



กระบวนการผลิตและการประเมินต้นทุนไบโอดีเซลที่ผ่านการเร่ง ปฏิกิริยาด้วยสนามไฟฟ้า และการทำความสะอาดแบบแห้ง Production and Cost Appraisal of Biodiesel Activated by Electric Field and Dry-Washing

ศุภกฤษณ์ งามเมือง ธรนีสวรรค์ ดีทยาาท* และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

Supakrit Ngammuang, Thoranis Deethayat* and Tanongkiat Kiatsirirot

ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

Thermal System Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Engineering, Chiang Mai University

239 Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai, Thailand, 50200

*E-mail: thoranisdee@gmail.com, Fax 053 944145

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงกระบวนการผลิต และการประเมินต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล ที่ผ่านการทำความสะอาดแบบแห้งซึ่งไม่ใช้น้ำล้าง วัตถุดิบจะมาจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ปริมาณเริ่มต้น 1,000 cc มาทำปฏิกิริยากับเมทานอล 250 cc โดยมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 8.7 g เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารละลายทั้งหมดถูกนำมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 60°C และนำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ในปฏิกรณ์ที่มีการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV (a.c.) เป็นเวลา 10 นาที พลังงานจากไฟฟ้า 0.069 kWh/liter ของไบโอดีเซลที่ผ่านการล้าง จะได้เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยปริมาณเมทิลเอสเทอร์สามารถแยกออกมาได้ประมาณ 1,073 cc และกลีเซอรอลประมาณ 147 cc เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะนำไปทำความสะอาด โดยใช้สารดูดซับ 2 ชนิด ได้แก่ แอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกตและซิลิกาเจล ดูดซับสารตกค้างที่มีอยู่ในเมทิลเอสเทอร์ และเปรียบเทียบกับผลและต้นทุนที่ได้จากการล้างด้วยน้ำ

เมทิลเอสเทอร์ก่อนการล้าง 1,000 cc มีค่า pH ประมาณ 9-10 จะถูกทำความสะอาดจนมีค่า pH ประมาณ 7 กรณีที่ใช้น้ำล้าง จะใช้ปริมาณน้ำ 2 liter ต่อเมทิลเอสเทอร์ 1 liter ในกรณีของสารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต จะใช้สารดูดซับปริมาณ 10 g ผสมลงในน้ำมัน และทำการกวนเป็นเวลา 120 นาที สำหรับกรณีสารดูดซับซิลิกาเจลจะแบ่งเป็นการทดสอบ 2 วิธี คือแบบที่มีการกวนจะใช้ปริมาณสารดูดซับ 80g และทำการกวนเป็นเวลา 70 นาทีจนน้ำมันมี pH เท่ากับ 7 และแบบแช่ในเบดซิลิกาเจลโดยใช้สัดส่วน สารดูดซับ 1 kg ต่อไบโอดีเซล 500 cc ทำการแช่ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้ค่า pH เท่ากับ 7 สมบัติหลักทางเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่าความร้อน ความหนืด และจุดวาบไฟ พบว่าไม่แตกต่างกันหลังจากผ่านการล้างแบบใช้น้ำและไม่ใช้น้ำ ส่วนผลการประเมินต้นทุนพบว่าราคาต้นทุนไบโอดีเซล เมื่อรวมราคาน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่ 16.67 Baht/liter ของไบโอดีเซลที่ผ่านการล้าง มีค่า 27.05, 28.44, 36.89 และ 36.80 Baht/liter ของไบโอดีเซลที่ผ่านการล้าง ในกรณีที่ล้างด้วยน้ำ การล้างแบบแห้งโดยใช้สารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต การใช้สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีการกวน และการแช่น้ำมันในเบดสารดูดซับ ตามลำดับ

ABSTRACT

This study presented production process and estimated cost of biodiesel with dry washing. The feedstock came from 1,000 cc used cooking oil which reacted with 250 cc methanol and 8.7 g KOH catalyst. All the solution was heated up to 60°C and let the trans-esterification process occurred in a glass reactor activated by an electric field having 10 kV (a.c.) supply voltage for 10 min. The products with the supplied electrical energy of 0.069 kWh/liter of washed biodiesel were methyl ester or biodiesel and glycerin of which the amounts were 1,073 and 147 cc, respectively. The methyl ester was separated and dry washed by 2 absorbents, ammonium- magnesium silicate and silica gel. The absorbents adsorbed the contaminants and the moisture in the oil. The quality and the cost of produced biodiesel were compared with those from water washing.

Methyl ester before washing at the amount of 1,000 cc had a pH of around 9-10. By water washing, to get pH value of 7, 2 liter of water was conducted. For adsorption, 10 g ammonium-magnesium silicate was mixed in the methyl ester and the solution was agitated for 120 min. For silica gel, two methods of adsorption were performed. The first one, 80 g silica gel was mixed with the oil and the period for agitation was 70 min. Another method was to keep methyl ester in a bed of silica gel with a ratio of 1 kg adsorbent to 500 cc oil. With the holding time of 1 h, the pH of the oil was 7. The main fuel properties of the cleanup oils from the different washings such as the heating value, the viscosity and the flash point were very similar. The cost of produced biodiesel including the used cooking oil feedstock of 16.67 Baht/liter were 27.05, 28.44, 36.89 and 36.80 Baht/liter of washed biodiesel for water washing, dry washing with ammonium-magnesium silicate, silica gel with agitating and oil holdup in silica gel bed, respectively.

1. บทนำ

น้ำมันพืชสามารถนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล ช่วยทดแทนและลดการใช้ น้ำมันดีเซล โดยอาจอยู่ในรูปของน้ำมันพืชดิบ [1] หรือในรูปเมทิลเอสเทอร์ หรือไบโอดีเซลซึ่งเป็นผลผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ คือ เมทานอล เอทานอล ภายใต้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification Process) [2] โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) กรดหรือเบสซึ่งในรูปแบบหลังจะเป็นที่นิยมใช้ เนื่องจากสมบัติของน้ำมันใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม หลังจากปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ น้ำมันที่ได้ จะประกอบด้วยสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น กลีเซอรินอิสระ สบู่ เมทานอล กรดไขมันอิสระ สารเร่งปฏิกิริยา น้ำและกลีเซอรอล ซึ่งจะต้องทำการล้างเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ในไบโอดีเซล ก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ [3, 4]

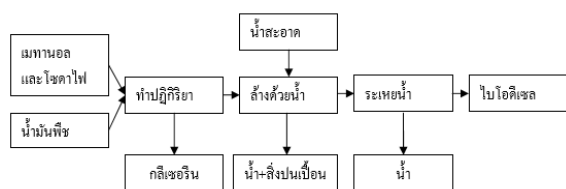
ขั้นตอนในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการนำน้ำมันพืช มาผสมกับเอทานอล และ KOH มีการให้ความร้อนจนสารมีอุณหภูมิราว 60°C จากนั้นจะปล่อยให้

เกิดปฏิกิริยา ซึ่งพบว่าจะต้องใช้เวลานานหลายชั่วโมง ได้มีงานวิจัย [5] ซึ่งพบว่าการใช้สนามไฟฟ้าสามารถเร่งปฏิกิริยาในการแยกไบโอดีเซล และกลีเซอริน ภายในเวลาไม่กี่นาที และใช้กำลังไฟฟ้าในกระบวนการต่ำมาก

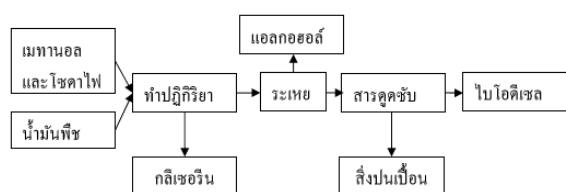
ในการทำความสะดวกไบโอดีเซล วิธีการที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือ การล้างด้วยน้ำ (water washing) [6] เช่น การสเปรย์น้ำด้วยความเร็วต่ำลงบนไบโอดีเซล สารจำพวก แอลกอฮอล์ สบู่ และสารเร่งปฏิกิริยาจะละลายปนไปกับน้ำทำให้ส่วนที่เป็นไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น จากนั้นไบโอดีเซลที่ผ่านการล้าง จะถูกนำไปต้มระเหย เพื่อดึงน้ำที่ยังตกค้างออกให้หมด อย่างไรก็ตาม การล้างด้วยน้ำไม่สามารถขจัดมลทินบางชนิดออกได้หมด เช่น ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส และกรดไขมันต่างๆ ที่หลงเหลืออยู่ นอกจากนี้ วิธีการล้างด้วยน้ำ ก็มีข้อเสียหลายประการ ได้แก่ ระยะเวลาในการล้าง รวมถึงการใช้ น้ำเป็นปริมาณ มาก ขั้นตอนในการล้างด้วยน้ำแสดงในรูปที่ 1

ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาการล้างไบโอดีเซลหลังปฏิกิริยาด้วยกระบวนการดูดซับ (adsorption) [3] ดังแสดงในรูปที่ 2 ตัวอย่างของสารดูดซับ (adsorbent)

ได้แก่ ผงแมกนีเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมอะลูมินาซัลเฟต แคลเซียมซัลเฟต โซเดียมซัลเฟต ถ่านกัมมันต์ ซิลิกาเจล และอะลูมินา เป็นต้น สารดูดซับเหล่านี้ เมื่อสัมผัสกับไบโอดีเซล จะดูดซับสิ่งเจือปนต่าง ๆ รวมถึงความชื้นที่ตกค้าง ทำให้ได้ไบโอดีเซลที่สะอาดมากขึ้น



รูปที่ 1 วิธีการล้างด้วยน้ำ



รูปที่ 2 วิธีล้างแบบไม่ใช้น้ำ

ปัญหาของการล้างแบบนี้ คือ ราคาของสารดูดซับซึ่งค่อนข้างแพง จึงมีการพยายามสังเคราะห์สารขึ้นเอง เช่นการเติมแอมโมเนียมในสารดูดซับแมกนีเซียมซัลเฟตช่วยในการเพิ่มความเป็นขั้วของสารดูดซับ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ [7] นอกจากนี้ยังมีการสังเคราะห์สารดูดซับซิลิกาเจล จากเถ้าแกลบ ช่วยในการกำจัดสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล [8, 9] แต่อาจเกิดปัญหาการแตกตัวของซิลิกาเจลเป็นสารแขวนลอยผสมในไบโอดีเซลนอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคเมมเบรน [4] แต่เทคนิคนี้ เหมาะกับกระบวนการผลิตในปริมาณมาก เนื่องจากมีราคาค่อนข้างสูง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลภายใต้สนามไฟฟ้า รวมถึงการทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบใช้น้ำล้างและวิธีไม่ใช้น้ำล้าง โดยใช้สารดูดซับ 2 ชนิด ได้แก่ แอมโมเนียมแมกนีเซียมซัลเฟตและซิลิกาเจล เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลและตรวจสอบต้นทุนในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยสนามไฟฟ้า

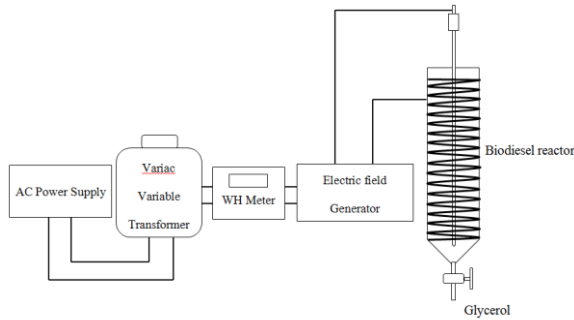
และผ่านการล้างด้วยน้ำ และแบบแห้ง โดยการใช้สารดูดซับ

2. การผลิตไบโอดีเซล

น้ำมันพืช สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซล โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน อย่างไรก็ตาม มีการพบว่าการใช้สนามไฟฟ้าสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ [5] เนื่องจากสนามไฟฟ้า ช่วยลดแรงดึงดูดระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมันพืช ทำให้การแพร่กระจายของแอลกอฮอล์ไปสู่น้ำมันอย่างทั่วถึงพื้นที่ที่มีการผสม [10] รูปแบบของการจัดอิเล็กโทรดที่เหมาะสม ทำให้เกิดความปลอดภัย ไม่ให้เกิด Electrical Breakdown คือการจัดวางขั้วอิเล็กโทรดแบบแบร์ริเออร์ ดิสชาร์จ (Barrier Discharge) [11]

ในงานวิจัยนี้ จะนำน้ำมันพืชใช้แล้ว ปริมาณเริ่มต้น 1,000 cc จะถูกนำมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล 250 cc โดยมี KOH 8.7 g เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารละลายทั้งหมดถูกนำมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 60°C จากนั้นสารละลายทั้งหมดจะบรรจุในปฏิกรณ์ที่เป็นหลอดแก้วใส มีการจัดวางขั้วอิเล็กโทรดแบบแบร์ริเออร์ ดิสชาร์จ (Barrier Discharge) ซึ่งมีแถบอิเล็กโทรดพันแนบอยู่ภายนอกหลอดแก้วและจะมีแท่งอิเล็กโทรดติดตั้งไว้ที่แกนกลางของหลอดแก้วในการทำงานจะมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V (a.c Power Supply) ให้แก่ตัวควบคุมแรงดัน (Variable Voltage Transformer) สร้างสนามไฟฟ้าแรงดันสูงช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ทำให้เกิดเมทิลเอสเตอร์ หรือ ไบโอดีเซล แยกตัวจากกลีเซอรินได้รวดเร็ว ปฏิกรณ์และชุดสร้างสนามไฟฟ้า แสดงในรูปที่ 3

ก่อนทำการทดสอบจะต้องหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำพืช (%Free Fatty Acid, FFA) ซึ่งไม่ควรเกิน 3% มิเช่นนั้นการเกิดปฏิกิริยา จะทำได้ยาก [12] ทั้งนี้ เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระจะสามารถคำนวณได้จาก [13]



รูปที่ 3 ชุดทดสอบการผลิตไบโอดีเซลภายใต้สนามไฟฟ้า

$$\%FFA = \frac{\text{ปริมาณสารละลาย(cc)} \times \text{ความเข้มข้นของสารละลาย(N)} \times 25.6}{\text{น้ำมันตัวอย่าง(cc)}} \quad (1)$$

สารละลายที่ใช้คือสารละลาย NaOH 4 g หรือ KOH 5.6 g ละลายในน้ำกลั่น 1 liter ที่หยดบนน้ำมันตัวอย่าง 10 cc จนน้ำมันเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูหรือม่วง สารละลายที่สัดส่วนดังกล่าว จะมีความเข้มข้น 0.1 N

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบค่ากรดไขมันอิสระในงานวิจัยนี้ ซึ่งพบว่า ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชใช้แล้วเฉลี่ยอยู่ที่ 1.0496% อยู่ในเกณฑ์ที่มีค่าไม่เกิน 3% จึงมีความเหมาะสมในการนำไปผลิตไบโอดีเซล

ตารางที่ 1 ค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่ใช้ทดสอบ

จำนวนครั้งที่ทดสอบ	ปริมาณกรดไขมันอิสระ
1	1.1520 %
2	1.1008 %
3	0.8960 %
เฉลี่ย	1.0496 %

ในการผลิตไบโอดีเซลจะใช้สารตั้งต้นคือ น้ำมันพืชใช้แล้ว เมทานอล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วนโดยโมล (1:6 โดยโมล) และทำการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้สนามไฟฟ้า (รูปที่ 4) กำลังไฟฟ้าแรงดัน 10 kV โดยใช้เวลา 10 นาที จากรูป จะเห็นได้ว่า ก่อนการเร่งปฏิกิริยา สารทำงานจะมีสีขุ่น และเมื่อป้อนสนามไฟฟ้า กลีเซอรินจะเริ่มแยกตัวออกทันที และหลังจาก 10 นาที

เมื่อหยุดการป้อนสนามไฟฟ้า จะเห็นการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์ โดยน้ำมันมีสีเหลืองอ่อนใสอยู่ด้านบน และกลีเซอรินซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม และอยู่ด้านล่างของหลอดอย่างชัดเจน พบว่าปริมาณสารตั้งต้นทั้งหมด 1,253.45 cc จะเป็นไบโอดีเซลที่ยังไม่ผ่านการทำความสะอาดในปริมาณ 1,072.66 cc และกลีเซอริน 147.33 cc ทั้งนี้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ประมาณ 0.069 kWh/liter ของ biodiesel ที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดแล้ว



ก. ก่อนเร่งปฏิกิริยา ข. หลังจากเร่งปฏิกิริยา

รูปที่ 4 การเร่งปฏิกิริยาโดยใช้สนามไฟฟ้า

3. การทำความสะอาดสิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซล

3.1 การทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบใช้น้ำล้าง (Water Washing)

การทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบใช้น้ำล้าง เช่นเดียวกับขั้นตอนที่แสดงในรูปที่ 1 โดยกระบวนการเริ่มจากการนำไบโอดีเซลที่แยกเอากลีเซอรินออกแล้ว จะมีค่าความเป็นด่าง pH ประมาณ 9-10 และยังมีสารเคมีที่ตกค้าง ปนเปื้อนอยู่ จึงต้องนำไปทำความสะอาดเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น

จากการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลเริ่มต้น 1000 cc เมื่อผ่านการล้างน้ำ จน pH น้ำเท่ากับ 7 และน้ำมีความใส (ใช้น้ำประมาณ 2 ลิตร/ไบโอดีเซล 1 ลิตร) จึงแยกน้ำออกจากนั้นนำไบโอดีเซลไปต้มแยกน้ำออกที่อุณหภูมิ 100-110°C จนน้ำระเหยออกหมด หลังจากผ่านระเหยน้ำออกจะเหลือไบโอดีเซลในปริมาณ 942.66 cc (คิดเป็น 94.26% ของไบโอดีเซลเริ่มต้น) จะพบว่าปริมาณของไบโอดีเซลหลังจากผ่านกระบวนการทั้งหมดจะน้อยกว่าตอน

เริ่มต้น เนื่องจากการทำความสะอาดด้วยน้ำจะนำเอาสิ่งปนเปื้อน แอลกอฮอล์ สาร และสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งตกค้างออกจากไบโอดีเซลน้ำทำให้ส่วนที่เป็นไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นและไบโอดีเซลที่ได้ก็มีความใส ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากการผ่านกระบวนการล้างน้ำและระเหยน้ำออก

3.2 การทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบแห้ง (Dry Washing)

ในการทดสอบจะใช้สารดูดซับ 2 ชนิด คือ แอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต และซิลิกาเจล เป็นสารที่ใช้ในการดูดซับสารเคมีที่ปนเปื้อนในไบโอดีเซล

3.2.1 การใช้สารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต

งานในส่วนนี้เป็นการสังเคราะห์สารดูดซับขึ้นมาใหม่ โดยการนำสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) เข้มข้น 1 โมลาร์มาผสมกับสารละลายแมกนีเซียมไนเตรด ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เข้มข้น 1.05 โมลาร์และสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เข้มข้น 2.11 โมลาร์ [7]

สารละลายจะถูกกวนอย่างสม่ำเสมอโดยใช้เครื่องกวนสาร (Hot plate & Stirrer) จากนั้นนำตะกอนที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่น และแยกน้ำกับตะกอน แล้วจึงนำตะกอนไปอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ จากการทดสอบได้สารที่สังเคราะห์แอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกตที่ผ่านการอบเท่ากับ 47.77 กรัม ดังรูปที่ 6 และนำสารที่สังเคราะห์ได้ 1% (wt./vol.) ใส่ลงในไบโอดีเซลที่มี pH ประมาณ

9-10 พร้อมกวนผสมเป็นเวลา 120 นาที (ในระหว่างการกวนจะมีการเช็ค pH ทุกๆ 10 นาที)



รูปที่ 6 สารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์

เมื่อ pH ของไบโอดีเซลเท่ากับ 7 แล้วนำน้ำมันไปกรองเพื่อแยกสารดูดซับออกด้วยกระดาษกรอง จากการทดสอบไบโอดีเซล 1,000 cc ที่ผ่านการใส่สารสังเคราะห์แอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต ในการทำความสะอาดจะได้ไบโอดีเซล (ดังรูปที่ 9) ที่ผ่านการดูดซับในปริมาณ 910 cc (คิดเป็น 91% ของไบโอดีเซลเริ่มต้น) จะพบว่าปริมาณของไบโอดีเซลหลังจากผ่านกระบวนการทั้งหมดจะน้อยกว่าตอนเริ่มต้น เนื่องจากสารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต จะดูดซับเอาสิ่งปนเปื้อนส่วนเกินที่ตกค้างออกจากไบโอดีเซล สำหรับสารสังเคราะห์แอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกตจะสามารถใช้ได้ครั้งเดียว เนื่องจากแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกตจะแตกตัวและกระจายใน ไบโอดีเซล สำหรับไบโอดีเซลบริสุทธิ์ที่ใช้สารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกตในการทำความสะอาด จะมีลักษณะของสี ใกล้เคียงกับที่ล้างด้วยน้ำ

3.2.2 การใช้สารดูดซับซิลิกาเจล (Silica Gel)

ในการทดสอบแบบใช้สารดูดซับซิลิกาเจล จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 วิธี คือ การทดสอบแบบใช้เครื่องกวนและแบบแช่ในหลอดแก้ว

ก) การทดสอบแบบใช้เครื่องกวน

การทดสอบจะใช้ปริมาณซิลิกาเจล 80g ผสมลงในไบโอดีเซล 1,000 cc ทำการกวนเป็นเวลา 70 นาที [7] ไบโอดีเซลก่อนทำความสะอาดปริมาณ 1,000 cc จะ

มีค่า pH ประมาณ 9-10 และหลังผ่านการดูดซับด้วยซิลิกาเจล จน pH เท่ากับ 7 จะแยกเอาซิลิกาเจลออกจากไบโอดีเซลที่ผ่านการทำความสะอาดจะมีปริมาณ 930 cc (คิดเป็น 93% ของไบโอดีเซลเริ่มต้น) ปริมาณของไบโอดีเซลหลังจากผ่านกระบวนการทั้งหมดจะน้อยกว่าตอนเริ่มต้น เนื่องจากสารดูดซับซิลิกาเจล จะดูดซับเอาสิ่งปนเปื้อนส่วนเกิน แอลกอฮอล์ส่วนเกิน และสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งตกค้างออกไป ไบโอดีเซลที่ได้จะมีความใส และมีสีใกล้เคียงกับที่ล้างด้วยน้ำเช่นเดียวกัน จากการทดสอบพบว่าซิลิกาเจลสามารถใช้ได้ 3 ครั้ง โดยซิลิกาเจลจะเปลี่ยนสีและเสื่อมประสิทธิภาพ

ข) การทดสอบแบบแช่ในเบดซิลิกาเจล

การทดสอบจะนำไบโอดีเซลที่ยังไม่ได้ทำความสะอาด ไปแช่ในซิลิกาเจลที่เตรียมไว้ โดยไม่มีการกวนหรือเขย่า ปริมาณซิลิกาเจลที่ใช้ 1 kg ต่อไบโอดีเซล 500 cc ดังรูปที่



รูปที่ 7 การแช่ไบโอดีเซลในซิลิกาเจล

ไบโอดีเซลก่อนแช่ในเบดซิลิกาเจล มีปริมาณ 500 cc ค่า pH ประมาณ 9 เมื่อไบโอดีเซลอยู่ในเบดซิลิกาเจลจะมีการวัดค่า pH ของไบโอดีเซลทุกๆ 10 นาที จนกว่าค่า pH จะเท่ากับ 7 หลังจากการทดสอบพบว่า ในการทำความสะอาดครั้งแรกๆ ปริมาณของไบโอดีเซลหลังจากผ่านกระบวนการทั้งหมดจะน้อยกว่าตอนเริ่มต้น เนื่องจากสารดูดซับซิลิกาเจลจะดูดซับเอาสิ่งปนเปื้อนส่วนเกินออกจากไบโอดีเซล และมีไบโอดีเซลบางส่วนติดเข้าไป หลังจากผ่านการล้างน้ำมันที่ได้จะมีความใส และซิลิกาเจลสามารถใช้ได้ประมาณ 10 ครั้ง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะเวลาในการสัมผัสและปริมาณไบโอดีเซล

ครั้งที่	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	เวลาที่ ใส	ไบโอดีเซลที่ได้
1	9-10	7	1 h	310 cc
2	9-10	7	1 h	430cc
3	9-10	7	2 h	350cc
4	9-10	7	2 h	480cc
5	9-10	7	1 h	470cc
6	9-10	7	1 h	480 cc
7	9-10	7	40 min	490 cc
8	9-10	7	40 min	500 cc
9	9-10	7	1 h	490 cc
10	9-10	7	30 min	490 cc

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าไบโอดีเซลก่อนการทำความสะอาด pH ประมาณ 9-10 เมื่อผ่านการทำความสะอาด pH เท่ากับ 7 จะใช้เวลาในการสัมผัสเฉลี่ยประมาณ 1 ชั่วโมง และไบโอดีเซลที่ได้จะมีความใส และสีเช่นเดียวกับกรณีข้างต้น

4. การเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารตั้งต้น ไฟฟ้า ปริมาณน้ำ และปริมาณสารดูดซับ จากการทำความสะอาดแบบใช้น้ำล้างและใช้สารดูดซับ

ตารางที่ 3 แสดงค่าการใช้วัสดุ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล จากน้ำมันพืชใช้แล้ว 1 ลิตร จากตาราง พบว่าการทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบใช้น้ำล้างจะพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด เนื่องจากมีกระบวนการที่เพิ่มเข้ามาคือ การระเหยน้ำออกจากไบโอดีเซล หลังจากผ่านการทำความสะอาดด้วยน้ำ แต่กระบวนการแบบใช้สารดูดซับจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด เพราะไม่ต้องทำการระเหยน้ำออกจากไบโอดีเซล เพียงแค่ใช้สารดูดซับสัมผัสกับไบโอดีเซลและดูดซับสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเท่านั้น

สำหรับผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ โดยผ่านการทำความสะอาดด้วยวิธีต่าง ๆ สามารถแสดงดังตารางที่ 4 จากตาราง จะเห็นได้ว่าสมบัติทางเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกัน

4.1 ผลการเปรียบเทียบราคาต่อลิตรจากการทำความเข้าใจแบบใช้น้ำล้างและใช้สารดูดซับ (แอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต ซิลิกาเจล)

ตารางที่ 5 แสดงค่าต้นทุนต่อหน่วยไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการผลิต พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำ

สะอาดไบโอดีเซลแบบใช้น้ำล้างจะมีราคาที่ถูกกว่าการใช้สารดูดซับ (แอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต ซิลิกาเจล) เนื่องจากแบบแห้ง สารดูดซับจะต้องมีการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ และ/หรือซื้อจากร้านขายสารเคมีซึ่งมีราคาสูง

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารตั้งต้น พลังงานไฟฟ้า ปริมาณน้ำ ปริมาณสารดูดซับ สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว 1 ลิตร

รายการ	แบบใช้น้ำล้าง	ใช้สารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต	ใช้ซิลิกาเจล	
			แบบกวน	แบบแช่ทิ้งไว้
น้ำมันพืชใช้แล้ว (ลิตร)	1	1	1	1
เมทานอล (ลิตร)	0.2492	0.2492	0.2492	0.2492
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)	8.7	8.7	8.7	8.7
ไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (kWh)	0.13470	0.1468	0.11488	0.0937
ปริมาณน้ำที่ใช้ล้าง (ลิตร)	2	-	-	-
ปริมาณสารที่ใช้ล้าง (กรัม)	-	10	80	1,000

ตารางที่ 4 สมบัติหลักทางเชื้อเพลิงน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างด้วยวิธีล้างด้วยน้ำและแบบแห้ง

รายการ	แบบใช้น้ำล้าง	ใช้สารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต	ใช้ซิลิกาเจล	
			แบบกวน	แบบแช่ทิ้งไว้
HHV (MJ/kg)	39.66	40.61	40.16	39.13
ความหนืด (cSt)	7.52	7.90	7.11	7
จุดวาบไฟ (°C)	153	155	155	154
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.877	0.877	0.878	0.878

ตารางที่ 5 ราคาต่อลิตรจากการทำความเข้าใจแบบใช้น้ำล้างและใช้สารดูดซับ (Baht/liter)

รายการ	แบบใช้น้ำล้าง	ใช้สารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต	ใช้ซิลิกาเจล	
			แบบกวน	แบบแช่ทิ้งไว้
น้ำมันพืชใช้แล้ว	16.67	16.67	16.67	16.67
เมทานอล	5.86	5.86	5.86	5.86
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.78	0.78	0.78	0.78
ไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด	0.5388	0.5872	0.4595	0.3748
ราคาน้ำที่ใช้ล้าง	0.0204	-	-	-

ตารางที่ 5 (ต่อ) ราคาต่อลิตรจากการทำความสะอาดแบบใช้น้ำล้างและใช้สารดูดซับ (Baht/liter)

รายการ	แบบใช้น้ำล้าง	ใช้สารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต	ใช้ซิลิกาเจล	
			แบบกวน	แบบแช่ทิ้งไว้
ราคาสารดูดซับ	-	1.2416	10	10
ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา	3.1851	3.3085	3.1234	3.1234
รวม	27.05	28.44	36.89	36.80

5. สรุปผล

5.1 การเร่งปฏิกิริยากระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เมื่อป้อนสนามไฟฟ้า กลีเซอรินจะเริ่มแยกตัวออกทันที และเห็นการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน อย่างชัดเจน พบว่าปริมาณสารตั้งต้นทั้งหมด 1,253.45 cc เมื่อป้อนสนามไฟฟ้าแรงดัน 10 kV จะได้ไบโอดีเซลที่ยังไม่ผ่านการทำความสะอาดในปริมาณ 1,072.66 cc และกลีเซอริน 147.33 cc ทั้งนี้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ประมาณ 0.069 kWh/liter ของ biodiesel ที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดแล้ว

5.2 ไบโอดีเซลหลังจากการทำปฏิกิริยาจะมีค่า pH ประมาณ 9 เมื่อผ่านกระบวนการล้างน้ำให้มีค่า pH เท่ากับ 7 จะใช้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง 2 ลิตรต่อไบโอดีเซล 1 liter

5.3 ในการทำความสะอาดไบโอดีเซล โดยใช้สารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต 10 g ลงในไบโอดีเซล 1,000 cc ที่มีสภาวะความเป็นด่าง pH ประมาณ 9 หลังจากการกวนผสม ความเร็วคงที่เป็นเวลา 120 นาที สามารถลดค่า pH ลงเหลือ 7

5.4 ในการทำความสะอาดไบโอดีเซล โดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจลในไบโอดีเซลปริมาณ 80 g ต่อไบโอดีเซล 1,000 cc และทำการกวนประมาณ 70 นาที พบว่าค่า pH ของไบโอดีเซลเริ่มต้นประมาณ 9 จะลดลงเหลือเป็น 7 และเมื่อทำการแช่ไบโอดีเซลในเบดซิลิกาเจล โดย

ไม่มีการกวน พบว่าค่า pH ของไบโอดีเซลเริ่มต้นประมาณ 9 เมื่อผ่านการแช่ประมาณ 1 ชั่วโมง ค่า pH จะลดลงเหลือเป็น 7

5.5 การเปรียบเทียบต้นทุนต่อลิตรของการทำความสะอาดไบโอดีเซลแบบใช้น้ำล้างกับไม่ใช้น้ำล้าง (ใช้สารดูดซับ) พบว่าราคาการทำความสะอาดแบบใช้น้ำล้างจะถูกกว่าการทำความสะอาดแบบแห้งโดยใช้สารดูดซับ เนื่องจากสารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกตและซิลิกาเจลมีราคาแพง คือ แอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกตต้องสังเคราะห์ขึ้นเอง จะต้องมีการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ และ/หรือซื้อมาจากโรงงานขายสารเคมีซึ่งมีราคาสูงราคาต้นทุนไบโอดีเซล เมื่อรวมราคาน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่ 16.67 Baht/liter มีค่า 27.05, 28.44, 36.89 และ 36.80 Baht/liter ในกรณีที่ล้างด้วยน้ำ การล้างแบบแห้งโดยใช้สารดูดซับแอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกต การใช้สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีการกวน และการแช่น้ำมันในเบดสารดูดซับตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุน ภายใต้โครงการเครือข่ายพันธมิตร มหาวิทยาลัยเพื่อการวิจัยจากเงินกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และศูนย์ความเป็นเลิศด้านพลังงานหมุนเวียน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชิบดินทร์ แสงสว่าง, พิพัฒน์ พิชเชนทรโยธิน และ จิรวรรณ เตียรต์สุวรรณ. การศึกษาสมรรถนะ มลพิษและอัตรา การปลดปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลแบบ IDI ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ-ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง. วารสาร วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552; 16 (1):28-38.
- [2] ชิบดินทร์ แสงสว่าง, พิพัฒน์ พิชเชนทรโยธิน และ จิรวรรณ เตียรต์สุวรรณ. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ เครื่องยนต์ดีเซลแบบ IDI. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553;17 (3): 50-64.
- [3] Braz, J. Dry Washing in Biodiesel Purification: a Comparative Study of Adsorbents. Journal of the Brazilian Chemical Society, 2011;22(3): 558-563.
- [4] Atadashi, I. M. Purification of Crude Biodiesel Using Dry Washing and Membrane Technologies. Alexandria Engineering Journal, 2015; 54(4): 1265–1272.
- [5] นพดล ศิริรัตน์ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การศึกษาเชิงทดลองการผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้า. การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายทอดพลังงาน ความร้อน และมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 10, โรงแรมเชียงใหม่แกรนด์วิว, จังหวัดเชียงใหม่, 2554.
- [6] โครงการวิจัย สาธิต และพัฒนาการใช้ไบโอดีเซลชุมชนเพื่อลดต้นทุนการผลิต. รายงานฉบับสมบูรณ์, กรมพัฒนา พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), กระทรวงพลังงาน, 2554.
- [7] จุฬารัตน์ ขวาทอง และ อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล. การสังเคราะห์แอมโมเนียมแมกนีเซียมซิลิเกตสำหรับการทำไบโอดีเซล ให้บริสุทธิ์. The National and International Graduate Research Conference 2016, Graduate School, Khon Kaen University, Thailand, 2559.
- [8] ชีระวัฒน์ อัจฉฤกษ์. การศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดโพแทสเซียมไอออนจากไบโอดีเซลดิบด้วยเรซินและซิลิกา จากถ้ำเกลบ. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2556.
- [9] สุรวุฒิ พวงมาลี. การสังเคราะห์ซิลิกาเจลจากถ้ำเกลบสำหรับทำวัสดุไบโอดีเซล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2556.
- [10] Wang, J., Sun, C., Huo, Y., Xu, R. Experimental study on the breakup behaviors of charged ethanol droplet in oil. Journal of Engineering Thermophysics, 2016; 37(7): 1469-1474.
- [11] สุกสะหวัด พูนสะหวัด. ผลของการจัดรูปแบบขั้วอิเล็กโทรดในการผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2557.
- [12] อธิยา คงเซ็น, รัตนชัย ไพรินทร์, แก้วกันยา สุดประเสริฐ และ วารุณี ลีมนั่น. การศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระที่ เกิดขึ้นในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ในขณะการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 2557; 45(2): 261-264.
- [13] สุกกฤษณ์ งามเมือง. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยตัวทำปฏิกิริยา ผสมเมทานอล/เอทานอล สำหรับ เครื่องยนต์เกษตรกรรม. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2558.