วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องและให้น้ำทิ้งน้อย

Continuous production of biodiesel in a continuous reactor with minimal waste water

บดินทร วัฒนวิสัย[1*] คณิต กฤษณังกูร[2] และ กรณ์กนก อายุสุข[3]

[1] นักศึกษา [2,3] รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10150

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในระบบกะ (Batch system) จะทำให้เกิดการผันกลับของปฏิกิริยา ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ไบโอดีเซลที่ได้ลดลง และเกิดน้ำทิ้งจากการล้างปฏิกิริยา เพื่อเป็นการลดปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงศึกษาระบบการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง (Continuous system) และศึกษาการลดน้ำทิ้งโดยใช้สารส้มในการหยุดปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดตะกอนแล้วจึงกรองแยกออกจากไบโอดีเซล ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ด้วยอัตราการไหล 280 มิลลิลิตรต่อนาที ในปฏิกรณ์ขนาด 2.8 ลิตร ที่ภายในบรรจุด้วยตัวช่วยผสมแบบคงที่ (Static mixer) ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.75% อัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำมัน 9:1 โดยโมล ใช้สารส้มในการหยุดปฏิกิริยา 350 กรัมต่อไบโอดีเซลหนึ่งลิตร ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลความบริสุทธิ์ 99.6% ภายในเวลา 10 นาที

Abstract

The yield of biodiesel from a base catalyzed transesterification in a batch system is generally low due to the reversed reaction. In addition, the process tends to generate high amount of waste water in the washing step.

In order to overcome the above problems, a continuous process was adopted in this study. Solid alum was used to stop the reaction and filtered off from the biodiesel products. The results showed that, biodiesel production from palm oil in a 2.8 liter continuous reactor filled with stainless steel wool acted as a static mixer gave biodiesel of 99.6% purity in 10 minutes, at the flow rate of 280 milliliter per minutes. KOH was used as the reaction catalyst at a concentration of 0.75%, based on ethanol. The molar ratio of ethanol to oil was 9:1. Three hundred and fifty gram of alum could satisfactorily neutralize one liter of biodiesel.

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล ปฏิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง สารส้ม
Keywords : Biodiesel, Transesterification, Continuous flow processing, alum

[*] *ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ pongnavoy_7@hotmail.com โทร. 08 3248 6687*

1. บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกที่มาจากธรรมชาติ สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลคือ ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไปผลิตในระบบกะ (Batch system) ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด่าง ซึ่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้เมื่อมีผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้นจึงเกิดการย้อนกลับของปฏิกิริยา การใช้ระบบกะจึงมีขีดจำกัดของจำนวนผลิตภัณฑ์สูงสุด เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวจึงมีการผลิตไบโอดีเซลในระบบต่อเนื่อง การผลิตในระบบนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไบโอดีเซลและ อัตราการเกิดปฏิกิริยาให้สูงขึ้น นอกจากนี้การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อทำปฏิกิริยาสมบูรณ์ต้องทำการหยุดปฏิกิริยาโดยการเติมกรดหลังจากนั้นล้างด้วยน้ำ เพื่อล้างปฏิกิริยาและสิ่งปนเปื้อนต่างๆออกจากผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ปัจจุบันพบว่า ประเทศไทยมีโรงงาน 43 โรงงาน สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ 1.5 ล้านลิตรต่อวัน มีน้ำเสียที่เกิดจากการกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นประมาณ 20 ถึง 120 ลิตร ต่อไบโอดีเซล 100 ลิตร งานวิจัยนี้จึงมีแนวทางการลดปริมาณน้ำเสียโดยใช้ตัวหยุดปฏิกิริยาแบบของแข็งคือ สารส้ม โดยสารส้มจะไปทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาด่างเกิดตะกอนหลังจากนั้นจึงกรองแยกจากผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล และจากงานวิจัยของ ณัฐพงศ์ แป้นทอง และคณะ ในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีไขมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในระบบต่อเนื่องด้วยปฏิกรณ์แบบท่อ จากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ สภาวะที่เหมาะที่สุดคือ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโมลเอทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 9 : 1 และร้อยละความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 99.1 % ภายในเวลา 11 นาที อัตราการไหลรวม 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที งานวิจัยนี้จึงศึกษาต่อข้อมูลของ ณัฐพงศ์ แป้นทอง และคณะ โดยมีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาการขยายกำลังในการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันปาล์มในปฏิกรณ์ที่ภายในบรรจุด้วยตัวช่วยผสมแบบคงที่โดยไม่ใช้ความร้อน (อุณหภูมิประมาณ 30 °C) และเพื่อศึกษาผลกระทบและปริมาณสารส้มที่เหมาะสมต่อการหยุดปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันของการผลิตไบโอดีเซล

2. วิธีการทดลอง

นำน้ำมันปาล์ม มาทำปฏิกิริยากับ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.75 ในเอทานอลโดยใช้อัตราส่วน เอทานอลต่อน้ำมัน 9:1 โดยโมล ผ่านปฏิกรณ์ที่บรรจุด้วยตัวช่วยผสมแบบคงที่ (Static mixers) ด้วยเครื่องปั๊ม Pump High Performance Liquid Chromatography ยี่ห้อ New style รุ่น NP 7300C โดยใช้อัตราการไหลรวม 280 มิลลิลิตรต่อนาทีหรือมากกว่า หลังจากนั้นนำสารละลายที่ออกจากปฏิกรณ์มาหยุดปฏิกิริยาด้วยสารส้ม นำตัวอย่างมาวิเคราะห์% Yield ของไบโอดีเซลที่ได้ด้วยเครื่อง HPLC ฉีดเข้าเครื่องปริมาตร 20 ไมโครลิตร ใช้คอลัมน์ phenogel ที่ต่อกับเครื่องตรวจวัดชนิด Evaporative Light Scattering Detector (ELSD) โดยใช้ ไอโซออกเทน: โทลูอีน: กรดอะซิติก เท่ากับ 65: 35: 0.15 (v/v/v) เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิคอลัมน์และ Detector เท่ากับ 65 และ 30 °C ความดัน 2 bar

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการทดลองทำการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในปฏิกรณ์ขนาด 2.8 ลิตรภายในบรรจุตัวช่วยผสมแบบคงที่ โดยใช้สภาวะ อัตราการไหลรวม 280 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำมัน 9 ต่อ 1 โดยโมล ตัวเร่งปฏิกิริยา โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.75 % ในเอทานอล เวลาในการทำปฏิกิริยาในปฏิกรณ์ประมาณ 10 นาที และไม่ใช้ความร้อน โดยตรวจสอบความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาด้วย HPLC ในช่วงเวลาที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ได้ %yield ของไบโอดีเซล 95.2, 64.2, 41.6 และ 11.5 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆจะได้ไบโอดีเซลความบริสุทธิ์ 99.6, 87.2, 65.3 และ 14 % ตามลำดับ แสดงองค์ประกอบช่วงเวลาต่างๆ ตารางที่ **1** และแสดงโครมาโตรแกรมช่วงเวลาต่างๆ รูปที่ 1 จากผลการทดลองพบว่า การเกิดปฏิกิริยาไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการผสมในปฏิกรณ์ไม่เพียงพอ เมื่อการ

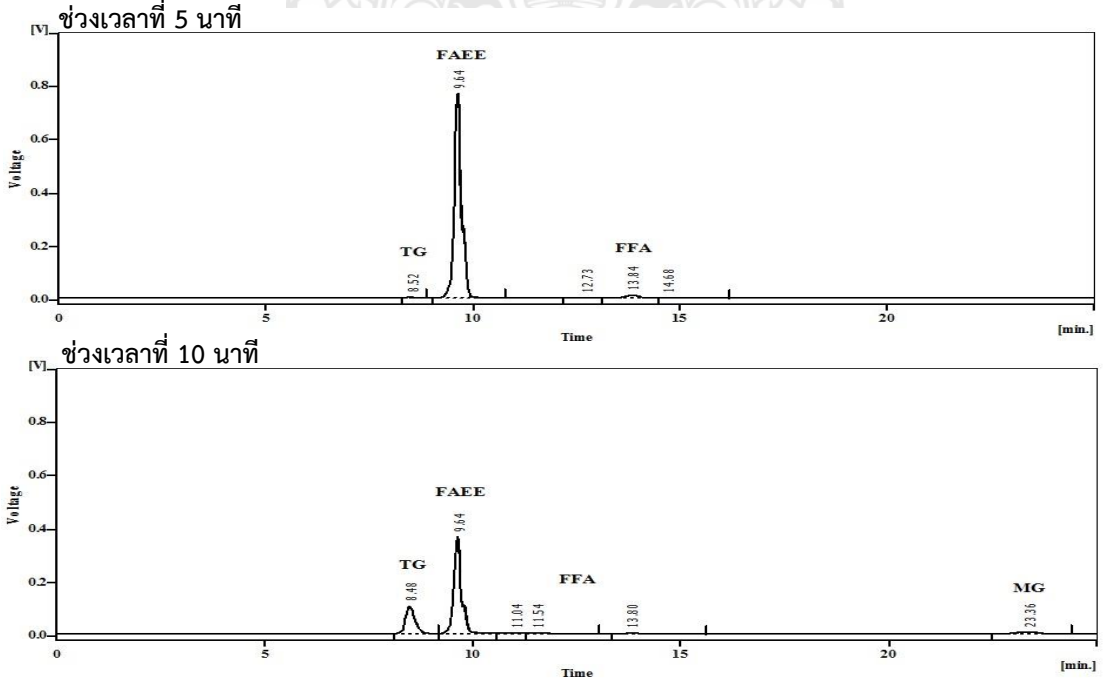
ผสมไม่เพียงพอจึงทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันและเอทานอล ส่วนเอทานอลซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าจึงแยกชั้นอยู่ด้านบนและออกมาจากปฏิกรณ์ในช่วงเวลาที่ 5 ในช่วงเวลาที่ 5 จึงมีความสมบูรณ์ของปฏิกิริยามากที่สุด เนื่องจากด้านบนมีอัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำมันมาก ซึ่งอัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำมันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ส่วนในช่วงเวลาที่ 10, 15และ20 นาทีนั้น เป็นส่วนของน้ำมันที่แยกชั้นลงมาด้านล่างจึงมีอัตราส่วนเอทานอลน้อยกว่าจึงมีความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาน้อยกว่า

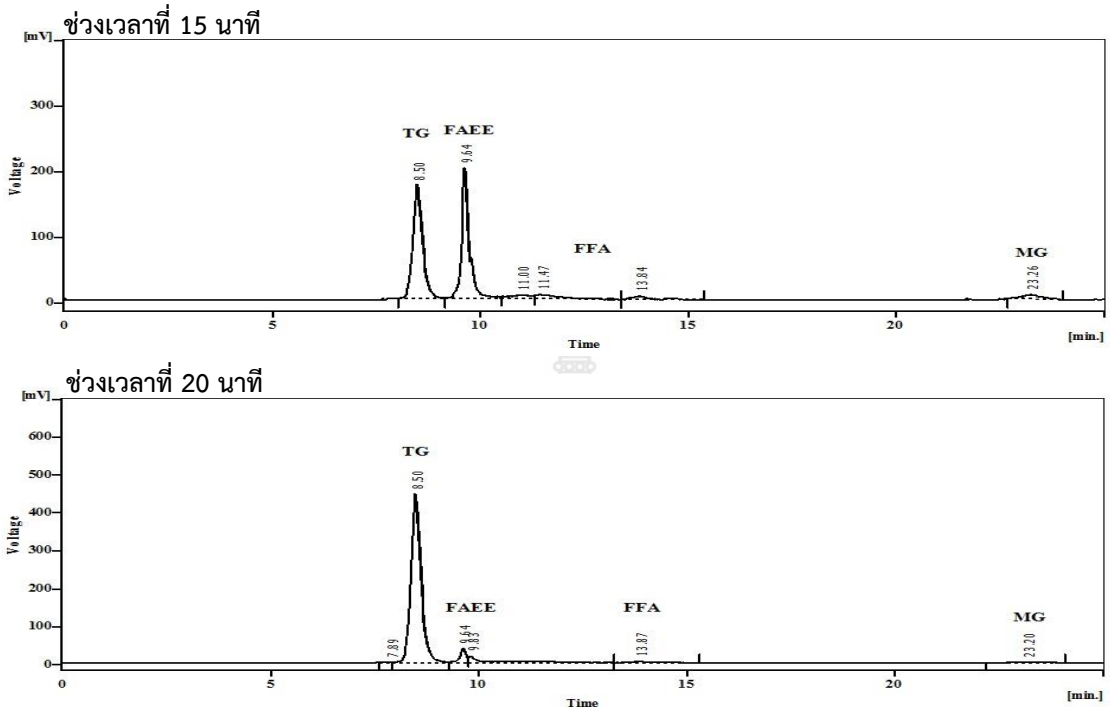
สำหรับการใช้สารส้มเพื่อหยุดปฏิกิริยา ใช้สารส้มผงในการหยุดปฏิกิริยา โดยการทดลองนี้จะหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม เมื่อใช้สภาวะในการผลิตไบโอดีเซล อัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำมัน 9 ต่อ 1 โดยโมล ตัวเร่งปฏิกิริยา โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.75 % ในเอทานอล พบว่าปริมาณไบโอดีเซล 5 และ 10 มิลลิลิตร ใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการหยุดปฏิกิริยาเท่ากับ 1.65และ3.47 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นสำหรับไบโอดีเซลหนึ่งลิตรใช้สารส้มเพื่อหยุดปฏิกิริยาประมาณ 350 กรัม ซึ่งจากการที่ใช้สารส้มปริมาณมาก เนื่องมาจากสารส้มแตกตัวและละลายได้น้อยในน้ำมันกับแอลกอฮอล์

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของไบโอดีเซลในช่วงเวลาที่ 5, 10, 15และ 20 นาที

เวลาหลังจากทำปฏิกิริยาในปฏิกรณ์ (นาที)	องค์ประกอบที่พบ (%)			
	FAEE*	TG*	MG*	FFA*
5	95.2	0.4	-	4.4
10	64.2	22.8	5.6	7.4
15	41.6	44.7	3.7	10
20	11.5	86	1.2	1.2

*FAEE = Fatty acid ethyl ester
TG = Triglyceride
MG = Monoglyceride
FFA = Free fatty acid





รูปที่ 1 แสดงโครมาโตรแกรมของไบโอดีเซลในช่วงเวลาที่ 5, 10, 15และ 20 นาที

4. สรุป

การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในปฏิกรณ์ขนาด 2.8 ลิตรภายในบรรจุตัวช่วยผสมแบบคงที่ โดยใช้สภาวะอัตราการไหลรวม 280 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำมัน 9 ต่อ 1 โดยโมล ตัวเร่งปฏิกิริยา โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.75 % ในเอทานอล เวลาในการทำปฏิกิริยาในปฏิกรณ์ 10 นาที และไม่ใช้ความร้อน โดยตรวจสอบความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาด้วย HPLC ในช่วงเวลาที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ได้ %yield ของไบโอดีเซล 95.2, 64.2, 41.6 และ 11.5 ตามลำดับ และความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ได้เมื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ เท่ากับ 99.6, 87.2, 65.3 และ 14 % ตามลำดับ ซึ่งความไม่สม่ำเสมอของปฏิกิริยานั้นเกิดจากการยุบตัวของสารบรรจุแบบคงที่ ทำให้เกิดช่องว่าง ซึ่งแก้ไขได้โดยการเพิ่มสารบรรจุแบบคงที่ให้แน่นขึ้นเพื่อการทำปฏิกิริยามีความสม่ำเสมอมากขึ้น

การใช้สารส้มหยุดปฏิกิริยา สำหรับสภาวะที่ทำการทดลองข้างต้น ใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการหยุดปฏิกิริยาเท่ากับ 1.65และ3.47 กรัม ต่อปริมาณไบโอดีเซล 5 และ 10 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาณสารส้มที่เหมาะสมต่อปริมาณไบโอดีเซลหนึ่งลิตรเท่ากับประมาณ 350 กรัม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมูลนิธิการศึกษาเชล 100 ปี และสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

Qiu, Z.; Zhao, L.; Weatherley, L.: Process intensification technologies in continuous biodiesel production, **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, Vol. (2010) 49., pp.323-330.

Rattanapan, C.; Sawain, A.; Suksaroj, T.; Suksaroj, C.: Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation processes, **Desalination**, Vol. (2011) 280., pp.370-377.

ณัฐพงศ์ แป้นทอง. 2555. **จลนศาสตร์ปฏิกิริยาทรานส์เอทิเลชันของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อม และวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Aryusuk, K.; Chumsantea, S.; Sombatsuwan, P.; Lilitchan, S.; Krisnangkura, K.: Separation and Determination of Wax Content Using 100-Å Phenogel Column, **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. (2011) 88., pp.1497-1501.

Leung, D. Y. C.; Wu, X.; Leung, M. K. H.: A review on biodiesel production using catalyzed transesterification, **Applied Energy**, Vol. (2010) 87., pp.1083-1095.