การปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้วโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ และออกแบบการทดลองด้วย Box-Behnken

Improving the Quality of Biodiesel from Used Cooking Oil Using Activated Carbon Adsorption and Box-Behnken Experimental Design

ภัทรวิทย์ กระโจมทอง[1] เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ[2*] เมธี สายศรีหยุด[2] และ อนุสิทธ์ ธนะพิมพ์เมธา[2]

Pattarawit Krajomethong[1] Penjit Srinophakun[2*] Maythee Saisriyoot[2] and Anusith Thanapimmetha[2]

[1]นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900*

[1]Graduate student in Master of Chemical Engineering, Faculty of Engineering Kasetsart University Bangkok Thailand 10900

[2]Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering Kasetsart University Bangkok Thailand 10900*

[*]Corresponding author, E-mail: fengpjs@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้วโดยการดูดซับ โดยการนำน้ำมันที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซลเปรียบเทียบกัน 2 วิธี ได้แก่วิธีปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ ร้อยละ 1 – 3 โดยน้ำหนัก ปริมาณเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 นาที และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส ส่วนวิธีปฏิกิริยาสองขั้นตอน ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกในปริมาณกรดร้อยละ 1 – 2 โดยน้ำหนัก ปริมาณเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ในขั้นตอนที่สองจะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ ร้อยละ 1 – 3 โดยน้ำหนัก ปริมาณเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 นาที และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไบโอดีเซลไปทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยออกแบบการทดลองด้วย Box-Behnken โดยมีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ ปริมาณถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 0.5 – 3.5 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 – 90 นาที อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ 15 – 55 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาสองขั้นตอนมีค่ามากกว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน และในส่วนของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่าสภาวะการดูดซับที่ดีที่สุด คือ ปริมาณถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 38 นาที อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ 56 องศาเซลเซียส สามารถทำให้ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น คือ ค่ากากตะกอนคาร์บอนที่มีค่าลดลงจากร้อยละ 0.812 ไปเป็นร้อยละ 0.448 และค่าเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 94.25 ไปเป็นร้อยละ 96.67

คำสำคัญ: *ไบโอดีเซล ทรานเอสเทอริฟิเคชัน ปฏิกิริยาสองขั้นตอน เมทิลเอสเทอร์ กากตะกอนคาร์บอน*

Abstract

This work studies the improvement of biodiesel from the used of cooking oil using absorption. The used cooking oil was used to produce biodiesel by two methods and the results were compared. The first method was transesterification under conditions of 1-3% potassium hydroxide as the catalyst, 6:1methanol to oil molar ratio, 60 minutes reaction time and 60 ^{o}C temperature. For two-step reaction, at the first step the conditions were 1-2% sulfuric acid as catalyst, 6:1 methanol to oil molar ratio, 60 minutes reaction time and 60 ^{o}C reaction temperature. The conditions at the second step were 1-3% potassium hydroxide as the catalyst, 6:1 methanol to oil molar ratio, 90 minutes reaction time and 60 ^{o}C temperature. It was found that percentage of fatty acid methyl ester in biodiesel production of two-step reaction is higher than transesterification. After that, the Box-Behnken design was performed and three parameters were varied namely 0.5-3.5% activated carbon, 30-90 minutes and 15-55 ^{o}C. It was found that at the optimum absorption conditions of 2% activated carbon, 38 minutes and 56 ^{o}C, the quality of biodiesel improved. It could reduce the carbon residue form 0.812 to 0.448 % and increase fatty acid methyl ester form 94.25% to 96.67%.

Keywords: *Biodiesel, Transesterification process, Two steps catalyzed process, Fatty acid methyl ester, Carbon residue*

1. บทนำ

ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ซึ่งสามารถผลิตได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ สาหร่าย เป็นต้น (Biodiesel, 2015) โดยไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ และไม่มีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Yaakob et al., 2013) ดังนั้นจึงไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล จึงไม่จำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลแต่อย่างใด ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำมันที่ใช้แล้วเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลได้ถึงร้อยละ 60 – 90 อีกทั้งยังเป็นการกำจัดน้ำมันที่ใช้แล้วอีกด้วย (Hama et al., 2013; Zhang et al., 2012) แต่อย่างไรก็ดีน้ำมันที่ใช้แล้วนั้นจะเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการได้รับความร้อนสูงหลายครั้งและสัมผัสกับน้ำในอาหารที่ใช้ทอดทำให้เกิดปฏิกิริยา ไฮโดร-ไลท์ซีส ออกซิเดชัน พอลิเมอร์ไรเซชัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่สามารถระเหยและไม่สามารถระเหยได้ ซึ่งสารประกอบที่สามารถระเหยได้นั้นจะระเหยออกไประหว่างการทอดด้วยความร้อนสูงเหลือเพียงแต่สารประกอบที่ไม่สามารถระเหยได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีในน้ำมัน (Gertz., 2000; Choe & Min., 2007) เช่น ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้กล่าวว่า น้ำมันทอดซ้ำที่เสื่อมคุณภาพจะมีลักษณะหนืดข้นผิดปกติ มีสีดำ เกิดฟองมาก มีกลิ่นเหม็นไหม้ เกิดควันมากขณะทอด (วิทยา กุลสมบูรณ์., 2551) ส่วนน้ำที่ระเหยจากอาหารในระหว่างการทอดจะทำให้เกิดการย่อยสลายของไตรกลีเซอไรด์ที่มีผลให้เกิดกรดไขมันอิสระ กลีเซอรอล โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ (Mittelbach & Enzelsberger., 1999) รวมทั้งยังเกิดสารประกอบมีขั้วที่เกิดจากน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เช่น แอลดีไฮด์ คีโตนและ พอลิเมอร์ เป็นต้น (Gertz., 2000) โดยจะเรียกสารที่เกิดขึ้นจากการ

เสื่อมสภาพของน้ำมันที่ใช้แล้วโดยรวมว่า “สารที่ไม่พึงประสงค์” ปริมาณและชนิดของสารที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดนั้นส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของไบโอดีเซลหรือปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล (Cuesta et al., 1993) สารที่ไม่พึงประสงค์ดังกล่าวจะสามารถกำจัดได้โดยการดูดซับ โดยการดูดซับนั้นสามารถดูดซับสารต่างๆได้หลายประเภท ได้แก่ กรดไขมันอิสระ สี โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ออกซิไดซ์ไตรกลีเซอไรด์ โอลิโกเมอร์ไตรกลีเซอไรด์ (พอลิเมอร์) โดยตัวดูดซับที่ใช้มีหลายชนิดเช่น ถ่านกัมมันต์ ดินฟอกสี ซิลิก้าเจล เป็นต้น (Cvengroš & Cvengrošová., 2004) โดยสภาวะที่ใช้ในการดูดซับและผลิตไบโอดีเซลนั้นจะถูกออกแบบโดยวิธีการทางสถิติ เช่น วิธี Box-behnken เป็นต้น (Baroutian et al., 2011; Charoenchaitrakool & Thienmethangkoon., 2011)

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงคุณภาพไบโอดีเซล ด้วยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับไบโอดีเซล และตรวจสอบคุณสมบัติบางประการของไบโอดีเซล ได้แก่ ค่าความเป็นกรด ค่าความหนืด ค่าเมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Ester, FAME) และค่ากากตะกอนคาร์บอน เป็นต้น ทั้งก่อนและหลังทำการดูดซับ

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 น้ำมันที่ใช้แล้ว

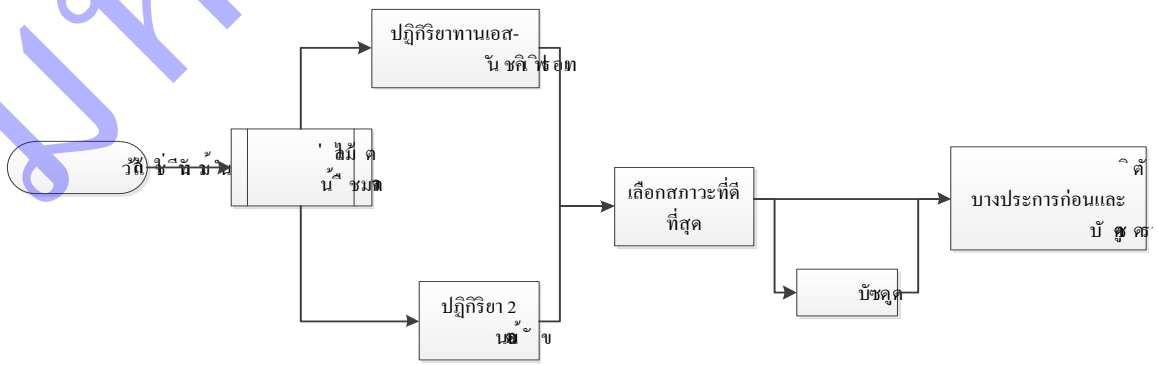
น้ำมันที่ใช้แล้วที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าความเป็นกรดไม่เกิน 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัมน้ำมัน โดยจะต้องทำการกรองเศษอาหารที่ตกค้างอยู่ในน้ำมันออก จากนั้นนำไปไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงก่อนที่จะนำน้ำมันไปทำการผลิตไบโอดีเซลในขั้นตอนต่อไป

3.2 สารเคมี

เมทานอล และนอร์มอลโพรพานอล (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 v/v, Commecial grade, Zen Point) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ความบริสุทธิ์ร้อยละ ≥85, AR grade, Daejung) ถ่านกัมมันต์ (Decolorizing power, AR grade, Panreac) กรดซัลฟิวริก (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98, AR grade, Acl Labscan) ฟีนอฟทาลีน (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99, AR grade, Carlo Erba Reagent)

3.3 วิธีการทดลองในการผลิตไบโอดีเซล

ในการทดลองจะผลิตไบโอดีเซล 2 วิธี คือ วิธีทรานเอสเทอริฟิเคชันและวิธีปฏิกิริยาสองขั้นตอน



รูปที่ 1 ลำดับการทดลอง

3.3.1 ทรานเอสเทอริฟิเคชัน

นำน้ำมันที่ใช้แล้วที่ผ่านการกรองและการต้มไล่ความชื้นแล้วมาชั่งน้ำหนัก 150 กรัม ในฟลาสก์ 3 คอก้นแบน จากนั้นนำมาอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสบนอุปกรณ์ผลิตไบโอดีเซล ชั่งเมทานอลอัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โดยมวลโมเลกุลของน้ำมันจะมีค่าเป็น 866 กรัมต่อโมล ใส่ลงใน บีกเกอร์ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 1 - 3 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำเมทานอลที่ผสมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เทลงใน ฟลาสก์ 3 คอ โดยใช้สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จำนวนรอบในการกวน 600 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที เมื่อน้ำมันทำปฏิกิริยาครบตามเวลาที่ กำหนดแล้ว ให้นำสารผสมที่ได้นั้นมาใส่กรวยแยกสารขนาด 500 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้จนกว่าจะเกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นของไบโอดีเซลและชั้นของกลีเซอรอล จากนั้นนำเฉพาะ ไบโอดีเซลมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าค่าความเป็นกรดด่างของน้ำล้างจะมีค่าเท่ากับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำกลั่นที่มีค่าอยู่ที่ 6.5 และนำไบโอดีเซลที่ได้หลังจากการไล่ความชื้นไปตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ เช่น ค่าความเป็นกรด ค่าความหนืด ค่าเมทิลเอสเทอร์ และค่ากากตะกอนคาร์บอน ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน (กรมธุรกิจพลังงาน., 2556)

3.3.2 ปฏิกิริยาสองขั้นตอน

ขั้นตอนในการทำปฏิกิริยาเริ่มจากนำน้ำมันที่ใช้แล้วที่ผ่านการกรองและการไล่ความชื้นมาชั่งน้ำหนัก 150 กรัม จากนั้นนำมาอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ชั่งเมทานอลอัตราส่วนโมล เมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ใส่ลงในบีกเกอร์ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกอยู่ในช่วงร้อยละ 1 – 2 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำเมทานอลที่ผสมกับกรดซัลฟิวริกเทลงในฟลาสก์ 3 คอ โดยใช้สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จำนวนรอบในการกวน 600 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที เมื่อทำปฏิกิริยาครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว ให้นำสารผสมที่ได้นั้นมาใส่กรวยแยกสารขนาด 500 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้จนกว่าจะเกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันและเมทานอล จากนั้นนำเฉพาะน้ำมันมาล้างด้วยน้ำกลั่น นำน้ำมันไปต้มไล่ความชื้นและนำไปทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันตามหัวข้อที่ 3.3.1

3.3.3 การดูดซับไบโอดีเซล

นำไบโอดีเซลที่ได้จากสภาวะที่ดีที่สุดมาทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ชนิดผงละเอียด โดยในการดูดซับนี้จะมีตัวแปรในการดูดซับ 3 ตัว ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ ร้อยละ 0.5 – 3.5 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 15 – 55 นาที อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ 30 – 90 องศาเซลเซียส และออกแบบการทดลองโดยวิธีการทางสถิติแบบ Box-Behnken ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลำดับการทดลอง 3 ตัวแปรแบบ Box – Behnken

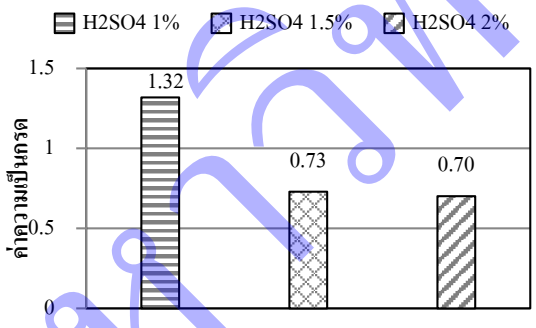
ลำดับการทดลอง	ปริมาณตัวดูดซับ(ร้อยละโดย นน.)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	เมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละ)
1	0.5	90	35	83.819
2	3.5	90	35	83.335
3	0.5	60	15	80.263
4	2	30	15	95.626
5	2	60	35	95.641
6	3.5	60	15	81.924

ดับการทดลอง	ปริมาณตัวดูดซับ(ร้อยละโดย นน.)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	เมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละ)
7	2	60	35	96.248
8	2	30	55	89.598
9	0.5	30	35	91.053
10	2	90	15	92.560
11	2	60	35	98.703
12	0.5	60	55	83.891
13	3.5	60	55	92.658
14	3.5	30	35	81.713
15	2	90	55	91.688

4. ผลการวิจัย

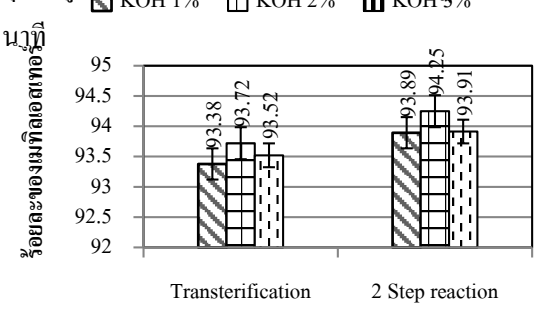
4.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตไบโอ-ดีเซลด้วยวิธีทรานเอสเทอริฟิเคชันและปฏิกิริยาสองขั้นตอน

หลังจากศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาสองขั้นตอน โดยกำหนดช่วงสภาวะที่ใช้กรดตั้งแต่ร้อยละ 1 – 2 โดยน้ำหนักน้ำมันแล้วนำไปทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันต่อตามหัวข้อที่ 3.3.1 ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลของความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยากรดที่มีต่อค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ ในขั้นตอนที่หนึ่งของปฏิกิริยาสองขั้นตอน

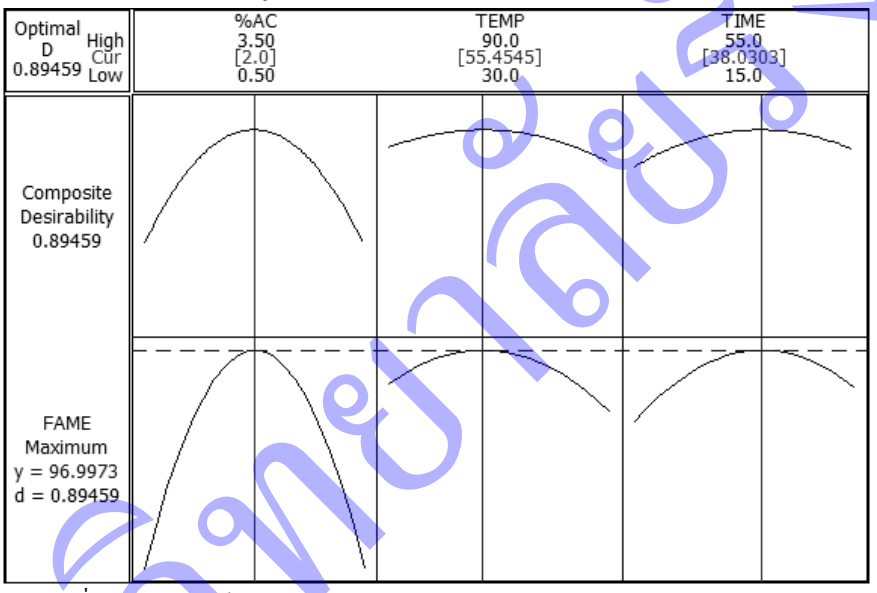
พบว่าการใช้กรดร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักน้ำมันในขั้นตอนทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันจะได้ค่าความเป็นกรดใกล้เคียงกับการใช้กรดร้อยละ 2 ดังนั้นจึงเลือกน้ำมันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณร้อยละ 1.5 จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาต่อในขั้นตอนที่สอง รูปที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1, 2 และ 3 เปรียบเทียบกับปฏิกิริยาสองขั้นตอน ที่ใช้กรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.5 ในขั้นตอนที่หนึ่ง และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1, 2 และ 3 ในขั้นตอนที่สอง ผลการทดลองพบว่า ปฏิกิริยาสองขั้นตอนจะมีค่าเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าปฏิกิริยาทราน-เอสเทอริฟิเคชันที่ทำปฏิกิริยาเพียงขั้นตอนเดียวในทุกความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา เห็นได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไบโอดีเซลคือ ปฏิกิริยาสองขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรก ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.5 อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที ส่วนในขั้นตอนที่สอง ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 2 อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 90 นาที



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าเมทิลเอสเทอร์

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับโดยวิธีการทางสถิติ

จากการทดลองการดูดซับไบโอดีเซลที่ได้จากข้อ 4.1 ตามสภาวะที่ได้รับการออกแบบจาก Box-Behnken แล้วนำไปตรวจสอบค่าเมทิลเอสเทอร์ ให้ผลดังตารางที่ 1 พบว่าสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไบโอดีเซลทางสถิติได้ ดังรูปที่ 4 ได้แก่ ปริมาณของตัวดูดซับจะเท่ากับร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 56 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ 38 นาที ให้ค่าเมทิลเอสเทอร์ หลังการดูดซับร้อยละ 98.7 จากค่าเริ่มต้นที่มีค่าร้อยละ 94.57 โดยปริมาณไบโอดีเซลที่สูญเสียไประหว่างการดูดซับอยู่ประมาณร้อยละ 10 ซึ่งไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับจะถูกนำไปเปรียบเทียบคุณสมบัติบางประการกับไบโอดีเซลที่ไม่ได้ผ่านการดูดซับต่อไป



รูปที่ 4 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับไบโอดีเซล

4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลก่อนและหลังทำการดูดซับ

4.3.1 ค่าความหนืด

ค่าความหนืดซึ่งเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงความสามารถในการไหลของไบโอดีเซล และการตารางกระจายตัวเมื่อผ่านหัวฉีด ที่สามารถส่งผลกระทบต่อหัวฉีดและเครื่องยนต์ (Ferrari *et al*., 2011) โดยจากการเปรียบเทียบค่าความหนืดทั้งก่อน และหลังทำการดูดซับจากตารางที่ 2 พบว่าค่าความหนืดทั้งก่อนและหลังทำการดูดซับผ่านคุณภาพตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานที่ระบุไว้ว่าจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 3.5 และไม่สูงเกิน 5 cSt โดยค่าความหนืดหลังจากผ่านการดูดซับแล้วนั้นมีค่าเท่ากับ 4.513 cSt ซึ่งมีค่าที่น้อยกว่าค่าความหนืดก่อนการดูดซับที่มีค่า 4.586 cSt

ตารางที่ 2 ค่าคุณสมบัติต่างๆของไบโอดีเซลก่อนและหลังทำการดูดซับ

	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ค่ามาตรฐาน	วิธีตรวจสอบ	หน่วย
ความเป็นกรด	0.366116	0.337335	0.5	ASTM D664	ก. KOH/ ก. น้ำมัน
ความหนืด	4.586404	4.51322	3.5 - 5	ASTM D 445	cSt
เมทิลเอสเทอร์	94.24961	96.66992	>96.5	EN 14103	ร้อยละโดยมน.
ค่ากากตะกอนคาร์บอน	0.812	0.448	0.3	ASTM D4530	ร้อยละโดยมน.

4.3.2 ค่าความเป็นกรด

ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงผลกระทบต่อการกัดกร่อนของหัวฉีดและเครื่องยนต์ และตะกอนในเครื่องยนต์ (Ferrari *et al*., 2011) เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดทั้งก่อนและหลังทำการดูดซับ พบว่าค่าทั้งก่อนและหลังทำการดูดซับผ่านคุณภาพตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดว่าต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัมน้ำมัน โดยค่าความเป็นกรดก่อนผ่านการดูดซับและหลังการดูดซับนั้นนั้นมีค่าเท่ากับ 0.366 และ 0.337 มิลลิกรัมโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์/กรัมน้ำมัน ตามลำดับ

4.3.3 ค่ากากตะกอนคาร์บอน

ค่ากากตะกอนคาร์บอนซึ่งเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงปริมาณคาร์บอนโมเลกุลที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งสารที่มีผลกระทบต่อค่ากากตะกอนคาร์บอนได้แก่ กรดไขมันอิสระ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตกค้าง สบู่ กลีเซอไรด์ที่ทำปฏิกิริยาบางส่วนหรือไม่ทำปฏิกิริยาและพอลิเมอร์ (Kulkarni & Dalai., 2006; Phan & Phan., 2008) ถ้ามีค่ากากตะกอนคาร์บอนมากเกินมาตรฐานจะส่งผลกระทบต่อการอุดตันของหัวฉีดและเครื่องยนต์ จากตารางที่ 2 พบว่าค่ากากตะกอนคาร์บอนทั้งก่อนและหลังทำการดูดซับยังไม่ผ่านคุณภาพตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานซึ่งกำหนดค่าไว้ที่ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก โดยค่ากากตะกอนก่อนการดูดซับเป็นร้อยละ 0.812 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าที่มากกว่าค่ากากตะกอนหลังการดูดซับที่มีค่าร้อยละ 0.448 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความแตกต่างกันถึงร้อยละ 44.82

4.3.4 ค่าเมทิลเอสเทอร์

เมทิลเอสเทอร์เป็นค่าคุณสมบัติที่บ่งบอกว่าไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์โดยสารประกอบที่มีผลต่อค่าเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ สเตรอล แอลกอฮอล์ที่ตกค้าง กลีเซอรอลและกลีเซอไรด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา (Ferrari *et al*., 2011) จากตารางที่ 2 พบว่าค่าเมทิลเอสเทอร์ก่อนและหลังทำการดูดซับมีค่าเท่ากับร้อยละ 94.25 และ 96.67 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอยู่ร้อยละ 2.42 แสดงให้เห็นว่าการดูดซับไบโอดีเซลสามารถทำให้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์มากขึ้นซึ่งจะช่วยยืนยันค่าคุณสมบัติอื่นๆ ที่ดีขึ้นได้เพราะสารที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติเหล่านั้นได้ถูกดูดซับออกไป อีกทั้งการดูดซับยังช่วยให้ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติผ่านคุณภาพมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดไว้

5. การอภิปรายผล

จากการผลิตไบโอดีเซลพบว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อค่าเมทิลเอสเทอร์เพราะถ้าใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์มีผลให้เมทิลเอสเทอร์มีค่าต่ำ แต่ในทางกลับกันถ้าใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไปจะทำให้เกิดสบู่ หากกำจัดสบู่ไม่หมดจะทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีความบริสุทธิ์ต่ำ (Yaakob *et al*., 2013; Kulkarni & Dalai., 2006; Agarwal., 2007)

การที่ปฏิกิริยาสองขั้นตอนมีค่าเมทิลเอสเทอร์มากว่าปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันนั้นเนื่องมาจากการลดลงของกรดไขมันอิสระเพราะการที่มีกรดไขมันอิสระอยู่ในวัตถุดิบมากจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับตัวเร่งเบสทำให้เกิดสบู่ ส่งผลให้ผลิตไบโอดีเซลได้น้อยลง (Ramadhas *et al*., 2005)

การออกแบบการทดลองสามารถช่วยในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยปริมาณตัวดูดซับน้อยเกินไป จะทำให้สารไม่พึงประสงค์ที่อยู่ในไบโอดีเซลถูกดูดซับออกไปได้ไม่หมด สอดคล้องกับผลการทดลองของ (Hongsamart *et al*., 2013) ในทางกลับกันถ้าใช้ปริมาณตัวดูดซับมากเกินไปจะทำให้เมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลถูกดูดซับเข้าไปใน

ถ่านกัมมันต์ด้วย ค่าเมทิลเอสเทอร์จึงมีค่าลดลงในส่วนของอุณหภูมิจะสามารถสังเกตได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราและประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับดีขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อถึงจุดๆหนึ่งที่อุณหภูมิสูงมากเกินไปจะทำให้อัตราและประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับมีค่าลดลงจึงทำให้สารไม่พึงประสงค์ถูกดูดออกไปจากไบโอดีเซลได้ไม่ดีพอ ซึ่งสังเกตได้จากคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงและผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับจากการสังเกตพบว่าจะคล้ายกับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปริมาณตัวดูดซับ โดยถ้าใช้เวลาในการดูดซับที่สั้นเกินไปหรือนานเกินไปจะทำให้สารไม่พึงประสงค์ถูกดูดออกไปได้ไม่เต็มหรือทำให้เมทิลเอสเทอร์ถูกดูดซับไปด้วย (Hongsamart *et al*., 2013)

ในส่วนคุณสมบัติของไบโอดีเซลนั้นแสดงให้เห็นว่าการดูดซับนั้นสามารถช่วยทำให้ค่าความหนืดลดลง ซึ่งในงานวิจัยของ (Agarwal., 2007; Park & Ming., 2004)ได้กล่าวว่าปริมาณพอลิเมอร์ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสารไม่พึงประสงค์จะมีผลกระทบโดยตรงต่อค่าความหนืด (Kulkarni & Dalai., 2006; Park & Ming., 2004) อีกทั้งถ่านกัมมันต์ยังดูดซับกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่โดยโมเลกุลของกรดไขมันอิสระจะถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนของถ่านกัมมันต์เหมือนกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ไตรกลีเซอไรด์ที่ถูกดูดซับไปก่อนหน้านี้ ซึ่งงานวิจัยของ (Yates and Caldwell., 1992) ได้ระบุไว้ว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระซึ่งมีผลต่อค่าความเป็นกรด นอกจากนี้การดูดซับนั้นยังช่วยดูดซับสารที่มีผลกระทบต่อค่ากากตะตอนคาร์บอน เช่น คาร์บอนโมเลกุลหนัก กลีเซอไรด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาเป็นไบโอดีเซล กรดไขมันอิสระ และพอลิเมอร์ได้ จึงเห็นได้ว่าค่ากากตะกอนคาร์บอนมีค่าลดลงหลังการดูดซับ

6. บทสรุป

เมื่อทำการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันและปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตจากปฏิกิริยาสองขั้นตอนที่สภาวะขั้นตอนที่หนึ่ง ใช้แอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 6:1 กรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และในขั้นตอนที่สองใช้แอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 6:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เวลา 90 นาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไบโอดีเซลที่ได้ไปทำการดูดซับกับถ่านกัมมันต์จะได้สภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณของตัวดูดซับร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 56 องศาเซลเซียส เวลา 35 นาที พบว่าค่าความหนืดลดลงจาก 4.586 cSt ไปเป็น 4.513 cSt ค่าความเป็นกรดลดลงจาก 0.366 ไปเป็น 0.337 มิลิกรัม KOH/กรัมน้ำมัน และค่ากากตะกอนคาร์บอนลดลงจากร้อยละ 0.812 ไปเป็นร้อยละ 0.448 โดยน้ำหนัก ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 94.25 ไปเป็นร้อยละ 96.67 แสดงว่าการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของไบโอดีเซลให้ดีขึ้นได้ แต่จำเป็นต้องหาวิธีปรับปรุงค่ากากตะกอนคาร์บอนเพิ่มเติมเพื่อให้ผ่านค่ามาตรฐานที่ร้อยละ 0.3 ต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการเคยูไบโอดีเซล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสารเคมี สถานที่ห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือในการตรวจสอบค่ามาตรฐานต่างๆ

8. เอกสารอ้างอิง

กรมธุรกิจพลังงาน. (2556). กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภท

เมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน. ค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2558. เว็บไซต์ http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/E/158/ 15.PDF

วิทยา กุลสมบูรณ์ (2551). ปฏิวัติน้ำมันทอด.แผนงานคุ้มครองผู้บริโภคด้านสุขภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2558. เว็บไซต์ http://www.noasbestos.org/hcp/images/mydata/work/Rev_oil/revolution_oil.pdf

Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science, 33(3), 233–271.

Baroutian, S., Shahbaz, K., Mjalli, F. S., Alnashef, I. M., & Hashim, M. A. (2012). Adsorptive removal of residual catalyst from palm biodiesel: application of response surface methodology. Chemical Industry.

Biodiesel. org. (2015). Biodiesel is. Retrieved November 1, 2015. from http://biodiesel.org/docs/default-source/ffs-basics/ biodiesel-myths-vs-facts.pdf?sfvrsn=16

Charoenchaitrakool, M., & Thienmethangkoon, J. (2011). Statistical optimization for biodiesel production from waste frying oil through two-step catalyzed process. Fuel Processing Technology, 92(1), 112–118.

Choe, E., & Min, D. B. (2007). Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. Journal of Food Science, 72(5), R77–R86.

Cuesta, C., Sánchez-Muniz, F. J., Garrido-Polonio, C., López-Varela, S., & Arroyo, R. (1993). Thermoxidative and hydrolytic changes in sunflower oil used in fryings with a fast turnover of fresh oil. Journal of the American Oil Chemists Society, 70(11), 1069–1073.

Cvengroš, J., & Cvengrošová, Z. (2004). Used frying oils and fats and their utilization in the production of methyl esters of higher fatty acids. Biomass and Bioenergy, 27(2), 173–181.

Ferrari, R. A., Turtelli Pighinelli, A. M., & Park, K., (2011). Biodiesel Production and Quality, Biofuel's Engineering Process Technology, 221 – 240.

Gertz, C. (2000). Chemical and physical parameters as quality indicators of used frying fats. European Journal of Lipid Science and Technology, 102(8-9), 566–572.

Hongsamart, P., Tangkananurak, N., Karnasuta, S., Tangkananurak, K., & Punsuvon, V. (2013). Biodiesel purification using bio-absorbent for KUB-200 biodiesel plant. (p. P34). Kasetsart University.

Kulkarni, M. G., & Dalai, A. K. (2006). Waste cooking oil - An economical source for biodiesel: A review. Industrial and Engineering Chemistry Research, 45(9), 2901–2913.

Hama, S., Yoshida, A., Tamadani, N., Noda, H., & Kondo, A. (2013). Enzymatic production of biodiesel from waste cooking oil in a

packed-bed reactor: An engineering approach to separation of hydrophilic impurities. Bioresource Technology, 135, 417–421.

Mittelbach, M., & Enzelsberger, H. (1999). Transesterification of heated rapeseed oil for extending diesel fuel. Journal of the American Oil Chemists' Society, 76(5), 545–550.

Park, E. Y., & Ming, H. (2004). Oxidation of rapeseed oil in waste activated bleaching earth and its effect on riboflavin production in culture of Ashbya gossypii. Journal of Bioscience and Bioengineering, 97(1), 59–64.

Phan, A. N., & Phan, T. M. (2008). Biodiesel production from waste cooking oils. Fuel, 87(17–18), 3490–3496.

Ramadhas, A. S., Jayaraj S., & Muraleeharan C. (2005). Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. Fuel, 84: 335-340.

Yaakob, Z., Mohammad, M., Alherbawi, M., Alam, Z., & Sopian, K. (2013). Overview of the production of biodiesel from Waste cooking oil. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 18, 184–193.

Yates, R.A., & Caldwell, J.D. (1992). Adsorptive capacity of active filter aids for used cooking oil. JAOCS, 69(9), 894-897.

Zhang, Y., Bao, X., Ren, G., Cai, X., & Li, J. (2012). Analysing the status, obstacles and recommendations for WCOs of restaurants as biodiesel feedstocks in China from supply chain' perspectives. Resources, Conservation and Recycling, 60, 20–37.