

การผลิตไบโอดีเซลโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อน Production of Biodiesel Using Non-Thermal Energy Reactor

วารุณี ลิ้มมันน์*¹ รัตนะชัย ไพรินทร์² คณิต กฤษณังกูร² แก้วกันยา สุดประเสริฐ¹

¹สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 โทร 0-2470-8000 E-mail: wlimmun@gmail.com

Warunee Limmun¹ Rattanachai² Pairintra Kanit Krisnangkura² Kaokanya Sudaprasert¹

¹Division of Energy Technology, School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi,

²School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi

126 Pracha-uthit Road, Bangmod, Thung Khru District, Bangkok 10140 Thailand Tel: 0-2470-8000 E-mail: wlimmun@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญและเป็นอีกทางเลือกที่ใช้ในการแก้ปัญหาวิกฤติน้ำมันแพง แต่ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลมีราคาที่สูง งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบผลิตไบโอดีเซลแบบไม่ใช้พลังงานความร้อน โดยใช้กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.08 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร มีปริมาตร 1.6 ลิตร ภายในมีน้ำมันปาล์มและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สารภายในเครื่องปฏิกรณ์มีการไหลแบบปั่นป่วน จึงเพิ่มวัสดุบรรจุในท่อ ดังนั้นจึงสามารถทำให้สารตั้งต้น และตัวเร่งปฏิกิริยาผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีวิธีนี้จะช่วยลดการใช้พลังงานความร้อน ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลลดลง อีกทั้งยังมีความปลอดภัยในการใช้งาน การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 6:1, 9:1 และ 12:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเวลาที่ทำการปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 30, 45 และ 60 นาที จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลคืออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 และใช้เวลาเฉลี่ย 60 นาทีในการทำการปฏิกิริยา ซึ่งเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ 99.95%

คำสำคัญ : ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์/เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ/
ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน/ไบโอดีเซล

Abstract

Recently, biodiesel is one of the most important renewable energy and is a promising alternative for solving the energy crisis. One major problem of biodiesel producing is its high processing

cost. In this research, the non-thermal process is proposed. Continuous transesterification process is carried out in tube of 5.08 cm in diameter and 80 cm in length of tubular reactor (1.6-liter). Palm oil and methanolic sodium hydroxide is fed to the reactor continuously. A turbulent flow is generated inside the reactor causing the homogeneity in the mixture. This procedure reduces the use of thermal energy in biodiesel production; as a consequence, the production cost is decreased and safety is improved. The reactor is tested in order to determine the optimum condition. Experiments are carried out in terms of molar ratios of methanol to palm oil at 6:1, 9:1 and 12:1 with sodium hydroxide concentration of 2% (weight/volume). The residence time is designated as 30, 45 and 60 minutes. The optimum molar ratio of methanol to palm oil is 9:1 with the sodium hydroxide concentration of 2 % and the residence time of 60 minutes. Under the optimum condition, the methyl ester has the maximum purity of 99.95%.

Key words : Biodiesel/Purity of methyl ester/
Transesterification/Tubular Reactor

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ประเทศไทยได้ประสบกับวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานซึ่งนับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมาก โดยเฉพาะการใช้พลังงานเชื้อเพลิงปิโตรเลียมมีปริมาณการใช้ที่เพิ่มสูงขึ้น แต่แหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงสำรองในประเทศไทยนั้นมีอยู่อย่างจำกัด จึงต้องมีการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศในปริมาณมาก ซึ่งมีมูลค่าหลายหมื่นล้านบาทต่อปี และราคาน้ำมันโลกนั้นยังมีค่าสูงขึ้นอีกด้วย จากปัญหาดังกล่าวนี้ทำให้ภาครัฐหันมาส่งเสริมเกี่ยวกับการแสวงหาแหล่ง

เชื้อเพลิงและพลังงานที่ผลิตได้เองภายในประเทศเพื่อเป็นการทดแทนการนำเข้าพลังงานได้ในส่วนหนึ่งและพบว่าพลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมคือ การผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากไบโอดีเซลมีข้อได้เปรียบหลายประการ อาทิเช่น มีการเผาไหม้สะอาด ซึ่งจะก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลเป็นอย่างมาก และไบโอดีเซลมีจุดติดไฟที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีอัตราการระเหยเป็นไอต่ำจึงง่ายต่อการขนส่งมีความปลอดภัยจากประกายไฟมากกว่า อีกทั้งไบโอดีเซลนั้นยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ จึงไม่มีอันตรายต่อผู้ใช้งานเช่นน้ำมันดีเซล อีกประการหนึ่งที่สำคัญคือเป็นการช่วยสนับสนุนเกษตรกรในการทำให้ราคาของพืชผลทางการเกษตรมีคุณค่าและราคาสูงขึ้นซึ่งจะส่งผลดีโดยตรงต่อเศรษฐกิจของประเทศ

การผลิตไบโอดีเซลส่วนใหญ่ในปัจจุบันใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ด้วยกระบวนการผลิตแบบกะซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้วัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ต่ำ ทำให้ราคาของไบโอดีเซลกว่า 60% อยู่ที่วัตถุดิบ ซึ่งใช้เวลาในการเตรียมการมาก และกระบวนการแบบกะนี้ยังมีข้อต่อหลายประการยกตัวอย่างเช่น กระบวนการแบบกะต้องการปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ ใช้ผู้ปฏิบัติงานหลายคน ดังนั้นจึงต้องการเงินลงทุนสูงกว่า และคุณภาพผลผลิตยังไม่สม่ำเสมอ โดยทางเลือกหนึ่งที่จะแก้ปัญหานี้ได้คือ กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง เนื่องจากมีกำลังการผลิตสูง สามารถควบคุมคุณภาพผลผลิตได้ดีกว่า และใช้ผู้ปฏิบัติงานน้อยกว่า จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการผลิตไบโอดีเซลระดับอุตสาหกรรม ซึ่งกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องนั้นมีการผลิตด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกวนผสมต่อเนื่อง (Continuous Stirred Tank Reactor) และเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ (Tubular reactor) จากการค้นคว้าพบว่าการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องมีจำนวนน้อยมาก งานวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นการวิจัยในเรื่องของการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกวนผสมต่อเนื่อง โดย Leevijit T. et al. [2] ผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกวนผสมอย่างต่อเนื่องจากน้ำมันปาล์ม โดยเป็นถึงกวนเชิงกล 6 ชั้น ซึ่งมีปริมาตร 2.72 ลิตร โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 6-12 นาที และอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลกับน้ำมัน คือ 6:1 ซึ่งได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ได้ในช่วงร้อยละ 97.50-99.20 ซัยลิตซ์ ไชยวงศ์ และชญาณิศา พลอดวงศ์ [3] ได้ผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์กวนผสมแบบต่อเนื่องจากกรดไขมันปาล์ม ขนาดกำลังการผลิต 5 ลิตรต่อชั่วโมง โดยกระบวนการแบบเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลกับส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเป็น 8.8:1 และมีกรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.834 โดยน้ำหนักของส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม ใช้ความเร็วรอบในการกวนครั้งที่ 500 รอบต่อนาทีคงที่ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 75 นาที และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เป็น 94.49 คัลเวซ เกตุแก้ว และประกอบ กิจไชยา [4] ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่มีวัสดูดซับอยู่บางส่วน โดยใช้วัสดูดซับที่มีใช้ในอุตสาหกรรมการกลั่น โดยอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อัตราการไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง

เวลาพักตัว 10, 20 และ 30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ได้ในช่วงร้อยละ 36.00 ถึง 72.00 จากรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์พบว่า กระบวนการในการผลิตไบโอดีเซลจำเป็นต้องมีการกวนผสม เนื่องจากในการผลิตไบโอดีเซลนั้นสารตั้งต้นคือ น้ำมันและแอลกอฮอล์มีสภาพที่ไม่ละลายหรือละลายเข้ากันได้ไม่มากนัก การที่จะทำให้สารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันนั้นจำเป็นต้องมีการกวนเพื่อให้สารมีการแพร่เข้าหากันเพื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดได้ดี และอีกปัจจัยหนึ่งคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะส่งผลต่อความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของการผลิตไบโอดีเซล ปัจจัยทั้งสองข้างต้นทำให้การผลิตไบโอดีเซลเกิดความซับซ้อน และอาจมีปัญหาในเรื่องของต้นทุนในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลที่อุณหภูมิห้องได้ และยังสามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำไบโอดีเซลได้อีกด้วย Attanatho L. et al. [5] ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ได้ร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 92.77 และร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 99.27 และ Sulisty, H. et al. [6] ได้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1, ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง และทำการทดสอบสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้พบว่า มีสมบัติต่าง ๆ คล้ายกับน้ำมันดีเซล ยกเว้นค่าความหนืดที่มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การผลิตไบโอดีเซลแบบไม่ใช้พลังงานความร้อนด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่มีวัสดูดซับอยู่ภายในด้วยกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง เพื่อช่วยให้สารตั้งต้นทั้งสองผสมเข้ากัน และเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น และหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ ที่อุณหภูมิห้อง

2. วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง

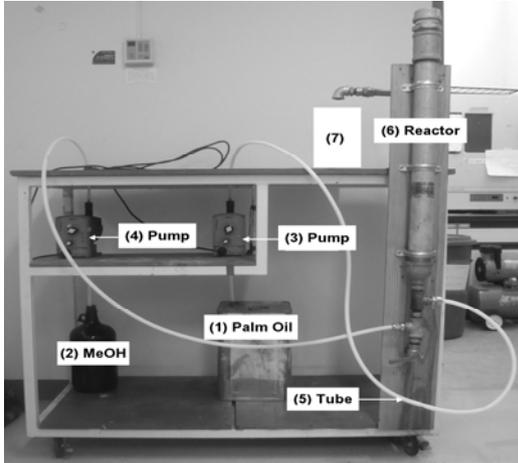
2.1 วัสดูด

วัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในการศึกษานี้ได้แก่ น้ำมันปาล์ม เมทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก

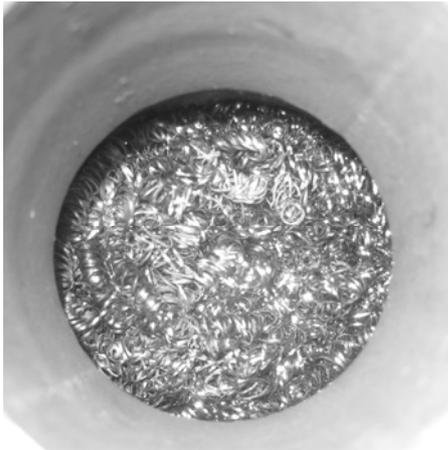
2.2 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อน แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย ภาชนะบรรจุน้ำมันปาล์ม (1) ภาชนะบรรจุสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ (2) เครื่องบด (ProMinent model Beta5A, Heidelberg, Germany) ทำหน้าที่สูบน้ำมันปาล์ม (3) เครื่องบด (ProMinent model Beta5A, Heidelberg, Germany) ทำหน้าที่สูบสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ (4) และเครื่องบดทั้ง 2 ตัวสามารถปรับอัตราไหลของวัตถุดิบได้ตามต้องการ โดยทำหน้าที่สูบน้ำมันปาล์มผ่านท่อทวนสารเคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 มิลลิเมตร (5) เพื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบต่อเนื่องภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อน ซึ่งเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อมี่ปริมาตรรวม 1.6 ลิตร ซึ่งใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.08 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร โดยมีฟลอยสแตนเลส

(Stainless Spiral Ball) จำนวน 15 ชิ้น บรรจุอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (6) ดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อช่วยให้สารตั้งต้นทั้งสองผสมกันให้เกิดปฏิกิริยาดีขึ้น จากนั้นส่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน ไปรวมกันที่ภาชนะรองรับ (7) เพื่อรอทำการแยกไบโอดีเซลออกจากผลิตภัณฑ์อื่น ๆ การสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่ไม่ใช้พลังงานความร้อนนี้สามารถสร้างและประกอบง่าย ซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการผลิต และสามารถนำไปใช้งานได้จริง



รูปที่ 1 ชุดการทดลอง



รูปที่ 2 รูปภายในของเครื่องปฏิกรณ์

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้ได้ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อนโดยพิจารณาจากร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลโดยเครื่องปฏิกรณ์ โดยศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาซึ่งได้ออกแบบการทดลองทั้งหมด 9 การทดลอง โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง(30-33 องศาเซลเซียส) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 6:1, 9:1 และ 12:1 เวลาที่ทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 30, 45 และ 60 นาที โดยมีแผนภาพการทดลองดังรูปที่ 3 ซึ่งทำการทดลองโดยป้อนน้ำมันปาล์ม และสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยปั๊มเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ตามอัตราการไหลที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ 1 เพื่อให้ได้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 30, 45 และ 60 นาที จากนั้นวัดอัตราการไหล พร้อม

เก็บตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาหยุดปฏิกิริยาด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 M ปลอ่ยให้ไบโอดีเซลและกลีเซอรอลเกิดการแยกชั้น โดยนำไบโอดีเซล (ชั้นบน) มาทำการล้างสิ่งปนเปื้อนด้วยน้ำกลั่น จนไบโอดีเซลมีค่า pH 7 และนำไปวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ด้วยเครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) วัดด้วยเครื่อง Hydrometer และความหนืด (Viscosity) วัดด้วยเครื่อง Viscometer เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและบ่งชี้ถึงผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน



รูปที่ 3 แผนภาพการทดลองของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องปฏิกรณ์

2.3 การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

การวิเคราะห์องค์ประกอบของความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ด้วยเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase: isooctane: toluene: acetic acid, 65:35:0.15 v/v)

ตารางที่ 1 อัตราการไหลที่ใช้ในการทดลอง

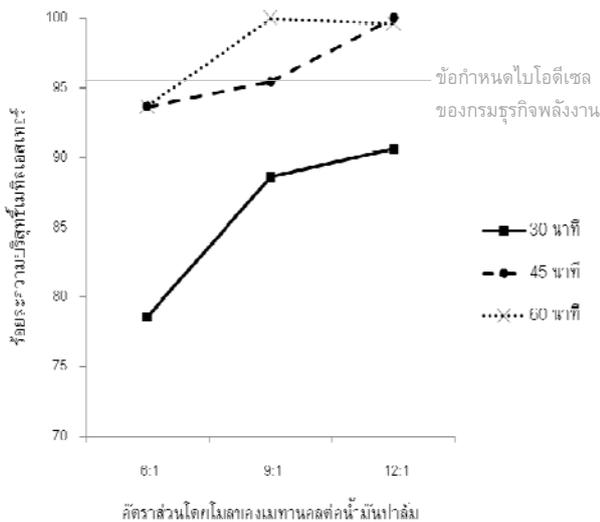
ชุดการทดลอง	อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	อัตราการไหลของน้ำมันปาล์ม (ml/min)	อัตราการไหลของสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ในเมทานอล (ml/min)
1	6:1	30	42.73	10.60
2		45	28.49	7.07
3		60	21.36	5.30
4	9:1	30	38.86	14.47
5		45	25.91	9.65
6		60	19.43	7.23
7	12:1	30	35.64	17.69
8		45	23.76	11.79
9		60	17.82	8.85

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มและเวลาที่ทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์

ผลการทดลองจากการผลิตไบโอดีเซลโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อนซึ่งได้ออกแบบการทดลอง 9 การทดลองนั้น โดยทำการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และใช้อุณหภูมิห้องในการทำปฏิกิริยา ดังรูปที่ 4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้กับอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มด้วยระยะเวลาที่ทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 30, 45 และ 60 นาที พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ คือ 30, 45 และ 60 นาที ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องตามรายงานวิจัยของ Attanatho L. et al. [5] และเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มในช่วง 6:1-12:1 ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 78.58 เป็น 99.95 และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มมากกว่า 9:1 ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ต่าง ๆ ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งสอดคล้องตามรายงานวิจัยของ Freedman, B. et al. [7]

จากการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้องอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 12:1 ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 45 นาที จะดีที่สุดในการผลิตไบโอดีเซล แต่เลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 9:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที เนื่องจากที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 9:1 มีค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับคือ 99.95 แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการเพิ่มสารเคมีแล้วจึงเลือกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 9:1 เพื่อการประหยัดค่าใช้จ่าย



รูปที่ 4 ร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 30, 45 และ 60 นาที และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1, 9:1 และ 12:1

3.2 สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล

การวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อนได้จากภาวะการทดลองที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ 9:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล

สมบัติ	ข้อกำหนด		ไบโอดีเซลจากเครื่องปฏิกรณ์	มาตรฐานในการทดสอบ
	ดีเซลหมุนเร็ว	ดีเซลหมุนช้า		
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส	0.81-0.87	<0.92	0.88	ASTM D1298
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส, มิลลิลิตร/บาศก์เมตรต่อวินาที	1.8-4.1	<8.0	4.55	ASTM D445

จากตารางที่ 2 สมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลสูงกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย หรือราว 1.1% ซึ่งเมื่อนำไบโอดีเซลที่ได้ไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว อาจส่งผลให้เครื่องยนต์มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงสิ้นเปลือง เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้กับค่ามาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนช้า พบว่า ผ่านมาตรฐานทุกค่า ซึ่งสรุปได้ว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อนนั้นเหมาะสมกับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า

3.3 การประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อน้ำมันปาล์มโดยใช้พลังงานความร้อน ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 9:1 ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตรจากข้อมูลกำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ (Heater) ในการให้พลังงานความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์เป็นระยะเวลา 1.23 ชั่วโมง ฮีตเตอร์กำลังไฟฟ้า 3,000 วัตต์ และค่าไฟฟ้าอัตราปกติ ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก [10] ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.4649 บาทต่อหน่วย ดังนั้น ค่าพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสามารถหาได้จากสมการ (1)

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} = \left(\frac{\text{จำนวนวัตต์} \times \text{ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย}}{1,000} \right) \times \text{ระยะเวลา} \quad (1)$$

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} = \left(\frac{3,000 \times 2.4649}{1,000} \right) \times 1.23$$

$$= 9.10 \text{ บาท}$$

หมายเหตุ

การคำนวณข้างต้นเป็นการคำนวณโดยให้ฮีทเตอร์ทำงานตลอดระยะเวลาใช้งาน (Full load)

จะเห็นได้ว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ฮีทเตอร์เพื่อพลังงานความร้อนมีค่าเท่ากับ 9.10 บาทต่อลิตร ถ้ามีการออกแบบให้มีกำลังการผลิตมากขึ้นถึง 1,000 ลิตร จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าถึง 9,095.48 บาท ดังนั้น การผลิตไบโอดีเซลโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อนในสภาวะดังกล่าวข้างต้นจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ เมื่อเทียบกับการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์โดยใช้พลังงานความร้อน

3.4 การประเมินค่าวัสดุในการสร้างเครื่องปฏิกรณ์

ในการประเมินค่าวัสดุพิจารณาเฉพาะตัวเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งการคำนวณราคาวัสดุในการสร้างตัวเครื่องปฏิกรณ์จะใช้ข้อมูลราคาวัสดุที่ขายปลีกในท้องตลาด แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ราคาวัสดุในการสร้างเครื่องปฏิกรณ์

วัสดุ	ราคา
ท่อเหล็ก ยาว 80 เซนติเมตร	128 บาท
ฝอยสแตนเลส 15 ชั้น	70 บาท

ดังนั้น เครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อนมีค่าใช้จ่ายด้านวัสดุในการสร้างตัวเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 198 บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์นี้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านวัสดุ ด้านพลังงาน และยังเป็นทางเลือกที่ดีในการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์ ข้อดีอีกอย่างของเครื่องปฏิกรณ์นี้คือ สร้างและประกอบเครื่องปฏิกรณ์ง่าย ไม่ซับซ้อน ปลอดภัยต่อการใช้งาน ง่ายต่อการบำรุงรักษาเครื่องปฏิกรณ์ และระยะเวลาในการใช้งานยาวนาน

4. สรุปผลการทดลอง

การผลิตไบโอดีเซลโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อนด้วยกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ในกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ซึ่งภายในเครื่องปฏิกรณ์บรรจุฝอยสแตนเลส เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของสาร จึงทำให้สารต้นต้นทั้งสองผสมเข้ากันได้ดีขึ้น และเกิดปฏิกิริยาได้ดี ซึ่งฝอยสแตนเลสนั้นทนทานต่อการกัดกร่อนจึงสามารถใช้งานได้นาน และไม่เปราะแตก ดังนั้น ในกระบวนการผลิตจะไม่มีการเติมสารเติมแต่ง และในการผลิตไบโอดีเซลโดยเครื่องปฏิกรณ์นี้ พบว่า อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม และเวลาที่ทำการปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์นั้นส่งผลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์อย่างชัดเจน ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตไบโอดีเซลโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อนคือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่อุณหภูมิห้อง (30-33 องศาเซลเซียส) อัตราส่วนโดยโมลของ

เมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 9:1 ระยะเวลาทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที ให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 99.95 และค่าความหนืด 4.55 มิลลิลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าความต่างจำเพาะ 0.88 ซึ่งผ่านมาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนช้า ดังนั้น ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากเครื่องปฏิกรณ์จึงเหมาะสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า หรือเครื่องยนต์การเกษตร

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 การแยกชั้นระหว่างชั้นของเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล หรือการแยกชั้นของน้ำในการล้างเมทิลเอสเทอร์นั้น สามารถใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงช่วย ซึ่งทำให้ชั้นของเมทิลเอสเทอร์แยกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์เท่านั้น ซึ่งยังขาดข้อมูลด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ละเอียดจะทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบไม่ใช้พลังงานความร้อนในเชิงพาณิชย์

5.3 ควรมีการออกแบบและทดลองเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อโดยไม่ใช้พลังงานความร้อนเป็นต่อแบบอนุกรมด้วยกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องทุนสนับสนุนในงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี ภาควิชาเทคโนโลยีชีวเคมี ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีไขมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่และอุปกรณ์ในงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่เป็นกำลังงานงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน, สรุปรการผลิต นำเข้า จำหน่าย ส่งออกน้ำมันเชื้อเพลิง [Online], Available: http://www.doeb.go.th/information/info_conclude52.html [19 เมษายน 2552], 2551.
- Leevijit T., Tongurai C., Prateepchaikul G., and Wisutmethangoon W., "Performance Test of a 6 Stage Continuous Reactor for Palm Methyl Ester Production", *Bioresource Technology*, Vol. 99, No. 1, pp. 214-221, 2009.
- ชัยสิทธิ์ ไชยวงศ์ และชญาณิศา ปลอดวงศ์, "การออกแบบและสร้างถังปฏิกรณ์แบบกวนผสมอย่างต่อเนื่องสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมัน", *ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*, 2551.
- ศัลยเวช เกตุแก้ว และประกอบกิจไชยา, "การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชแล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่มีวัสดุบรรจุ", *การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย*, ครั้งที่ 15, ตุลาคม 2548.

5. Attanatho L., Magmee S., and Jenvanitpanjakul P., "Factors Affecting the Synthesis of Biodiesel from Crude Palm Kernel Oil", The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)", pp. 359-361, 2004.
6. Sulisty, H., Rahayu, S.S., Winoto, G., and Suardjaja, I.M., "Biodiesel Production from High Iodine Number Candlenut Oil" Proceeding of World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 36, pp. 1316-1319, 2008.
7. Freedman, B., Pryde, E.M. and Mounts, T.L., Variables Affecting the Yield of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils, J. Am. Oil Chem. Soc., 61, pp. 1638-1643, 1984.
8. วีรชัย เลิศสถาพรสุข, รัตนชัย ไพรินทร์, และ คณิต กฤษณังกูร, การใช้รังสีไมโครเวฟเร่งการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องและผลกระทบของการใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าขนาด 100 kW, วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 29 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2549.
9. กรมธุรกิจพลังงาน, กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล [Online], Available: http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bears/biodiesel_picture/quality_diesel_2_50.pdf, 2551.
10. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, "อัตราค่าไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค", [Online], Available: <http://www.pea.co.th/rates/Rate2006.pdf>
11. พลังงาน, ประสิทธิภาพ และการเพิ่มผลผลิต, "วิธีคำนวณค่าไฟฟ้า", [Online], Available: <http://eep.cportal.net/KnowledgeSharing/tabid/1029/articleType/ArticleView/articleId/306/.aspx>.