

การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการให้ความร้อนจากไมโครเวฟ และการไหลต่อเนื่องและการทดสอบสมรรถนะของไบโอดีเซล ในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว

Biodiesel Production by Continuous-Flow Microwave Heating Process and Performance Evaluation in a Single Cylinder Diesel Engine

ชาญณรงค์ อัสวเตศานุภาพ*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ศิริพรรณ กลั่นศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Channarong Asavatesanupap*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Siriphan Klansiri

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

เครื่องปฏิกรณ์สำหรับผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องโดยอาศัยการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ขนาด 2,000 W กำลังการผลิตสูงสุด 760 mL/min สร้างขึ้นสำหรับผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จากทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพบว่าสารตั้งต้นที่อัตราส่วนโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 7.5 : 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา KOH 2.0 % wt/wt อัตราการไหล 700 mL/min ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 °C จะได้ไบโอดีเซลที่มีค่า FAMES สูงสุด 97.4 % wt/wt และมีสมบัติไบโอดีเซลพื้นฐานเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซลประเทศไทยที่กำหนดไว้ สำหรับการทดสอบสมรรถนะของไบโอดีเซลบนเครื่องยนต์ดีเซลทดสอบ ขนาด 10 แรงม้า ที่สัดส่วนไบโอดีเซลต่าง ๆ (B10 และ B50) เปรียบเทียบกับดีเซล (D100) นั้นพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีสมรรถนะการทำงานใกล้เคียงกับดีเซล โดยค่ากำลังเครื่องยนต์และแรงบิดสูงขึ้นเฉลี่ย 5.3 % และอัตราสิ้นเปลืองจำเพาะลดลงเฉลี่ย 3.7 % นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังมีการปลดปล่อยมลพิษลดลงอีกด้วย

*ผู้รับผิดชอบบทความ : achamna@tu.ac.th

คำสำคัญ : ไมโครเวฟ; ไบโอดีเซล; การไหลต่อเนื่อง; น้ำมันปาล์ม; การทดสอบสมรรถนะ; เครื่องยนต์ดีเซล

Abstract

A continuous-flow microwave-assisted reactor, which has the microwave power of 2,000 W and maximum flow rate of 760 mL/min, was developed for biodiesel production from palm oil via transesterification. The experiments were conducted to determine the optimum conditions for biodiesel synthesis using the developed reactor. It is found that the maximum yield (FAMES) of 97.4 % wt/wt was obtained at optimum conditions of 7.5 : 1 alcohol to oil molar ratio, 2.0 % wt/wt KOH, 50 °C reaction temperature and 700 mL/min flowrate. Biodiesel produced meets Thailand biodiesel standard. In addition, biodiesel blends (B10 and B50) were tested on a 10 HP diesel engine and compared with conventional diesel (D100). The result shows that the performance of biodiesel blends were similar to that of conventional diesel. The average power and torque of biodiesel blends were 5.3 % higher. The average specific fuel consumption of biodiesel blends was 3.7 % lower. Besides, biodiesel blends produced lower level emissions.

Keywords: microwave; biodiesel; continuous flow; palm oil; performance evaluation, diesel engine

1. บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ทำให้สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรง หรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลก็ได้ ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์และแอลกอฮอล์ [1,2] ในปัจจุบันไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจและถูกนำไปใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพ เพราะสามารถผลิตได้จากแหล่งทรัพยากรที่หมุนเวียนได้ อีกทั้งไบโอดีเซลมีองค์ประกอบของสารที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย มีการปลดปล่อยมลพิษต่ำกว่าการใช้้ำมันดีเซล [3-5] ทำให้การศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างกว้างขวาง

สำหรับไบโอดีเซลในประเทศไทยนั้น ปัจจุบันภาครัฐมีนโยบายส่งเสริมให้เกิดการผลิตและใช้ไบโอดีเซลอย่างจริงจัง ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล (ฉบับที่ 7) พ.ศ. 2554 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาดขณะนี้จะมีส่วนผสมของไบโอดีเซลอยู่ในสัดส่วนร้อยละ 4.5-5 หรือที่รู้จักกันในชื่อน้ำมันดีเซล B5

การผลิตไบโอดีเซลสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันนั้น คือ การผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาเคมีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) [5] ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดไขมัน (triglyceride) จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ ซึ่งอาจเป็นเอทานอล (ethanol) หรือเมทานอล (methanol) โดยในปฏิกิริยาดังกล่าวอาจมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและการ

ให้ความร้อนเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ ผลผลิตที่ได้จะเป็นไบโอดีเซลซึ่งเป็นสารประเภทเอสเทอร์ (ester) คือ กรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ (fatty acid ethyl esters, FAEs) กรณีที่ใช้เอทานอลเป็นสารตั้งต้นและกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (fatty acid methyl esters, FAMEs) สำหรับเมทานอลและมีผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอล (glycerol) ในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวกับไบโอดีเซลนั้น ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาและพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชทั้งที่เป็นน้ำมันพืชสำหรับบริโภค ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว เป็นต้น และสำหรับน้ำมันจากพืชที่ไม่สามารถนำมาใช้บริโภค ได้แก่ สบู่ดำ ยาง ผ้าย เป็นต้น [4-6]

นอกจากการการศึกษาและวิจัยที่มุ่งเน้นในส่วนของการผลิตไบโอดีเซลแล้ว นักวิจัยจำนวนมากได้ให้ความสนใจในกระบวนการผลิตซึ่งอาจเป็นกระบวนการผลิตแบบกะ (batch process) หรือแบบต่อเนื่อง (continuous process) [7-9] รวมไปถึงการให้ความร้อนสำหรับปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยมีการนำเอากระบวนการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟมาใช้ จากศึกษาพบว่า กระบวนการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ (microwave heating) มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงกว่าเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนแบบทั่วไป (conventional heating) มีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ดีและสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาได้ [10,11]

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง โดยอาศัยการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ เพื่อใช้ศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทานอล เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์ที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของไบโ

อดีเซลที่ผลิตขึ้น และทดสอบสมรรถนะของไบโอดีเซลเมื่อนำไปใช้บนเครื่องยนต์ทดสอบ

2. วิธีการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์สำหรับผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งพัฒนามาจากเตาไมโครเวฟในห้องทดลองที่ถูกสร้างขึ้นมาในหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (Research Center of Microwave utilization in Engineering, RCME) โดยเครื่องปฏิกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีกำลังไมโครเวฟ 2,000 W อัตราการไหลของสารตั้งต้นสูงสุด 760 mL/min และมีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยารายละเอียดแสดงดังรูปที่ 1 โดยขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล การวิเคราะห์สมบัติและการทดสอบสมรรถนะบนเครื่องยนต์ดีเซลสูบลมเดียวมีรายละเอียดดังนี้

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลองจะเป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (refined palm oil, RPO) มีปริมาณของกรดไขมันอิสระอยู่ 0.15 % แอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาคือเมทานอล (methanol, CH₃OH) ความเข้มข้น 99.8 % โดยมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) ความเข้มข้น 85.0 % เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยทดสอบการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้สารตั้งต้นในอัตราส่วนโมล แอลกอฮอล์และน้ำมันเท่ากับ 6 : 1, 7.5 : 1, 9 : 1 และ 10.5 : 1 โดยในขั้นตอนการเตรียมสารตั้งต้นจะมีการเตรียมสารละลายที่เป็นส่วนผสมของแอลกอฮอล์กับตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วน 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 % wt/wt อุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาจะถูกควบคุมไว้ที่ 50 °C สำหรับการป้อนสารตั้งต้นเข้าเครื่องปฏิกรณ์จะทดสอบด้วย

อัตราการไหล 550, 700, 850, 1000 และ 1150 mL/min ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันจะถูกนำไปแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซล

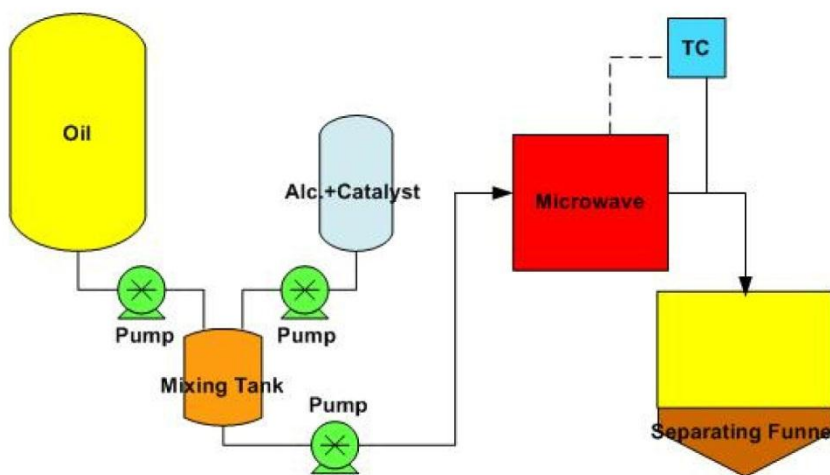
จากนั้นไบโอดีเซลที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการล้างและแยกสิ่งเจือปนก่อนนำไปโอดีเซลไปทดสอบหรือใช้งานต่อไป



(ก) ภาพถ่ายเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ



(ข) ท่อปฏิกิริยา



(ค) ไดอะแกรมเครื่องปฏิกรณ์

รูปที่ 1 เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟที่พัฒนาขึ้น

2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะถูกนำมาทดสอบหาสมบัติพื้นฐาน ดังนี้ (1) ปริมาณ FAMES และปริมาณ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC) ยี่ห้อ HEWLETT PACKARD รุ่น

HP6890 (2) ค่าความเป็นกรดและค่าไอโอดีนโดยใช้ เครื่อง Compact titrator รุ่น G20 และ (3) ค่าความหนืดโดยใช้เครื่อง viscosity bath เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว [12]

2.4 การทดสอบสมรรถนะของไบโอดีเซลบนเครื่องยนต์ทดสอบ และการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

การทดสอบสมรรถนะไบโอดีเซลที่ผลิตได้โดยนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล 100 % (D100) ด้วยอัตราส่วนผสมร้อยละ 10 (B10) และ 50 (B50) แล้วนำไปทดสอบบนเครื่องยนต์ดีเซลแบบสูบเดี่ยว ชนิดห้องเผาไหม้โดยตรงบนแท่นทดสอบไดนาโมมิเตอร์ เครื่องยนต์ทดสอบยี่ห้อ Kubota รุ่น RT100DI ขนาด 10 แรงม้า ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) เป็นแบบกระแสไหลวน (Eddy current) ยี่ห้อ Tokyokoki Schenck รุ่น W-40 กำลังสูงสุด 60 แรงม้า (PS) อัตราเร็วสูงสุด 17,000 รอบต่อนาที

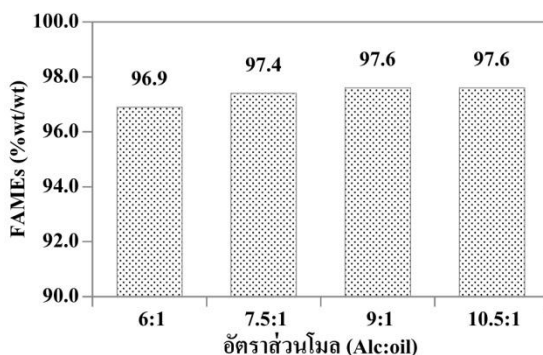
สำหรับการวิเคราะห์มลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ปล่อยออกมานั้นจะมีการทดสอบค่าควันดำและปริมาณก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm (เครื่องยนต์มีค่าแรงบิดสูงสุด) และ 2,400 rpm (เครื่องยนต์ให้ภาระสูงสุด) ตามลำดับ โดยเครื่องวัดค่าควันดำ (smoke meter) แบบกระตาดยี่ห้อ Sokken รุ่น GSM-3DPM และเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย (exhaust gas analyzer) ยี่ห้อ EMS รุ่น 5002 ซึ่งใช้ทำการตรวจวัดปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และ ไนโตรเจนออกไซด์ (nitrogen oxide, NO)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 สภาพที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

3.1.1 อัตราส่วนโมลของสารตั้งต้น ผลการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนโมลระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมันที่เหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 2 ภายใต้สภาวะอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 2.00 % wt/wt อัตราการไหลของสารตั้งต้น 700 mL/min พบว่าปริมาณ FAMEs ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใช้ โดยมีค่าสูงกว่า 97 % wt/wt

เมื่ออัตราส่วนโมลมากกว่า 7.5 : 1 ซึ่งโดยทั่วไปอัตราส่วนโมลที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีค่าประมาณ 6 : 1 [7] โดยปริมาณ FAMEs มีค่าสูงกว่า 96.5 % wt/wt

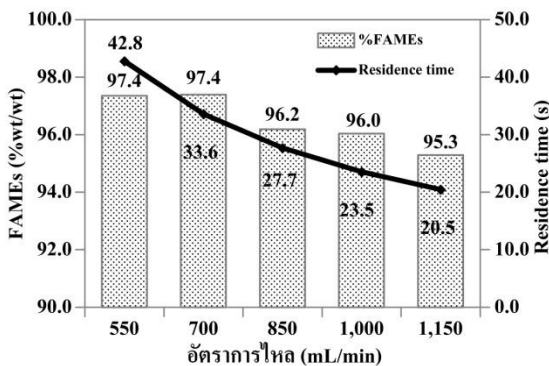


รูปที่ 2 ผลของอัตราส่วนโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่มีต่อปริมาณ FAMEs

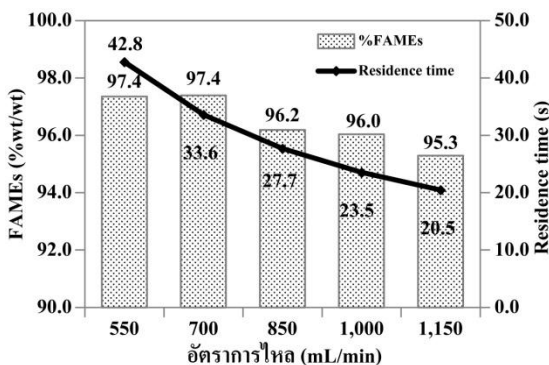
3.1.2 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ในการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเป็นการทดลองที่อัตราส่วนโมลของสารตั้งต้นเท่ากับ 7.5 : 1 ด้วยอัตราการไหล 700 mL/min และทดสอบโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณ FAMEs ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 3 ปริมาณ FAMEs มีค่าสูงกว่า 97 % wt/wt เมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 2.0 % wt/wt โดยปริมาณ FAMEs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 97.6 % wt/wt ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 2.5 % wt/wt

3.1.3 อัตราการไหล รูปที่ 4 แสดงผลการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากเครื่องปฏิกรณ์ที่สร้าง โดยสารตั้งต้นที่อัตราส่วนโมลเท่ากับ 7.5 : 1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2.0 % wt/wt พบว่า FAMEs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 97.4 % wt/wt ที่อัตราการไหล 550 และ 700 mL/min โดยระยะเวลาที่สารอยู่ในเครื่อง

ปฏิกรณ์ (residence time) มีค่าเท่ากับ 42.8 และ 33.6 s ตามลำดับ และปริมาณ FAMES มีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากระยะเวลาที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ลดลงทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของการสังเคราะห์ไบโอดีเซลภายในเครื่องปฏิกรณ์ยังไม่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 3 ผลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา KOH ที่มีต่อปริมาณ FAMES



รูปที่ 4 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีต่อปริมาณ FAMES

จากผลการทดลองทั้ง 3 ส่วน พบว่าสารตั้งต้นที่อัตราส่วนโมลเท่ากับ 7.5 : 1 อัตราการไหล 700 mL/min และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 2.0 % wt/wt เป็นสถานะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มจากเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟที่สร้างขึ้น โดยพิจารณาจากปริมาณ FAMES ของผลผลิตที่ได้ รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการผลิต เช่น ปริมาณแอลกอฮอล์สำหรับสารตั้งต้น ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาของการทำปฏิกิริยา

3.2 สมบัติพื้นฐานของไบโอดีเซลที่ผลิตได้

ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ขึ้นจากงานวิจัยนี้ถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของไบโอดีเซลพบว่าสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ไบโอดีเซลประเทศไทย โดยมีค่าสมบัติแสดงดังตารางที่ 1

3.3 การทดสอบสมรรถนะบนเครื่องยนต์และการวิเคราะห์ไอเสีย

รูปที่ 5 แสดงสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ทดสอบด้วยไบโอดีเซล B10 และ B50 เทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าไบโอดีเซลมีสมรรถนะการทำงานใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยค่ากำลังเครื่องยนต์และแรงบิดสูงขึ้นเฉลี่ย 5.3 % และอัตราสิ้นเปลืองจำเพาะลดลงเฉลี่ย 3.7 % เมื่อทดสอบด้วย B50 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากว่าไบโอดีเซลทั่วไปมีค่าซีเทนสูงและมีสมบัติในการหล่อลื่นที่ดีกว่าน้ำมันดีเซล [13] อย่างไรก็ตาม ผลของสมบัติทั้งสองที่มีต่อไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นจำเป็นต้องนำมาศึกษาต่อไปในอนาคตสำหรับค่าควันดำ (smoke density) ของก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้นั้นมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลขึ้น โดย B50 มีค่าควันดำน้อยกว่าน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 25 % ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm แต่ที่ความเร็วรอบสูงกว่า 2,400 rpm ค่าควันดำของไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลมีค่าไม่แตกต่างกัน

รูปที่ 6 แสดงปริมาณก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และสารไฮโดรคาร์บอนจากไอเสียของไบโอดีเซลมีค่าน้อยกว่าไอเสียของน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm สำหรับการทดสอบที่ความเร็วรอบ 2,400 rpm พบว่า

ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และสารไฮโดรคาร์บอนจากไอเสียของไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ของไบโอดีเซลมีค่าน้อยกว่าของน้ำมันดีเซลเล็กน้อยที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ของไบโอดีเซลมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเป็น 2,400 rpm ซึ่งปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์จากไอเสียของไบโอดีเซลที่ทดสอบมี

ค่าลดลงมีความสอดคล้องกับรายงานในบทความปริทัศน์ของ Pillay และคณะ [14] ถึงแม้ว่าเป็นที่รู้กันอย่างกว้างขวางว่าก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100) จะมีปริมาณไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าการเผาไหม้ของดีเซลธรรมดาทั่วไป ทั้งนี้เนื่องมาจากการมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในไบโอดีเซล

ตารางที่ 1 สมบัติของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้

สมบัติเบื้องต้น	D100	ไบโอดีเซลที่ได้	มาตรฐาน*
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	2.88	4.10	3.5 - 5.0
ความหนาแน่นที่ 15 °C (g/cm ³)	0.8141	0.8750	0.860-0.900
ค่าความร้อน (J/g)	45,955	39,626	-
ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)	0.06	0.30	< 0.5
ค่าไอโอดีน (g Iodine/100g)	69.0561	54.4638	< 120
เอสเทอร์ (% wt)	-	97.4 ± 0.2	> 96.5
ค่า Monoglyceride (% wt)	-	0.412	< 0.8
ค่า Diglyceride (% wt)	-	0.062	< 0.2
ค่า triglyceride	-	0.024	< 0.2
Free glycerol (% wt)	-	0.002	< 0.02
Total glycerol	-	0.12	< 0.25

*หมายเหตุ : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว

4. สรุปผลการวิจัย

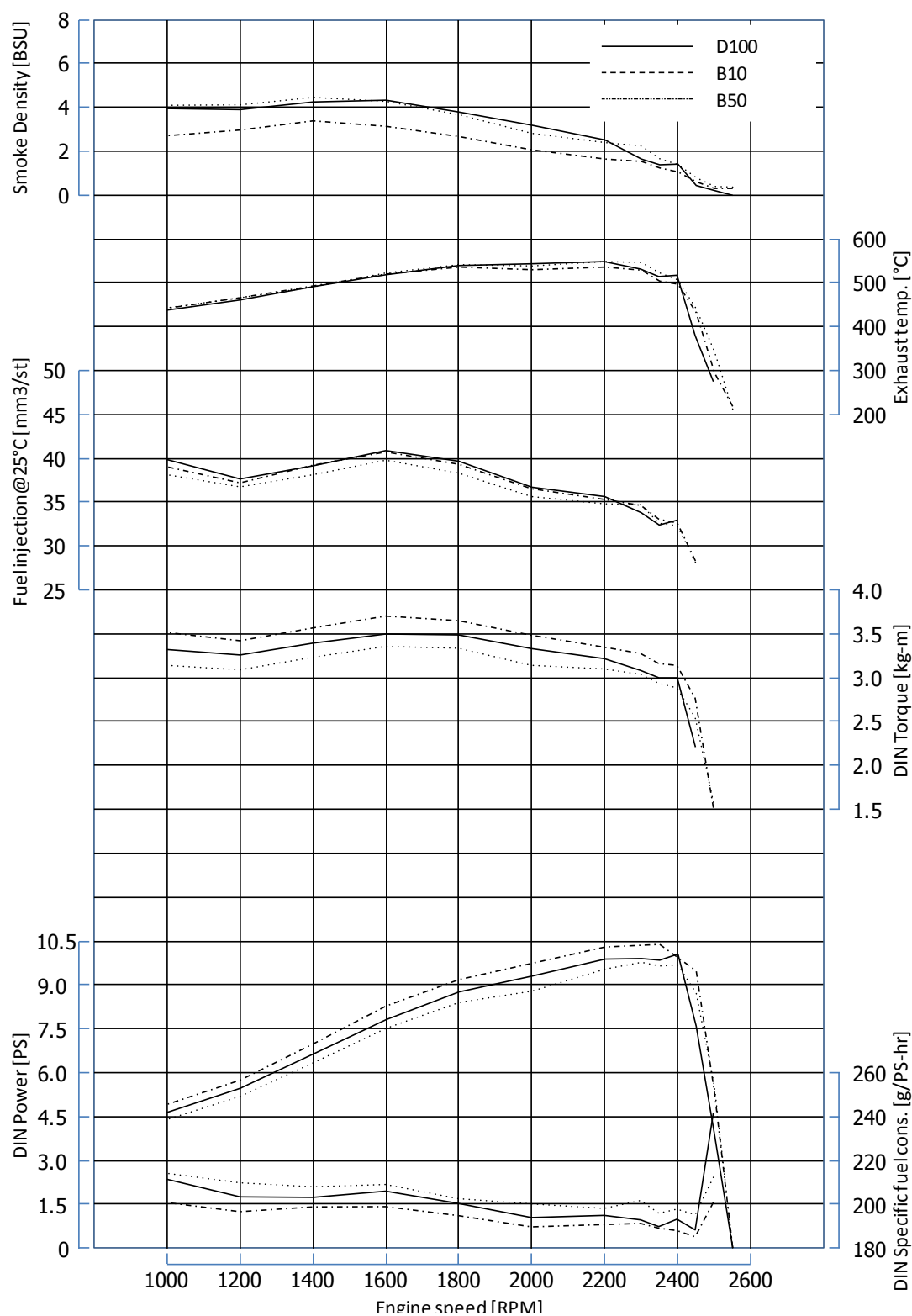
การผลิตและทดสอบสมรรถนะของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟแบบต่อเนื่องสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 เครื่องปฏิกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มได้ จากการทดสอบพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตคืออัตราส่วนโมลของแอลกอฮอล์และน้ำมันปาล์มที่ 7.5 : 1 ตัวเร่งปฏิกิริยา 2.0 % wt/wt และอัตรา

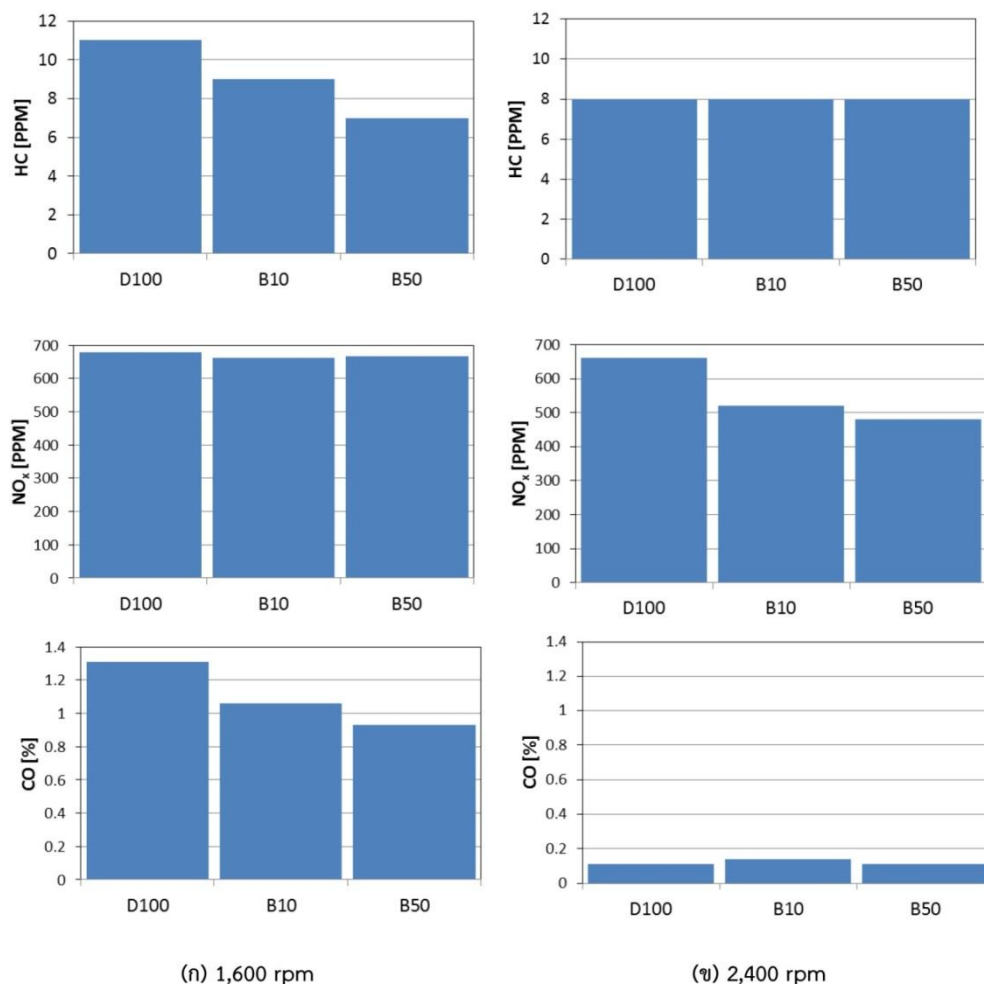
การไหล 700 mL/min ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 °C โดยผลผลิตของ FAMES ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุด 97.4 ± 0.2 % wt/wt

4.2 ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วประเทศไทย (ตารางที่ 1)

4.3 ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มีสมรรถนะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลเมื่อทดสอบบนเครื่องยนต์ดีเซล



รูปที่ 5 สมรรถนะของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้บนเครื่องยนต์ทดสอบ



รูปที่ 6 เปรียบเทียบก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ทดสอบที่ 1,600 และ 2,400 rpm

ดีเซลทดสอบด้วยไบโอดีเซล B50 กำลังเครื่องยนต์และแรงบิดมีค่าสูงขึ้นเฉลี่ย 5.3 % และอัตราสิ้นเปลืองจำเพาะลดลงเฉลี่ย 3.7 %

4.4 สำหรับการวัดปริมาณไอเสียของไบโอดีเซล ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm ไบโอดีเซลมีการปลดปล่อยควันดำ สารไฮโดรคาร์บอน และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ น้อยกว่าน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 25 % ส่วนปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีค่าไม่แตกต่างกันที่ความเร็วรอบ 2,400 rpm จะมีปริมาณควันดำ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และสารไฮโดรคาร์บอน

ใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณไนโตรเจนออกไซด์มีค่าลดลงตามสัดส่วนของไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนได้รับทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และขอขอบคุณ บริษัทสยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบสมรรถนะของไบโอดีเซลบนเครื่องยนต์ทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Knothe, G., Dunn, R.O. and Bagby, M.O., 1997, Biodiesel: The use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels, In *Fuels and Chemicals from Biomass*, 1st Ed., American Chemical Society, New York.
- [2] van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D. and Knothe, G., 2004, Biodiesel production technology, National Renewable Energy Laboratory, NRRL/SR-510-36244.
- [3] Ng, J.H., Ng, H.K. and Gan, S., 2012, Characterisation of engine-out responses from a light-duty diesel engine fuelled with palm methyl ester (PME), *Apply Energy* 90: 58-67.
- [4] How, H.G., Teoh, Y.H., Masjuki, H.H. and Kalam, M.A., 2012, Impact of coconut oil blends on particulate-phase PAHs and regulated emissions from a light duty diesel engine, *Energy* 48: 500-509.
- [5] Atabania, A.E., Silitonga, A.S., Badruddina, I.A., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H. and Mekhilef, S., 2012, A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16: 2070-2093.
- [6] Mofijur, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Hazrat, M.A., Liaquat, A.M., Shahabuddin, M. and Varman, M., 2012, Prospects of biodiesel from *Jatropha* in Malaysia, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16: 5007-5020.
- [7] Darnoko, D. and Cheryan, M., 2000, Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor, *JAOCS* 77: 1263-1267.
- [8] Lertsathapornsuka, V., Pairintrab, R., Aryusukb, K. and Krisnangkura, K., 2008, Microwave assisted in continuous biodiesel production from waste frying palm oil and its performance in a 100-kW diesel generator, *Fuel Process. Technol.* 89: 1330-1336.
- [9] Encinar, J.M., Gonzalez, J.F., Martinez, G., Sanchez, N. and Pardal, A., 2012, Soybean oil transesterification by the use of a microwave flow system, *Fuel* 95: 386-393.
- [10] Marchetti, J.M., Miguel, V.U. and Errazu, A.F., 2007, Possible methods for biodiesel production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 11: 1300-1311.
- [11] Chen, K.S., Lin, Y.C., Hsu, K.H., Wang, H.K., 2012, Improving biodiesel yields from waste cooking oil by using sodium methoxide and a microwave heating system, *Energy* 38: 151-156.
- [12] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ไบโอดีเซล สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว, แหล่งที่มา : <http://afdc-ict.rtarf.mi.th/afdcintra/tisi/fulltext/TIS2313-2549.pdf>, 7 มกราคม 2557.
- [13] Moser, B.R., 2009, Biodiesel production, properties and feedstocks: In vitro cell. *Develop. Biol. Plant* 45: 229-266.

[14] Pillay, A.E., Fok, S.C., Elkadi, M., Stephen, S., Manuel, J., Khan, M.Z. and Unnithan, S., 2012, Engine emissions and

performances with alternative biodiesels: A review, J. Sustain. Develop. 5: 59-73.