

## การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสแก่ร่วมกับถ่านกัมมันต์

### Production of Biodiesel from Used Vegetable Oil by Strong Base Catalysts Associated with Activated Carbon

ปัญญา มณีจักร\*

Panya Maneechakr\*

\*อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

Faculty of Science, Rangsit University, Phahonyothin Rd., Lak-hok, Pathum Thani 12000, Thailand

\*Corresponding author, E mail: panya.m@rsu.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซล จากน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้ว ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งเบสแก่ร่วมกับถ่านกัมมันต์ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับถ่านกัมมันต์ (NaOH/AC) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับถ่านกัมมันต์ (KOH/AC) ปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันกับเมทานอล 1:15 และ 1:20 โดยใช้ปริมาณ NaOH และ KOH ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิ  $80 \pm 5$  °C เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง แล้วศึกษาลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำมันก่อน และหลังการผลิตไบโอดีเซล จากการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC-FID) พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมัน:เมทานอล 1:20 ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH ร่วมกับถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักน้ำมัน สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 88.35 % ค่าความหนาแน่นเท่ากับ  $872.0 \text{ Kg/m}^3$  ค่าความหนืดเท่ากับ 3.49 cSt ค่ากรดเท่ากับ 0.78 mg KOH/g และค่าไอโอดีนเท่ากับ 2.23 g I<sub>2</sub>/100 g น้ำมันซึ่งค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าไอโอดีนของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นค่ากรด

**คำสำคัญ:** ไบโอดีเซล ตัวเร่งปฏิกิริยารวมตัว ถ่านกัมมันต์

#### Abstract

The aim of this research was to prepare biodiesel from used vegetable oils via transesterification reaction using catalysts-supported activated carbon, sodium hydroxide associated with activated carbon (NaOH/AC) and potassium hydroxide associated with activated carbon (KOH/AC). The molar ratios of oil to methanol were 1:15 and 1:20 with 1, 1.5 and 2 wt% NaOH and KOH of the oil. Temperature was controlled at  $80 \pm 5$  °C and the reaction

time of 3 hours. Physical and chemical properties of oil and biodiesel were studied. Percentage of methyl ester (FAME) was measured from gas chromatography (GC-FID). It was found from GC-FID that the biodiesel gave 88.35% FAME when using the ratio of oil to methanol of 1:20 with 2wt% KOH of the oil. Moreover, the density of 872.0 kg/m<sup>3</sup>, viscosity of 3.49 cSt, free fatty acid concentrations of 0.78 mg KOH/g and iodine number of 2.23 g I<sub>2</sub>/100 g oil were detected. All values except the free fatty acid value followed the standard values.

**Keywords:** *biodiesel, heterogeneous catalyst, Activated carbon*

## 1. บทนำ

เนื่องจากราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และทรัพยากรปิโตรเลียมที่มีอยู่ไม่เพียงพอกับความต้องการ ประกอบกับอัตราการใช้น้ำมันของประเทศไทยค่อนข้างสูง โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลซึ่งใช้สำหรับเครื่องยนต์ในทางเกษตรกรรม ขนส่งบริการ มีอัตราการใช้ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก เนื่องจากประเทศไทยต้องจ่ายเงินมูลค่ามากเพื่อไปซื้อน้ำมันดิบจากต่างประเทศเข้ามาในประเทศไทยในแต่ละปี จึงได้มีการส่งเสริม และสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงทดแทนเพื่อนำมาช่วยแก้ไขปัญหาสถานะน้ำมันแพงในปัจจุบัน ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนชนิดหนึ่งที่มีความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำมันดีเซลและเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด อีกทั้งยังเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ไม่หมดสิ้นไป สามารถสังเคราะห์ได้ง่ายจากพืชผลทางการเกษตร นิยมสังเคราะห์จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ น้ำมันพืชและสัตว์ที่ใช้แล้วก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ควรส่งเสริมในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากเป็นการนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาทำให้เกิดประโยชน์ และยังช่วยลดปัญหาทางด้านสภาพแวดล้อม เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะถูกปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำลำธาร ซึ่งจะก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำส่งผลกระทบต่อสัตว์ที่อาศัยในน้ำ นำไปสู่การสิ้นเปลืองเงินในการบำบัดน้ำเสีย และการบริโภค

อาหารจากน้ำมันพืชที่ใช้ทอดซ้ำกันหลายครั้งอาจส่งผลก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้อีกด้วย

การเลือกใช้น้ำมันพืชมาทำเป็นเชื้อเพลิงทดแทน อาจพบปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะเรื่องความหนืดของน้ำมันพืชที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล อาจทำให้หัวฉีดและกระบอกสูบของเครื่องยนต์เกิดความเสียหาย ดังนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืชด้วยการทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน กับ แอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล การผลิตไบโอดีเซล สามารถผลิตจากน้ำมันพืชที่ผ่านหรือไม่ผ่านการใช้งานก็ได้ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และวิวิธพันธ์ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถใช้ทั้งชนิดกรดและเบส แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดจะต้องใช้อุณหภูมิสูงและใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยา (พรทิมา ทองวิจิตร, 2557) ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดคือไม่ต้องกำจัดกรดไขมันอิสระออกก่อนการทำปฏิกิริยา ซึ่งถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสเมื่อมีกรดไขมันอิสระเป็นจำนวนมากจะทำให้เกิดสบู่ในกระบวนการผลิต จึงต้องกำจัดกรดไขมันออกก่อนเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชไปเป็นน้ำมันซึ่งเป็นสารเมทิลเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่า ไบโอดีเซล ซึ่งจะมีคุณสมบัติอื่น ๆ รวมทั้งความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลจึงสามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลจากพลังงานเชื้อเพลิง

ปิโตรเลียมได้เป็นอย่างดี และจากปฏิกิริยาจะเกิดกลีเซอรอล ซึ่งกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ ใช้ในอุตสาหกรรม เครื่องสำอางและ ยา

การเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และ วิวิหพันธ์ มีความแตกต่างกันในขบวนการสังเคราะห์ ออกจากน้ำมันไบโอดีเซล โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ เอกพันธ์ จะต้องใช้น้ำในปริมาณมากในการทำให้ น้ำมันไบโอดีเซลมีสถานะเป็นกลาง เนื่องจากเกิดการรวมตัวเป็น เนื้อเดียวกัน จึงมีงานวิจัยที่เลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ วิวิหพันธ์ โดยนำตัวเร่งปฏิกิริยาผสมกับตัวรองรับชนิด ต่างๆ เช่น ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (ไชยยันต์ ไชยยะ และคณะ, 2551) อะลูมินา (Agarwal, 2012) ซีโอไลท์ (Srilatha, 2012) เป็นต้น ซึ่งลดการใช้น้ำล้างน้ำมันไบโอดีเซลเป็นจำนวนมาก ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากลูกหวาก (ปัญญา มณีจักร, 2554) เนื่องจากถ่านกัมมันต์การค้าที่ขายในปัจจุบันมีราคา ค่อนข้างสูง จึงมีความคิดที่จะใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก ผลผลิตจากต้นไม้เช่นต้นหวาก เพื่อเพิ่มมูลค่าของลูกหวาก ซึ่งยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก

ได้มีงานวิจัยที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วย (NaOH/AC) (พงศ์สุดา พงษ์อ้อ, 2557) และใช้ปัจจัยต่างๆ ในการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันกับเมทานอล 1:15 และ 1:20 ใช้ ปริมาณ NaOH ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมัน โดย ควบคุมอุณหภูมิที่  $80 \pm 5$  °C เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง (ไชยยันต์ ไชยยะ และคณะ, 2551) วิเคราะห์ ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC-FID) พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชที่ ผ่านและไม่ผ่านการใช้งานได้ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ที่ไม่แตกต่างกัน จึงสามารถใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการ ใช้งานมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้ ซึ่งเป็นการเพิ่ม มูลค่าให้กับน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว นอกจากนี้ยัง

พบว่าไบโอดีเซล ที่ได้จากการใช้ NaOH/AC เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยาสามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซล ได้น้อยกว่าการใช้ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 2 เท่า ทำ ให้ลดปริมาณการใช้น้ำลงซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

ในงานนี้จึงมีแนวคิดที่จะสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส แก่ร่วมกับถ่านกัมมันต์ โดยเปรียบเทียบปริมาณเมทิล เอสเทอร์หรือไบโอดีเซลที่เกิดขึ้น โดย ใช้ตัวเร่ง ปฏิกิริยาชนิดเบสแก่ที่ต่างกันระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีถ่านกัมมันต์ จากลูกหวากอยู่ด้วย และเปรียบเทียบปริมาณเบสที่ใช้ ในการผลิตในอัตราส่วนร้อยละ 1, 1.5 และ 2 โดย น้ำหนักของน้ำมัน จากนั้นจะเปรียบเทียบปริมาณเมทิล เอสเทอร์จากการใช้ปริมาณเมทานอลในอัตราส่วนที่ ต่างกันคือ 1:15 และ 1:20 โดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล สุดท้ายจะศึกษาสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลเช่น ความหนาแน่น และความหนืด และศึกษาสมบัติทางเคมี เช่น ปริมาณกรดไขมันอิสระ, ค่าสะปอนนิฟิเคชัน และ ค่าไอโอดีนัมเบอร์ของ ไบโอดีเซล

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดย ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เบสแก่ร่วมกับถ่านกัมมันต์

2.2 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซล จากตัวเร่งปฏิกิริยาเบสแก่ต่างชนิดกันใน อัตราส่วนต่าง ๆ โดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วยและ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่ต่างกัน

2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้

### 3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 น้ำมันพืชที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำมันปาล์ม ที่ผ่านการใช้งาน การใช้ทอดไก่ ยี่ห้อ ทานตะวัน จากร้านค้าหลังมหาวิทยาลัยรังสิต

3.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) (AR grade, Fluca)

3.1.3 เมทานอล (CH<sub>3</sub>OH) (99.9% Alibaba)

3.1.4 ถ่านกัมมันต์จากลูกหวาง นำลูกหวางมาอบให้แห้งที่ 100 °C เเผาที่อุณหภูมิ 500 °C 2 ชั่วโมง จากนั้นบดและร่อนให้มีขนาด 400 mesh กระจุดด้วย กรดซัลฟูริก 50% โดยมวล อัตราส่วนกรดต่อถ่าน 3:1 โดยมวล เเผาที่อุณหภูมิ 500 °C 1 ชั่วโมง ล้างจนเป็นกลาง อบที่ 100 °C 2 ชั่วโมง (ปัญญา ณีจักร, 2554)

3.1.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Shimadzu GC-17A, FID)

3.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน และน้ำมัน ไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นได้

3.2.1 วิเคราะห์ค่าความหนาแน่น

3.2.2 วิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยเครื่อง viscometer

3.2.3 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน และน้ำมัน ไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นได้

3.2.3.1 วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOAC)

3.2.3.2 วิเคราะห์ค่าสะaponิฟิเคชัน (AOAC)

3.2.3.3 วิเคราะห์ค่าไอโอดีน (EN14111)

3.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

3.3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยามี 2 ชนิด คือ NaOH และ KOH โดยมีถ่านกัมมันต์จากลูกหวาง เป็นอยู่ด้วย ซึ่งเมื่อผสม NaOH และ KOH กับถ่านกัมมันต์ อัตราส่วน 1 : 1 โดยมวลแล้วนำไปอบ ที่ 105°C จนแห้ง

สังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยแปรผันอัตราส่วน โดยโมลระหว่างน้ำมันและเมทานอล 1:15 และ 1:20 จากน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิด NaOH และ KOH ที่มีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วย ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ของน้ำหนักน้ำมัน ซึ่งในแต่ละการทดลอง จะใช้อุณหภูมิ 80 ± 5 °C ความเร็วรอบในการกวนของ ผสม 500 รอบ/นาทีและ เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง

3.3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยตัวเร่งปฏิกิริยา

เติมเมทานอลตามอัตราส่วน และตัวเร่งปฏิกิริยาตามอัตราส่วนต่าง ๆ คนให้เข้ากัน เติมน้ำมันพืชกับผสมเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ ในขวดก้นกลม ขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์การสังเคราะห์ไบโอดีเซล ตามสภาวะที่กำหนด ตั้งของผสมที่ได้ให้เย็น นำของผสมที่ได้ใส่กรวยแยก ตั้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรอล และไขชั้นล่างซึ่งเป็นกลีเซอรอลออก ล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วย น้ำอุ่นอุณหภูมิ 50±5°C เพื่อกำจัดกลีเซอรอลเมทานอลเบส และสิ่งเจือปนออก เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากขั้นตอนนี้มีสีเหลืองขุ่น นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไประเหยน้ำออกด้วย เครื่องอังน้ำ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนเมทิลเอสเทอร์มีสีเหลืองใส เก็บเมทิลเอสเทอร์เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซล ด้วยวิธีมาตรฐาน EN 14103

วิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี รุ่น Shimadzu GC-17A, flame ionization detector (FID) ความยาวของคอลัมน์ (DB wax) 30 m, เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 mm ดีเทกเตอร์แบบ Frame ionization detection (FID) ใช้อุณหภูมิที่ ดีเทกเตอร์ 250 °C ใช้ฮีเลียมเป็นแก๊สพา ด้วยอัตรา 2 mL/min การฉีดสารตัวอย่างกระทำโดยโหมดแยก

(Split mode) ด้วยอัตราการแยกคือ 27 mL/min เพิ่มอุณหภูมิจนเป็น 150 °C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิ 3 °C/min จนถึง 190 °C คงที่เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิ 3 °C/min จนถึง 220 °C คงที่เป็นเวลา 10 นาที

#### 4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

##### 4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน

ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน จะเห็นได้ว่าสีของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม สีเหลืองเข้ม จนถึงสีเหลืองใส มีกลิ่นเหม็นหืน น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้ว ก่อนนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน

สมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งาน			
ค่าความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	ค่าความหนืด (cSt) (25°C)		
933.4	102.5		
สมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งาน			
ค่ากรด (mgKOH/g)	กรดไขมันอิสระ (% FFA)	สะปอนนิฟิเคชัน (mgKOH/g)	ค่าไอโอดีน (g of I <sub>2</sub> /100 g oil)
4.85	2.22	199.34	1.93

น้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการใช้มีค่าความหนาแน่น 921-925 kg/m<sup>3</sup> และมีค่าความหนืด 88.6 cSt ที่ 25 °C จากตารางที่ 1 พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานจะมีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันปาล์มเล็กน้อย เนื่องจากในระหว่างการทอดน้ำมันปาล์มอาจได้รับอุณหภูมิที่สูงเป็นเวลานาน และ

น้ำที่ออกมาจากชิ้นอาหารทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นก่อนให้เกิดกรดไขมันอิสระ กรดไขมันอิสระนี้จะทำให้ค่ากรดของน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น กรดไขมันอิสระจะมีหมู่คาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นหมู่ที่แสดงถึงความมีชีวิตในโมเลกุล เมื่อกรดไขมันอิสระมากขึ้น จะไปเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทำให้น้ำมันมีความหนืดมากขึ้น และส่งผลให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วย (เกิดแรงยึดเหนี่ยวมากขึ้น โมเลกุลอยู่ชิดกันมากขึ้นทำให้กรดไขมันมีมวลรวมมากขึ้น ความหนาแน่นจึงเพิ่มขึ้น) เมื่อกำหนดการวัดความหนาแน่นให้มีปริมาตรคงที่ ส่งผลให้ให้น้ำมันมีความหนาแน่น และความหนืดเพิ่มขึ้น

น้ำมันปาล์มดิบเกรด A ที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน จะต้องมีความสะอาดมีค่าไอโอดีนอยู่ในช่วง 190-209 mg KOH/g ควรมีค่า Free Fatty Acid ไม่เกิน 5% และค่าไอโอดีนน้อยกว่า 200 g I<sub>2</sub>/100 g of oil (Sengpracha, 2012) ซึ่งน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 199.34 mg KOH/g ซึ่งยังคงอยู่ในช่วงของน้ำมันปาล์ม แสดงว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วยังคงมีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ไม่แตกต่างจากน้ำมันปาล์มดิบเกรด A ค่า Free Fatty Acid ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าเท่ากับ 2.22 % ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 1.93 g of I<sub>2</sub>/100 g of oil ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ในการควบคุม แสดงว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีกรดไขมันอิสระที่มีโอกาสเกิดกลิ่นเหม็นหืนปริมาณน้อย สรุปได้ว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานนี้สามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้

##### 4.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ NaOH และ KOH โดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละต่าง ๆ ของน้ำหนักน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลต่าง ๆ ของน้ำมัน: เมทานอล น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน

จะได้ ไบโอดีเซลที่ได้มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีเหลืองเข้ม และใส มีกลิ่นเล็กน้อย

**ตารางที่ 2** ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งาน

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี ถ่านกัมมันต์อยู่ด้วย ร้อยละ โดย น้ำหนักน้ำมัน	อัตราส่วน โดยโมล น้ำมัน: เมทานอล	คุณสมบัติทางกายภาพ	
		ค่าความ หนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	ค่าความ หนืด (cSt)
NaOH ร้อยละ 1	1:15	891.0	17.79
	1:20	893.0	27.50
NaOH ร้อยละ 1.5	1:15	882.0	6.49
	1:20	871.0	3.71
NaOH ร้อยละ 2	1:15	875.0	4.11
	1:20	878.0	3.50
KOH ร้อยละ 1	1:15	866.0	3.88
	1:20	866.0	3.36
KOH ร้อยละ 1.5	1:15	879.0	3.69
	1:20	868.0	3.47
KOH ร้อยละ 2	1:15	872.0	3.45
	1:20	872.0	3.49

พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานเมื่อนำมาผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH และ KOH ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ของน้ำหนักโดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วย อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมัน: เมทานอล 1:15 และ 1:20 จะมีค่าความหนืดลดลงจากค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานจะมีค่าความหนืดเท่ากับ 102.5 cSt ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าเดิม (เดิมเป็นไตรกลีเซอไรด์) ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อยลง จึงส่งผลให้ความหนืดลดน้อยลงด้วย และในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงทำให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับเบสเกิดเป็นสบู่ ดังนั้นปริมาณกรดไขมันอิสระจึงน้อยลง

ความมีขี้ของระบบจึงลดลง เมื่อกรดไขมันอิสระน้อยลง จะไปลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทำให้น้ำมันมีความหนืดลดลง และส่งผลให้ความหนาแน่นลดลงด้วย เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยลง ทำให้มวลห่างกันมากขึ้น ปริมาตรคงที่ ดังนั้นมวลรวมก็น้อยลง ค่าความหนืดซึ่งเป็นค่าที่ระบุคุณสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพของไบโอดีเซล โดยในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งเป็นค่าที่ระบุคุณสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพของไบโอดีเซล โดยในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ โดยกรมธุรกิจพลังงาน ทดสอบด้วยวิธี ASTM D 445 ซึ่งไบโอดีเซลจะต้องมีค่าความหนืดไม่ต่ำกว่า 3.50 cSt และไม่สูงกว่า 5.00 cSt ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยปัจจัยที่ทำการทดลองส่วนมากมีค่าความหนืดเป็นไปตามมาตรฐาน

กรมธุรกิจพลังงานให้กำหนดค่าไอโอดีน โดยทดสอบตามวิธี EN 14111 ซึ่งจะต้องมีค่าไอโอดีนไม่สูงกว่า 120 g I<sub>2</sub>/100 g ซึ่งเป็นค่าที่ระบุคุณสมบัติเบื้องต้นทางเคมีของไบโอดีเซล จากตารางที่ 2 พบว่าการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งาน โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH และ KOH ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ของน้ำหนักน้ำมันที่มีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วย ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมัน: เมทานอล 1:15 และ 1:20 มีค่าไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซล พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทุกปัจจัยที่ทำการทดลองมีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 120 g I<sub>2</sub>/100 g ทุกปัจจัย ค่าไอโอดีนบอกถึงปริมาณกรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของน้ำมัน ซึ่งถ้ามีค่าไอโอดีนสูงก็จะเกิดกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมัน ซึ่งเกิดจากออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาบริเวณพันธะคู่ของกรดไขมัน ซึ่งแสดงว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะมีโอกาสเกิดการเหม็นหืนต่ำ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ โดยน้ำหนักน้ำมัน	อัตราส่วนโดยโมล น้ำมัน:เมทานอล	คุณสมบัติทางเคมี			
		ค่ากรด (mg KOH/g)	กรดไขมัน อิสระ(%w/w)	ค่าไอโอดีน (g of I <sub>2</sub> /100 g oil)	สะปอนนิฟิเคชัน (mg KOH/g)
NaOH ร้อยละ 1	1:15	0.85	0.39	2.33	207.48
	1:20	0.52	0.24	2.33	208.22
NaOH ร้อยละ 1.5	1:15	1.11	0.51	2.25	206.75
	1:20	0.52	0.24	2.40	208.22
NaOH ร้อยละ 2	1:15	0.52	0.24	2.40	207.48
	1:20	0.59	0.27	2.64	207.27
KOH ร้อยละ 1	1:15	0.78	0.36	1.83	200.61
	1:20	0.52	0.24	2.38	199.16
KOH ร้อยละ 1.5	1:15	0.72	0.33	1.99	199.22
	1:20	0.73	0.33	2.46	200.61
KOH ร้อยละ 2	1:15	0.61	0.28	2.07	199.88
	1:20	0.78	0.35	2.23	197.51

จากการทดลองพบว่าค่าสะปอนนิฟิเคชันของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตทุกปัจจัยมีค่าไม่ต่างจากค่าสะปอนนิฟิเคชันของน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วซึ่งมีค่าเท่ากับ 199.34 mg KOH/g ซึ่งค่าสะปอนนิฟิเคชัน จะเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณเอสเทอร์ใน โมเลกุลของน้ำมัน ไขมัน หรือเมทิลเอสเทอร์

ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ลดลงจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งมีค่ากรดไขมันอิสระเท่ากับ 4.58 mg KOH/g เนื่องมาจากในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลการทำปฏิกิริยาโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจึงทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่หลุดออกมาจากไตรกลีเซอไรด์ทำให้เหลือกรดไขมันอิสระน้อยลง ค่าความเข้มข้นกรดจึงลดลง แต่ที่ปริมาณกรดไขมันยังไม่หมดไป อาจเพราะในระบบยังคงมีไตรกลีเซอไรด์อยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเกิดสมดุลปลดปล่อยกรดไขมันอิสระออกมา ค่าของกรดไขมันอิสระที่ได้จึงไม่เป็นไปตามค่าของกรดมาตรฐาน

ASTM D664 ซึ่งกำหนดว่า ไบโอดีเซลจะต้องไม่เกิน 0.5 mg KOH/g

4.3 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (FAME) โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC-FID)

นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานที่ผลิตจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH และ KOH ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ของน้ำหนักโดยมีถ่านถ่านกัมมันต์เป็นอยู่ด้วย อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมัน:เมทานอล 1:15 และ 1:20 นำไปวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ด้วยวิธีมาตรฐาน EN 14103 โดยเทียบค่า Retention time กับ เมทิลเอสเทอร์มาตรฐาน

จากการวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งาน ที่ผลิตได้ทุกปัจจัยพบว่า จะประกอบไปด้วยเมทิลเอสเทอร์ 6 ชนิดคือ C12:0 C14:0 C16:0 C18:0 C18:1 และ C18:2 ซึ่งตรงกับงานวิจัยอื่น (Sengpracha, 2012)

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งาน โดยใช้ KOH ร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วย ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 1:20

Peak NO.	Name	Retention time	Area	%FAME
1	Heptane	2.445	3011026	-
2	C12:0	2.882	8403	0.20
3	C14:0	3.513	27479	0.64
4	C16:0	5.113	1337149	31.21
5	C17:0,	6.517	886606	-
	reference peak			
6	C18:0,	8.304-	1853574	43.26
	C18:1	8.482		
7	C18:2	8.701-	558998	13.05
		8.840		
				88.35

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (FAME) โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี จากการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ NaOH และ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วย และที่อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล 1:15, 1:20 จะเห็นได้ว่าในขณะที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ของน้ำหนักน้ำมัน พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อ เมทานอลเป็น 1:20 จะได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงอัตราส่วน โดย โมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:15 ทุกความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 5 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งาน โดยใช้ NaOH และ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วย

อัตราส่วน โดยโมล น้ำมัน : เมทานอล	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี ถ่านกัมมันต์ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก น้ำมัน)	ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (% FAME)	
		ตัวเร่ง ปฏิกิริยา NaOH $\bar{x} \pm SD$	ตัวเร่ง ปฏิกิริยา KOH $\bar{x} \pm SD$
1:15	1	32.21±0.25	43.06±0.15
	1.5	63.55±0.32	74.85±0.20
	2	81.65±0.27	84.20±0.25
1:20	1	41.52±0.22	78.13±0.31
	1.5	84.94±0.41	87.88±0.19
	2	87.19±0.25	88.35±0.27

เนื่องมาจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่อยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มเมทานอลให้สูงขึ้นจะทำให้ระบบถูกรบกวน สมดุลจะปรับตัวที่สมดุลปริมาณเมทานอลตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์ เกิดผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรอลมากขึ้น อีกสาเหตุหนึ่งที่จะต้องใช้อัตราส่วนของน้ำมันต่อเมทานอลมากกว่า 1:3 โดยโมลทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก จุดเดือดของเมทานอลต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์ ซึ่งทำให้เมทานอลบางส่วนระเหยออกไปจากระบบ จึงทำให้การใช้ น้ำมันต่อเมทานอลอัตราส่วน 1:20 โดยโมลผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้มากกว่าอัตราส่วน 1:15

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (FAME) จากการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ NaOH และ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วย พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH และ KOH ร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำมันสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH และ KOH ร้อยละ 1.5 และร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมัน ตามลำดับ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ

เวลาในการรีฟลักซ์ และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าใช้เวลาในการรีฟลักซ์ให้มากเกินไปจะสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้มากขึ้น และถ้าใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้น ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้มากขึ้นในเวลาที่สั้นลง ซึ่งถ้าค่าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยเกินไปก็จะต้องใช้เวลานานในการรีฟลักซ์ที่มากจึงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอร์ฟิเคชันสมบูรณ์ขึ้น จากการทดลองใช้เวลาในการรีฟลักซ์ครั้งที่ 3 ชั่วโมง แสดงว่าถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH และ KOH ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำมัน จะต้องใช้เวลาในการรีฟลักซ์นานกว่า 3 ชั่วโมง หรือถ้าใช้เวลาในการรีฟลักซ์น้อยกว่า 3 ชั่วโมงจะต้องเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH และ KOH ให้มากขึ้นอีก

จากการทดลองการผลิตเมทิลเอสเทอร์จะพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ KOH จะผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ NaOH ทุกอัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล และทุกความเข้มข้นร้อยละของน้ำหนักน้ำมัน เนื่องมาจากความเป็นเบสของ KOH มากกว่า NaOH เพราะเบสที่มีสารประกอบออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของโลหะสามารถพิจารณาที่ขนาดของโลหะที่อยู่ในหมู่เดียวกัน ความแรงของเบส KOH จะแรงกว่า NaOH เพราะโพแทสเซียมมีขนาดที่ใหญ่กว่า และมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีที่น้อยกว่าโซเดียม จึงทำให้โพแทสเซียมปล่อยไฮดรอกไซด์ได้มากกว่า และแตกตัวได้ดีกว่าโซเดียม จึงเป็นเบสที่แรงกว่า

## 5. สรุปผลการวิจัย

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมัน:เมทานอล 1:20 สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ปริมาณมากกว่าอัตราส่วน 1:15 ทุกความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่มีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วย ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วยที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักน้ำมัน

สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์มากกว่าความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และ 1 โดยน้ำหนักน้ำมัน ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH โดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วยสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ร้อยละของ เมทิลเอสเทอร์มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH ที่มีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วยทุกความเข้มข้น การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH โดยมีถ่านกัมมันต์อยู่ด้วยที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักน้ำมัน และใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมัน:เมทานอล 1:20 สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ร้อยละ 88.35 มีค่าความหนาแน่น 872.0 Kg/m<sup>3</sup> ค่าความหนืด 3.49 cSt ค่ากรด 0.78 mg KOH/g และค่าไอโอดีน 2.23 g I<sub>2</sub>/100 g น้ำมัน ความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าไอโอดีนของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสุรัช กาญจนาคม ที่ช่วยอนุเคราะห์ในการตรวจวิเคราะห์ค่าเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี สาขาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่กรุณาให้ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน

## 7. เอกสารอ้างอิง

ไชยยันต์ ไชยยะ วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์ ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. (2551). การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยการใส่ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์. รายงานการวิจัยโครงการทุนวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ. : 4-23.

ปัญญา มณีจักร. (2555). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูก  
หูกวาง. วารสารวิชาการสมาคมสถาบัน  
อุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย. ปีที่ 18.  
ฉบับที่ 1 กรุงเทพมหานคร. พฤษภาคม 2555:  
119 – 128.

พงศ์สุดา พงอ้อ. (2557). การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน  
พืชที่ใช่แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮ  
ดรอกไซด์บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์. การ  
ประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยีครั้งที่ 2. 21 มีนาคม 2557.  
ปทุมธานี มหาวิทยาลัยรังสิต: 69 – 77.

พรทิมา ทองวิจิตร. (2557). การผลิตไบโอดีเซลจาก  
น้ำมันพืชที่ใช่แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด  
ซัลฟิวริกบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์. การ  
ประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยีครั้งที่ 2. 21 มีนาคม 2557.  
ปทุมธานี มหาวิทยาลัยรังสิต: 61 – 68.

Sengpracha W., Agustin B. M. and Phutdhawong W.  
(2012). A Survey on the Fatty Acid  
Composition of Commercial Palm Oil in  
Thailand. Chemical Science Transactions.  
1(3): 612-617

Agamal M., Chauhan G., Chaurasia S.P. and Singh K. (2012).  
Study of Catalytic Behavior of KOH as  
Homogeneous and Heterogeneous Catalyst for  
Biodiesel Production. Journal of the Taiwan Institute  
of Chemical Engineers. 43 : 89–94

Srilatha. K., Prabhavathi Devi B. L. A., Lingaiah N., Prasad R.  
B. N. and Sai Prasad P.S. (2012). Biodiesel  
Production from used Cooking Oil by Two-step  
Heterogeneous Catalyzed Process. Bioresource  
Technology 119: 306-311