์ดวง, เนื้อทอง วานานุวัธ และ มณี แสงเงิน, การผลิตไบร่าข้าวบริสุทธิ์, วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย์) 24:496-501 (2533).
- Aryasuk, K., J. Puengtham, S. Lilitchan, N. Jeyashoke, and K. Krisnangkura, Effects of crude rice bran oil components on alkali-refining loss, *Journal of the American Oil Chemists' Society* 85:475-479 (2008).
- Einloft, S., T.O. Magalhaes, A. Donato, J. Dullius, and R. Ligabue, Biodiesel from rice bran oil: Transesterification by Tin compounds, *Energy and Fuels* 22:671-674 (2008).
- Krisnangkura, K., A. Tancharoon, C. Konkao, and N. Jeyashoke, An alternative method for the calculation of equivalent chain length or carbon number of fatty acid methyl esters in gas chromatography, *Journal of Chromatographic Science* 35:329-332 (1997).
- Krisnangkura, K., Estimation of heat of combustion of triglycerides and fatty acid methyl esters, *Journal of the American Oil Chemists' Society* 68:56-58 (1991).
- Lapuerta, M., J. Rodriguez-Fernandez, and E.F. de Mora, Correlation for the estimation of the cetane number of biodiesel fuels and implications on the iodine number, *Energy Policy* In Press, Corrected Proof.
- Lin, L., D. Ying, S. Chaitep, and S. Vittayapadung, Biodiesel production from crude rice bran oil and properties as fuel, *Applied Energy* 86:681-688 (2009).

- Sinha, S., A.K. Agarwal, and S. Garg, Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization, *Energy Conversion and Management* 49:1248-1257 (2008).
- Vali, S.R., Y.-H. Ju, T.N. Kaimal, and Y.-T. Chern, A process for the preparation of food-grad rice bran wax and the determination of its composition, *Journal of the American Oil Chemists' Society* 82:57-64 (2005).