



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การพัฒนาถังปฏิกรณ์ชนิดแยกกลีเซอรอลออกอย่างต่อเนื่องเพื่อผลิตเอทิลเอสเตอ์

Development of continuous deglycerolisation reactor for ethyl ester production

รวมพร นิคม^{*1)}, ธเนศ วัยสุวรรณ¹⁾, สันหทัย กลิ่นพิกุล²⁾, เสกสรร สุธรรมมานนท์²⁾, กิตติภูมิ สุภลักษณ์ปัญญา³⁾ และ ชาคกริต ทองอุไร^{1,4)}

Ruamporn Nikhom^{*1)}, Thanet Waisuwan¹⁾, Sunchai Klinpikul²⁾, Sakesun Suthummanon²⁾

Kittiphoom Supalakpanya³⁾ and Chakrit Tongurai^{1,4)}

¹⁾สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90112
Specialized R&D Center for Alternative Energy from Palm Oil and Oil Crops, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla Thailand, 90112.

²⁾ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90112

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla Thailand, 90112.

³⁾คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

Faculty of Agro Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat Thailand, 80240.

⁴⁾ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90112

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla Thailand, 90112.

Received January 2014

Accepted June 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาถังปฏิกรณ์ชนิดแยกกลีเซอรอลออกอย่างต่อเนื่อง (Continuous deglycerolisation, CD) ในการผลิตเอทิลเอสเตอ์ให้ได้คุณภาพ โดยศึกษาการใช้อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอล 2 ชนิด ซึ่งอุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่แบ่งถังปฏิกรณ์ออกเป็น ส่วนกวนผสม (Mixing zone) สำหรับทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน และส่วนตกจม (Settling zone) เพื่อให้เกิดการแยกของกลีเซอรอลที่ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาออก ปฏิกิริยาจึงสามารถดำเนินต่อไปได้จากผลการทดลองพบว่าอุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลซึ่งมีลักษณะเป็นครีบยาวจะสามารถแยกกลีเซอรอลออกจากระบบได้ดี เนื่องจากอนุภาคของกลีเซอรอล มีช่องทางออกสู่บริเวณตกจมได้ง่าย ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันสูง โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทิลเอสเตอ์ด้วยกระบวนการ CD ได้แก่ สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเอทานอล 1:5 ปริมาณโปแตสเซียมเมทอกไซด์ 1.6%wt. อุณหภูมิ 70°C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที ซึ่งจะได้เอทิล เอสเตอ์ที่มีความบริสุทธิ์ และผลได้ 97.3%wt. และ 92.0%wt. ตามลำดับ นอกจากนี้สมบัติด้านเชื้อเพลิงอื่นๆ เมื่อเทียบเคียงกับค่ามาตรฐานสำหรับไบโอดีเซลชนิดเมทิลเอสเตอ์ที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดพบว่ามีความเป็นไปตามเกณฑ์ทั้งสิ้น

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เอทิลเอสเตอ์ ถังปฏิกรณ์ แยกกลีเซอรอลออกอย่างต่อเนื่อง

* Corresponding author. Tel.: +66-7428-7450; fax: +66-7428-7185

Email address: ooy_evolution@yahoo.com.

Abstract

In this work, the development of continuous deglycerolisation (CD) reactor for ethyl ester production was investigated to improve the ethyl ester conversion. The device to assist separation of glycerol, in the CD unit, integrates transesterification (mixing zone) and separation (settling zone) into one unit. For reversible transesterification, removing glycerol during reaction can drive the equilibrium to the product side in order to achieve high conversion. Two models of device to assist separation of glycerol have been carried out to investigate the suitable conditions for ethyl ester production. Results showed that the fin-type model could separate higher amount of glycerol from the reaction system in order to achieve high transesterification conversion. The suitable conditions found in this study were: molar ratio of oil to ethanol of 1:5, KOCH₃ concentration of 1.6 %wt. retention time of 15 min and reaction temperature of 70°C. At these conditions, ethyl ester's purity and yield were 97.3%wt. and 92.0%wt., respectively. In addition, the fuel properties of the final ethyl ester product met the biodiesel standard for methyl ester which specified by Department of Energy Business.

Keywords : Biodiesel, Transesterification, Ethyl ester, Reactor, Continuous deglycerolisation

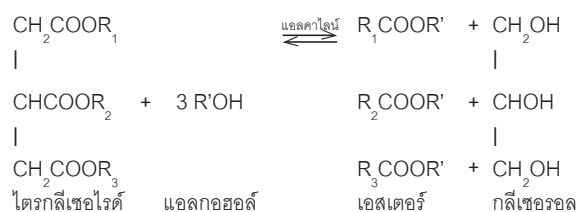
1. บทนำ

จากวิกฤติการณ์ด้านพลังงานเชื้อเพลิง และ ปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ส่งผลให้ความต้องการใช้เชื้อเพลิงสะอาดเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ไบโอดีเซลชนิดเอสเตอร์นับเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจ เนื่องจากสามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมได้ นอกจากนี้ยังมีผลดีต่อสภาพแวดล้อม เช่น การเผาไหม้จะสมบูรณ์กว่า น้ำมันดีเซล ซึ่งนำไปสู่การลดอนุภาคของแข็ง (Particulate matter) และควันดำ ลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด ลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และลดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ [1]

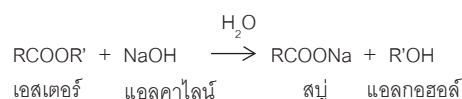
ไบโอดีเซลที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยขณะนี้ส่วนใหญ่ได้มาจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์กับกับแอลกอฮอล์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลน์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยไบโอดีเซลชนิดเอสเตอร์ และกลีเซอรอล ดังสมการที่ 1 สำหรับแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ เมทานอล เนื่องจากมีราคาถูก และเกิดปฏิกิริยาได้ดี อย่างไรก็ตามเมทานอลที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้น ผลิตมาจากไฮโดรคาร์บอนที่มีแหล่งตั้งต้นจากปิโตรเลียมฟอสซิล ซึ่งประเทศไทยต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และเมื่อน้ำมันดิบปิโตรเลียมมีราคาสูงขึ้น เมทานอลก็จะมีราคาสูงขึ้นตามไปด้วยดังนั้นหากพิจารณา

ในมุมมองของการพึ่งพาตนเองของประเทศไทย การใช้เอทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตร ทดแทนเมทานอล เพื่อผลิตเป็นเอทิลเอสเตอร์ (Ethyl ester) จึงมีความเหมาะสมมากกว่า

ในปัจจุบันการผลิตเอทิลเอสเตอร์เชิงอุตสาหกรรมยังมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนกว่าการผลิตเมทิลเอสเตอร์ โดยเอทิลเอสเตอร์สามารถทำปฏิกิริยา สะพอนิฟิเคชันกับตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลน์ (สมการที่ 2) เกิดเป็นสบู่ได้รวดเร็วกว่าเมทิลเอสเตอร์ [2] จึงเป็นสาเหตุให้การแยกกลีเซอรอลออกจากเอทิลเอสเตอร์ทำได้ยากมาก เพราะเกิดเป็นไมเซลล์ (Micelle) ของกลีเซอรอลที่มีสบู่ล้อมรอบ [3] แต่สามารถผลิตได้เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแอลคอกไซด์ (Alkoxide) ซึ่งมีปริมาณน้ำที่ต่ำ



สมการที่ 1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน



สมการที่ 2 ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน

โดยทั่วไปแล้วในการผลิตไบโอดีเซลชนิดเอสเตอรื จะดำเนินการในถังปฏิกรณ์แบบกวนต่อเนื่อง (Continuous stirred tank reactor, CSTR) เนื่องจากเป็นระบบที่ง่าย ไม่ซับซ้อน [4] แต่เนื่องจากปฏิกิริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลชนิดเอสเตอรืนี้เป็นปฏิกิริยาระหว่างของเหลว 2 ชนิดที่ไม่ละลายเข้าด้วยกัน (Liquid-liquid reaction) ซึ่งถูกควบคุมโดยการถ่ายโอนมวล [5] โดยเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาผ่านไป กลีเซอรอลในระบบเพิ่มสูงขึ้นความสามารถในการถ่ายโอนมวลของแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์จะลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของ เอสเตอรืต่ำ [6,7] และมักจะไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการแก้ปัญหาดังกล่าวได้แก่ การใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณสูง [8,9] การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน 2 ครั้ง [10,11] และการแยกกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นออกจากระบบโดยเพิ่มขั้นตอนเหวี่ยงแยก หรือกรองผ่านเมมเบรน [4] เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้ยังมีค่าใช้จ่ายที่สูง และมีกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้สนใจศึกษาวิธีการผลิตไบโอดีเซลชนิดเอทิลเอสเตอรืโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบแยกกลีเซอรอลออกอย่างต่อเนื่อง (Continuous deglycerolisation, CD) โดยใช้หลักสมดุลความดันของของไหล เพื่อแยกกลีเซอรอลที่ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาบางส่วนออก ซึ่งจะลดการสะสมของกลีเซอรอลในระบบทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถดำเนินต่อไป และได้ผลผลิตเอทิลเอสเตอรืที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ไม่มากนัก นอกจากนั้นยังมีการดำเนินการที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อนเพื่อให้

สามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาต่อในการผลิตเอทิลเอสเตอรืเชิงอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

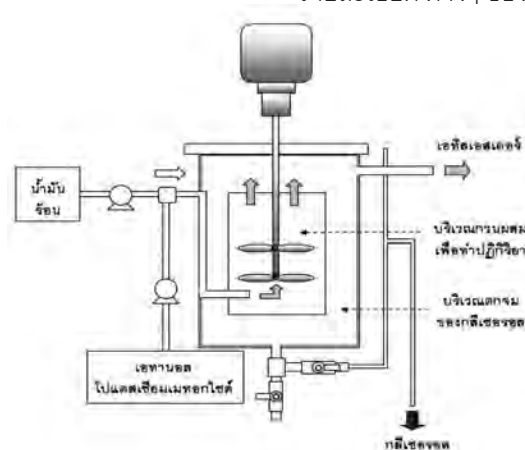
2. วิธีทดลอง

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

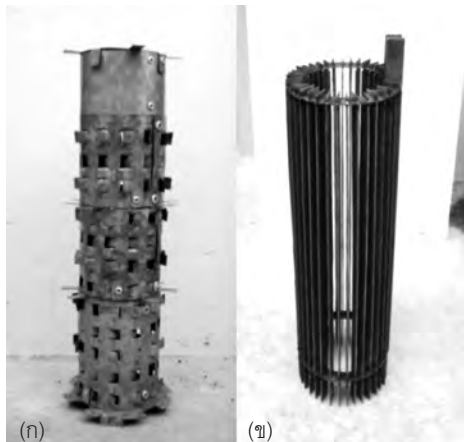
ในการทดลองนี้ใช้น้ำมันปาล์มรีไฟน์จากสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นวัตถุดิบ โดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระ และน้ำเริ่มต้นเท่ากับ 0.6%wt. และ 0.13%wt. ตามลำดับ ใช้เอทานอลความบริสุทธิ์ 99.5%wt. (บริษัท ยูเนี่ยน อินทราไก้ ประเทศไทย) เป็นแอลกอฮอล์ และโปแตสเซียม เมทอกไซด์ (Potassium methoxide, KOCH_3) (บริษัท เจบเซน แอนด์ เจสเซน เทคโนโลยี) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2 ถังปฏิกรณ์ชนิด CD

ถังปฏิกรณ์ CD ขนาด 2.5 ลิตรที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 1 มีลักษณะเป็นถังทรงสูง ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอล ซึ่งจะแบ่งถังปฏิกรณ์ออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนกวนผสม (Mixing zone) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน และส่วนตกจม (Settling zone) เพื่อให้เกิดการแยกของกลีเซอรอล แสดงดังภาพที่ 1 สำหรับอุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลที่ทำการศึกษามี 2 รูปแบบแสดงดังรูปที่ 2 โดยจะทำการทดลองใช้อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลรูปแบบที่ 1 (รูปที่ 2 ก) และ 2 (รูปที่ 2 ข) เพื่อหาสภาวะเหมาะสมในการผลิตเอทิลเอสเตอรื รายละเอียดต่างๆ ของถังปฏิกรณ์ CD แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ถังปฏิกรณ์ CD ขนาด 2.5 ลิตร



รูปที่ 2 อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลที่ใช้ในการทดลอง (ก) รูปแบบที่ 1 (ข) รูปแบบที่ 2

ตารางที่ 1 รายละเอียดของถังปฏิกรณ์ CD

รายการ	
ถังปฏิกรณ์	
- เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน, ซม.	10.5
- ความสูง, ซม.	29.0
- ปริมาตร, ลิตร	2.5
ปริมาตรอุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอล, ลิตร	
- รูปแบบที่ 1	1.25
- รูปแบบที่ 2	1.0
การกวนผสม	
- ขนาดใบพัด, ซม.	4
- ความเร็วรอบ, รอบต่อนาที	200

2.3 ปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันด้วยกระบวนการ CD

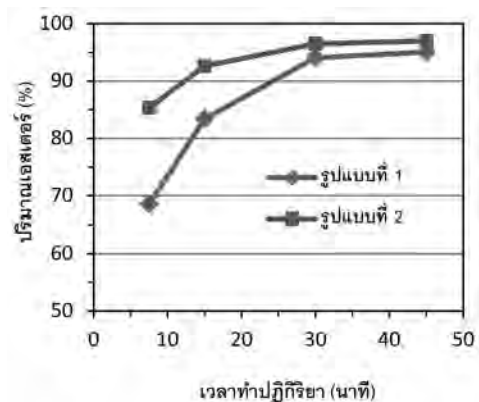
การทำงานของชุดผลิตเอทิลเอสเตอริ์แบบ CD เริ่มจากป้อนน้ำมันวัตถุดิบ โดยใช้ปั๊มเข้าสู่ชุดให้ความร้อน น้ำมันร้อนจะถูกผสมกับสารเคมีได้แก่สารละลายระหว่างเอทานอลและตัวเร่งปฏิกริยาในสัดส่วนต่างๆ ที่ต้องการศึกษา แล้วจึงป้อนเข้าถังปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกริยา ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เมื่อครบกำหนดเวลาที่ต้องการ กลีเซอรอลจะถูกแยกออกมา เข้าสู่ถังเก็บกลีเซอรอล และเอทิลเอสเตอริ์จะไหลล้นออกจากถังปฏิกรณ์ เข้าสู่ถังเก็บเอทิลเอสเตอริ์ ตามหลักการของดุลความดันของ

ของไหล [12] เอทิลเอสเตอริ์ที่ได้จากชุดผลิตนี้ จะต้องเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาด และวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอริ์โดยวิธีแบบกะประมาณตามอนุสิทธิบัตรเลขที่ 5060 [13] ซึ่งแต่ละการทดลองจะรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ และจะยืนยันค่าความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอริ์จากสภาวะการผลิตที่ดีที่สุดอีกครั้งโดยใช้การวัดค่าปริมาณเอสเตอริ์ตามวิธีมาตรฐาน (EN 14103) และตรวจสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ ปริมาณกลีเซอรอลอิสระ และกลีเซอรอลทั้งหมด (EN 14105) ค่ากรด (ASTM D664) ค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดง (ASTM D130) ปริมาณน้ำ (ASTM D6304) และความหนืด (ASTM D445)

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลของเวลาในการทำปฏิกริยา

จากการศึกษาเวลาในการทำปฏิกริยาช่วง 7 - 45 นาที เมื่อใช้อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอล รูปแบบที่ 1 และ 2 โดยมีสัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันต่อ เอทานอล เท่ากับ 1:5 ปริมาณโปแตสเซียมเมทอกไซด์ 1%wt. และอุณหภูมิควบคุมไว้ที่ 70°C ในการผลิตเอทิลเอสเตอริ์ ด้วยกระบวนการ CD พบว่าอุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอล รูปแบบที่ 2 จะให้ค่าความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอริ์สูงกว่า รูปแบบที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3

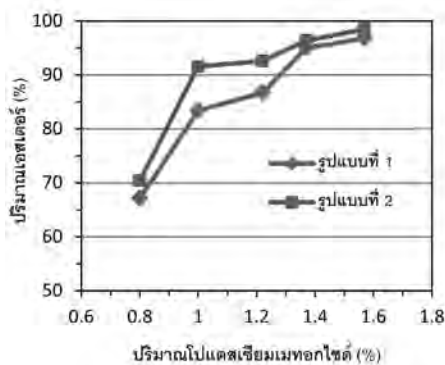


รูปที่ 3 ผลของเวลาในการทำปฏิกริยาที่มีต่อความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอริ์ เมื่อใช้อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลรูปแบบที่ 1 และ 2

จากรูปที่ 3 ยังแสดงให้เห็นว่าผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อค่าความบริสุทธิ์ของเอสเตอรืมีแนวโน้มที่คล้ายกัน เมื่อใช้อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลทั้ง 2 รูปแบบ คือผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาช่วงแรก ที่ 7–15 นาที ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะเห็นได้จากความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอรืที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นเป็น 30 และ 45 นาที ความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอรืจะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3.2 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมเมทอกไซด์

ทำการศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมเมทอกไซด์ในช่วง 0.8 - 1.6%wt. โดยสัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันต่อเอทานอล เท่ากับ 1:5 เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที และอุณหภูมิควบคุมไว้ที่ 70°C ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโปแตสเซียมเมทอกไซด์ จะส่งผลให้ค่าความบริสุทธิ์ของเอทิล เอสเตอรืเพิ่มขึ้น โดยการใช้อุปกรณ์ช่วยแยกกลี เซอรอล รูปแบบที่ 2 จะให้ค่าความบริสุทธิ์ของเอทิล เอสเตอรืสูงกว่ารูปแบบที่ 1 ในทุกๆ ปริมาณ โปแตสเซียมเมทอกไซด์ที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากเมื่อใช้อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลรูปแบบที่ 2 กลีเซอรอลจะถูกแยกออกมาได้ในปริมาณที่มากกว่ากรณีที่ใช้อุปกรณ์รูปแบบที่ 1 ส่งผลให้ปริมาณกลีเซอรอลรวม และสบูที่อยู่ในระบบ ซึ่งขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีขึ้น โดยค่าความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอรืเมื่อใช้อุปกรณ์รูปแบบที่ 2 จึงสูงกว่าอุปกรณ์รูปแบบที่ 1 ประมาณ 2-10%



รูปที่ 4 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมเมทอกไซด์ที่มีต่อค่าความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอรื เมื่อใช้อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลรูปแบบที่ 1 และ 2

ซึ่งสาเหตุที่อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลรูปแบบที่ 2 สามารถแยกกลีเซอรอลออกมาได้มากกว่ารูปแบบที่ 1 คือการมีทางเข้าสู่บริเวณตกจมของกลีเซอรอลที่ใหญ่ ส่งผลให้อนุภาคของกลีเซอรอลสามารถถูกเหวี่ยงเข้าไปได้ ง่าย อีกทั้งส่วนตกจมนี้ยังมีความปั่นป่วนไม่มากนัก ซึ่งเพียงพอให้กลีเซอรอลสามารถตกแยกชั้นออกจากเอทิลเอสเตอรื และไหลออกจากถังปฏิกิริยาได้ นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณโปแตสเซียม เมทอกไซด์ ที่ใช้ในปฏิกิริยาหากมีปริมาณน้อยเกินไป (0.8%wt.) เมื่อเวลาผ่านไปโปแตสเซียมเมทอกไซด์ จะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน [10] ซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงจนหมด และไม่เหลือพอสำหรับใช้เร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ส่งผลให้ค่าความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอรืค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณโปแตสเซียมเมทอกไซด์เป็น 1.6%wt. ค่าความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอรืจะผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

3.3 สมบัติด้านเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของเอทิล เอสเตอรื สามารถเทียบเคียงกับค่ามาตรฐานของเมทิลเอสเตอรื [14] ซึ่งกำหนดโดยกรมธุรกิจพลังงาน โดยเอทิลเอสเตอรืที่ได้จากสภาวะการผลิตที่ดีที่สุดเมื่อใช้สัดส่วนเชิงโมลระหว่างน้ำมันต่อเอทานอลเท่ากับ 1:5 ได้แก่ ปริมาณโปแตสเซียมเมทอกไซด์ 1.6%wt. เวลา และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 30 นาที และ 70°C ตามลำดับ พบว่าเอทิลเอสเตอรืที่ได้มีสมบัติด้านเชื้อเพลิงทุกค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติด้านเชื้อเพลิงของเอทิลเอสเตอร์

สมบัติ	วิธีวิเคราะห์	ค่าจากการวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน*
ปริมาณเอสเตอร์ (%wt.)	EN 14103	97.3	≥ 96.5
ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ (%wt.)	EN 14105	0.607	≤ 0.70
ปริมาณไดกลีเซอไรด์ (%wt.)	EN 14105	0.187	≤ 0.20
ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ (%wt.)	EN 14105	0.156	≤ 0.20
ปริมาณกลีเซอรอลอิสระ (%wt.)	EN 14105	0.004	≤ 0.02
ปริมาณกลีเซอรอลทั้งหมด (%wt.)	EN 14105	0.185	≤ 0.25
ค่ากรด (มิลลิกรัม KOH ต่อ กรัม)	ASTM D664	0.33	≤ 0.50
ค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดง (หมายเลข)	ASTM D130	1	≤ 1
ปริมาณน้ำ (%wt.)	ASTM D6304	0.03	≤ 0.05
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (เซนติสโตก)	ASTM D445	4.55	3.50-5.00

* ค่ามาตรฐานสำหรับไบโอดีเซลชนิดเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน

4. สรุป

การศึกษาเพื่อพัฒนาระบบปฏิกรณ์ CD สำหรับผลิตเอทิลเอสเตอร์ พบว่าสามารถแก้ไขข้อจำกัดของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในระบบการผลิตแบบ CSTR ซึ่งมักจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเอสเตอร์ต่ำได้ โดยถึงปฏิกรณ์ CD ที่ประกอบด้วย อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลรูปแบบที่ 2 ซึ่งมีลักษณะเป็นครีปยาวจะช่วยให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเกิดได้ดีกว่าการใช้อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลรูปแบบที่ 1 ซึ่งมีลักษณะเป็นช่องเปิด-ปิด เนื่องจากเมื่อใช้อุปกรณ์ช่วยแยกกลีเซอรอลรูปแบบที่ 2 อนุภาคของกลีเซอรอลมีช่องทางการออกสู่บริเวณตะกอนได้ง่ายกว่า ส่งผลให้ กลีเซอรอลสามารถแยกออกจากระบบได้มากกว่า ซึ่งจะลดปริมาณกลีเซอรอลรวม และสบูในระบบที่ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาลง ส่งผลให้เอทิลเอสเตอร์มีค่าความบริสุทธิ์สูงผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้โดยใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเอทานอลเพียง 1:5 โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณ KOH 1.6%wt. อุณหภูมิ 70°C และเวลาทำปฏิกิริยา 15 นาที ซึ่งจะได้เอทิลเอสเตอร์ที่มีความบริสุทธิ์ และผลได้ 97.3%wt. และ 92.0%wt. ตามลำดับนั้นนอกจากนั้นสมบัติด้านเชื้อเพลิงอื่นๆ เมื่อเทียบกับเคียงกับค่ามาตรฐานสำหรับไบโอดีเซลชนิดเมทิลเอสเตอร์ที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด พบว่ามีค่าเป็นไปตามเกณฑ์ทั้งสิ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พ.ศ.2555 และสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สว.)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Issariyakul T, Kulkarni MG, Dalai AK, Bakhshi NN. Production of biodiesel from waste fryer grease using mixed methanol/ethanol system. Fuel Process Technol. 2007;88:429-36.
- [2] Mendow G, Veizaga NS, Querini CA. Ethyl ester production by homogeneous alkaline transesterification: Influence of the catalyst. Bioresour Technol 2011;102:6385-91.
- [3] Nikhom R, Kungsanant S, Ratanawilai S, Nuthong P, Tongurai C. Characterization of Glycerol-Ester Emulsions from Transesterification with Different Alcohols Using the CLSM Technique. International Journal Of Renewable Energy Research. 2011;1(4):245-51.

- [4] Qiu Z, Zhao L, Weatherley L. Process intensification technologies in continuous biodiesel production. *Chem. Eng. and Proc.* 2010;49:323-30.
- [5] Slinn M. Improvements to the Biodiesel Process [Doctoral's Thesis]. Department of Chemical Engineering, The University of Birmingham; 2008.
- [6] Leung DYC, Wu X, Leung MKH. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Appl Energy.* 2010;87:1083-95.
- [7] Nikhom R, Tongurai C. Production development of ethyl ester biodiesel from palm oil using a continuous deglycerolisation process. *Fuel.* 2014;117:926-31.
- [8] Anastopoulos G, Zannikou Y, Stournas S, Kalligeros S. Transesterification of vegetable oils with ethanol and characterization of the key fuel properties of ethyl esters. *Energies.* 2009;2:362-76.
- [9] Keera ST, Sabagh SM, Taman AR. Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst. *Fuel.* 2010;90:42-7.
- [10] Enciner JM, González JF, Reinares AR. Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization. *Fuel Process Technol.* 2007;88:513-22.
- [11] Çaylı G, Küsefoğlu S. Increased yields in biodiesel production from used cooking oils by a two step process: Comparison with one step process by using TGA. *Fuel Proc Technol.* 2008;89:118-22.
- [12] Geankoplis CJ. Transport process and unit operations. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall International Inc; 1993.
- [13] Tongurai C. Approximately analysis of total glyceride content in biodiesel by transesterification using microwave radiation technique. Thailand Patty Patent 5060, 2008 Aug 18. (In Thai).
- [14] Shell Comments on National Standard for Biodiesel Discussion Paper, 2003.