การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ ไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์ช่วยกระตุ้นปฏิกิริยา

Biodiesel production by using rotor hydrodynamic cavitation as reactor

ณัฐวุฒิ กระออน, ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
อีเมล์: prachasanti.t@ubu.ac.th โทร 0-453-53323 โทรสาร 0-45-353308

บทคัดย่อ

เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลแบบดั้งเดิมที่เป็นแบบกวนผสมใช้พลังงานสูง และมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานาน ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้มีการประยุกต์ใช้ไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นมาช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาเพื่อลดพลังงานและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาให้สั้นลง โดยไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นถูกสร้างขึ้นจากอุปกรณ์ประเภทโรเตอร์จำนวน 60 รู ในการทดลองใช้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาในอัตราส่วน เมทานอล:น้ำมัน 4:1-6:1 โดยโมล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1%w/w เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง (33°C) ความเร็วรอบของโรเตอร์ 2,000-5,000 รอบต่อนาที จากผลการทดลองพบว่า จุดเหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือ เมทานอล:น้ำมัน 4:1 โดยโมล ความเร็วรอบโรเตอร์ 2,000 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 0.5 นาที น้อยกว่าแบบไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดแผ่นขอบคม แบบพาวเวอร์อัลตราโซนิค และแบบปั่นผสมเดิมอยู่ที่ 29.5, 9.5, และ59.5 นาที ตามลำดับ และพลังงานน้อยกว่าถึง 171.5, 238.85, 488.85 W-h/kg ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ 97.82

คำหลัก: น้ำมันไบโอดีเซล,ไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์

Abstract

The traditional production of biodiesel by mechanical stirring has long time and requires more energy consumption to function. Therefore, this research the rotor hydrodynamic cavitation has been applied as reactor for reduce energy consumption and shorten the reaction time. Hydrodynamic cavitation is generated by a 60 holes rotor device. In trials, used cooking oils are utilized. Methanol is introduced as the reactant. The ratio of methanol to oil is 4: 1 to 6: 1 by mole. The catalyst is KOH at 1 %w/w. The reaction at room temperature (33° C). The rotor speed is 2,000-5000 rpm. The results found that the optimum of methanol to oil is 4:1 by mole, rotor speed is 2,000 rpm. Consequently, rotor hydrodynamic cavitation takes time function 0.5 min, less than the orifice hydrodynamic cavitation, ultrasonic, mechanical stirring to 29.5, 9.5, and 59.5 min respectively, and less energy consumption to function to 171.5, 238.85, and 488.85 W-h/kg respectively, The percentage of methyl ester of produced biodiesel is 97.82%.

KEYWORDS : biodiesel, hydrodynamic cavitation.

1. บทนำ

จากปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซึ่งเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อทุกภูมิภาคทั่วโลก รวมทั้งมลพิษจากการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global warming)[1] ซึ่งไบโอดีเซลเป็นน้ำมันที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่เป็นน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ และตัวเร่งปฏิกิริยา[2] โดยไบโอดีเซลเป็นพลังงานที่สะอาด ลดการปล่อยมลพิษ ไฮโดรคาร์บอนรวม คาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่าดีเซล[3] และยังมีจุดวาบไฟที่สูง การระเหยต่ำ ทำให้ปลอดภัยในการใช้งานและการขนส่ง

เนื่องจากในปัจจุบันราคาน้ำมันพืชมีราคาสูงกว่าน้ำมันปิโตรเลียม 10-50 % ดังนั้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายต้นทุนในการผลิต น้ำมันพืชใช้แล้วจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจ เพราะมีราคาถูกกว่าน้ำมันใหม่ และสามารถนำมาผลิตได้ง่าย[4-5] นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงการเลือกใช้สารเคมี ปริมาณที่ใช้ในกระบวนการผลิต และการเลือกใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่เหมาะสมร่วมด้วย เพราะปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อราคาน้ำมันอีกด้วย จากการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในหลายๆปีที่ผ่านมา มีการใช้เครื่องปั่นแบบกวน (mechanical stirring) ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งทำให้ประสบกับปัญหาหลายอย่าง โดยปัญหาหนึ่งในการผลิต คือการทำปฏิกิริยาโดยการปั่นผสมต้องใช้ระยะเวลา และพลังงานในการทำปฏิกิริยาสูง เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน EN 14103 คือ มีร้อยละของ FAMEs (Fatty acid methyl ester) สูงกว่า 96.5 [5]

ซึ่งถังปฏิกรณ์ไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดแผ่นขอบคมที่เป็นอุปกรณ์ลดความดัน สามารถผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เวลาน้อยกว่า การใช้งานเครื่องปั่นแบบกวน 1 เท่า และยังใช้พลังงานงานน้อยกว่า 2.7 เท่า [6] แต่เนื่องจากในส่วนของถังปฏิกรณ์ที่เป็นแผ่นขอบคมจะมีการเกิดปฏิกิริยาในช่วงที่สั้น ดังนั้นจึงต้องมีการปั๊มให้สารทำงานวนเข้ามาทำปฏิกิริยาหลายๆรอบ [7] โดยในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบเครื่องสร้างคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์ที่มีการเกิดปฏิกิริยาในตลอดช่วงการทำงาน

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา เพื่อลดระยะเวลา เมทานอล และพลังงาน ทำให้ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลลดลงโดยการใช้เครื่องไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์ช่วยกระตุ้นปฏิกิริยา

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

น้ำมันพืชใช้แล้วที่รวบรวมได้ มาจากแหล่งเดียวกันเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง โดยมีค่ากรดไขมันอิสระ 0.896 ราคา 15 บาท/ลิตร ซึ่งน้ำมันพืชใช้แล้วได้ผ่านการใช้งานที่อุณหภูมิ 180-200 ºC และปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 25-38 ºC โดยมีผลการวิเคราะห์ของน้ำมันพืชใช้แล้วและคุณสมบัติโดยสรุปในตารางที่ 1

การเตรียมน้ำมัน โดยทำการกรองด้วยตะแกรงขนาดเล็ก เพื่อกำจัดสารแขวนลอยออก หลังจากนั้นนำน้ำมันมาต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่น้ำและความชื้นออกจากน้ำมันตั้งต้น และปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วเก็บไว้เพื่อทำการทดลอง สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง สำหรับการไตรเตรทเพื่อหาร้อยละของกรดไขมันอิสระ มีดังนี้ 2-โพรพานอล (Propan-2-ol), สารฟีนอล์ฟทาลีน, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และน้ำกลั่น สารเคมีที่ใช้สำหรับการทดลองผลิตไบโอดีเซล ใช้เมทานอล (methanol) เป็นตัวทำปฏิกิริยา และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (สารเคมีที่ใช้เป็นเกรดที่ใช้ในแลป)

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว

คุณสมบัติน้ำมันพืช	ผลทดสอบ
ค่ากรดไขมันอิสระ (FFA%)	0.896
ค่าความถ่วงจำเพาะที่ 40ºC (g/cm^3)	0.902
ค่าความหนืดที่ 40ºC (mm^2/s)	51.04

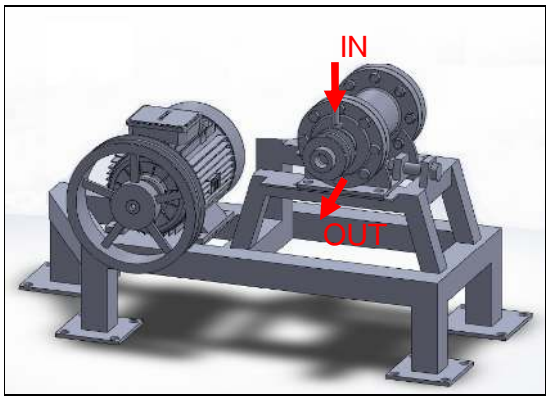
2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองดำเนินการโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์-ไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์ขนาด 0.5 ลิตร เพื่อนำมาทดสอบหาสมรรถนะของเครื่อง โดยใช้ตัว-แปรในการทดลองดังนี้ ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นน้ำมันตั้ง-ดรอกไซค์ ในปริมาณที่ระบุไว้ลงในเครื่องทำปฏิกิริยาชนิดโรเตอร์ ทดลองที่อุณหภูมิห้อง (33ºC) เก็บตัวอย่าง 10 mL ทุกๆ 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 และ 15 นาที โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำตัวอย่างที่ได้ไปเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิไม่เกิน 10 ºC เพื่อหยุดการทำปฏิกิริยาก่อนส่งตรวจหาค่าร้อยละเมทิลเอสเตอร์ โดยมีการวัดค่าการใช้พลังงานด้วยแคลมป์มิเตอร์ตลอดช่วงการทดลอง

2.3 เครื่องมือในการทดลอง

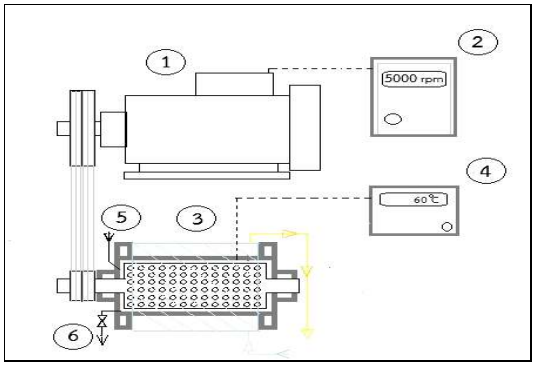
เครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโร-เตอร์ขนาด 0.5 ลิตร ดังรูปที่ 1 มีแกนโรเตอร์ที่มีการเจาะรูไว้โดยตลอดแนวแกนอยู่ภายในตัวเครื่อง โดยมีระยะห่าง (Gap) ประมาณ 3–5 mm. มีช่องสำหรับใส่สารตั้งต้นเข้าและมีช่องสำหรับเก็บตัวอย่างออกทางด้านล่าง โดยโรเตอร์ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3.7 kW เป็นต้นกำลัง(1) ที่สามารถความคุมความเร็วรอบของการหมุนได้ด้วยอินเวอร์เตอร์(2) ส่งกำลังผ่านระบบสายพานไปที่เครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรไดนามิคคาวิ-เทชั่นชนิดโรเตอร์(3) และมีการวัดอุณหภูมิของของเหลว (4) ตลอดการทดลอง โดยการทดลองจะทำการเติมน้ำมันตั้งต้น และเมทานอลกับตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาลงในช่องเติม(5) ของเครื่องปฏิกรณ์ และเก็บตัวอย่างการทดลองตามช่วงเวลาที่ระบุไว้ที่วาล์วด้านล่าง(6) ของเครื่องปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2

ต้น ใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา ในอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 4:1-6:1 โดยโมล ใช้โพแทสเซียม-ไฮดรอกไซด์ 1%w/w เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ความเร็วรอบของโรเตอร์ 2,000-5,000 รอบต่อนาที ทำการทดลองโดยใส่น้ำมัน เมทานอล และโพแทสเซียมไฮ -



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์ชนิดโรเตอร์ที่ทำให้เกิดคาวิเทชั่น

(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 ไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์ (ก) ไดอะแกรมของเครื่องทดสอบ (ข) เครื่องทดสอบจริง

2.4 การวิเคราะห์

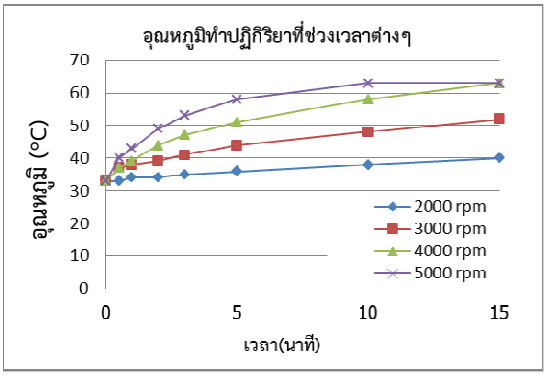
นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาร้อยละเมทิลเอสเตอร์ (Fatty acid methyl ester) โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี รุ่น Clarus 680 (Cat# : N9316086, Phase : Elite-5 , Dimensions : L30 m ID 0.32 DF 0.25, Serial# : 1263047, Temp range : - 60 to 330/350 °C) ดังรูปที่ 3 โดยทุกการทดลองได้มีการทดลองสามซ้ำและค่าที่รายงานเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง

รูปที่ 3 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี รุ่น Clarus 680

3. ผลการทดลองและการอภิปราย

3.1 ผลของอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา

ในการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา พบว่าเครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์ เกิดความร้อนขึ้นได้เองขณะทำปฏิกิริยา เนื่องจากการเร่งปฏิกิริยามีจำนวนมากจึงทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในภาพที่ 4 ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้น้ำมันตั้งต้นที่อุณหภูมิห้อง (เริ่มที่อุณหภูมิห้อง 33 °C)



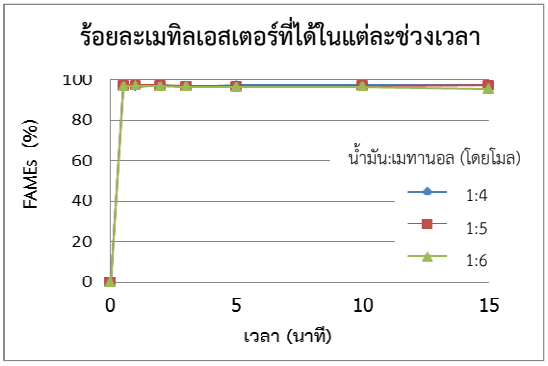
ภาพที่ 4 ผลของอุณหภูมิที่เวลาและความเร็วรอบต่างๆ

3.2 ผลของอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล

การทดลองนี้ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล 1:4-1:6 โดยโมล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1%w/w เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ควบคุมอุณหภูมิ ทำการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์ กำหนดความเร็วรอบการหมุนโรเตอร์ที่ 3,000 รอบต่อนาที ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลต่อร้อยละเมทิลเอสเตอร์ที่ช่วงเวลาต่างๆ โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 5 จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:4 โดยโมล ใช้เมทานอลน้อยที่สุด และผลที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือ มีร้อยละของเมทิลเอสเตอร์สูงกว่า 96.5 ที่เวลา 0.5 นาที ทำได้ 97.80% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 1:5, 1:6 ที่ 0.5 นาที ทำได้ 97.35%, 96.97% ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล 1:4 โดยโมล ให้ผลดีที่สุด ทั้งด้านเวลาที่สั้นและปริมาณของเมทานอลที่ใช้น้อยที่สุด โดยจะสังเกตได้ว่าอัตราส่วนยิ่งมาก ร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ยิ่งลดต่ำลง เนื่องจากอัตราส่วนที่สมบูรณ์คือ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์จำเป็นต้องใช้ 3 โมลของแอลกอฮอล์ ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชั่น อย่างไรก็ตามหากมีปริมาณแอลกอฮอล์มากเกินไป อาจเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้

ตารางที่ 2 แสดงผลร้อยละเมทิลเอสเตอร์ที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา

เวลา (นาที)	อัตราส่วนน้ำมัน:เมทานอล (โมล)		
	1:4	1:5	1:6
0.5	97.80%	97.35%	96.97%
1	96.66%	97.35%	97.05%
2	97.24%	97.38%	96.92%
3	96.66%	96.93%	96.58%
5	97.24%	96.95%	96.56%
10	97.48%	97.12%	96.62%
15	97.51%	97.23%	96.70%



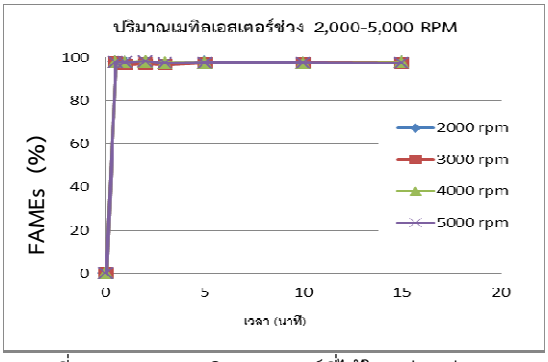
ภาพที่ 5 ผลของเมทิลเอสเตอร์ที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา

3.3 ผลกระทบความเร็วรอบการหมุนของโรเตอร์

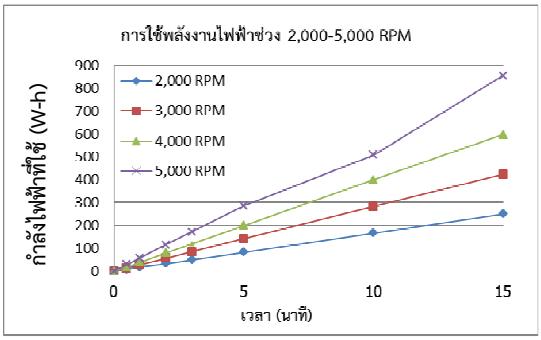
ความเร็วรอบของแกนโรเตอร์ เป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลในหลายๆด้าน เช่น ส่งผลต่ออุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยาและการสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ เพื่อให้น้ำมันมีคุณภาพผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยการทดลอง ใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:4 โดยโมล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 %w/w เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ควบคุมอุณหภูมิ ทำการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์ กำหนดความเร็วรอบการหมุนของโรเตอร์ตั้งแต่ 2,000-5,000 รอบต่อนาที ศึกษาผลของการเกิดปฏิกิริยาที่ช่วงเวลาต่างๆ โดยผลการทดลองจะแสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 6 จากข้อมูลชี้ให้เห็นได้ว่าการทำงานที่รอบต่ำหรือรอบสูง การเกิดปฏิกิริยาไม่ต่างกันมาก เนื่องจากที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที ก็มากพอสำหรับการเร่งปฏิกิริยาของของเหลว ให้มีร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ โดยใช้เวลาเพียง 0.5 นาที ร้อยละเมทิลเอสเตอร์เท่ากับ 97.82 กรณีเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบที่ 3,000, 4,000, 5,000 รอบต่อนาที ได้ผลร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ 97.80, 97.86, 97.74 ตามลำดับ ซึ่งการทำปฏิกิริยาผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมดเช่นกัน และจากข้อมูลโดยรวมเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานดังรูปที่ 7 พบว่าที่ 2,000 รอบต่อนาที เวลา 0.5 นาที มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด (11.15 W-h/kg) และจากข้อมูลที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที ที่ช่วงเวลา 10 และ 15 นาที อุณหภูมิจากการทดลองได้เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์หล่อเย็นไว้ที่ 63 °C เพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวถึงจุดเดือดของเมทานอล (64.7 °C) ดังภาพที่ 4 ทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เพิ่ม ดังนั้นที่ 2,000 รอบต่อนาที เวลาการทำปฏิกิริยาที่ 0.5 นาที คือจุดเหมาะสมที่ดีที่สุด ทั้งด้านเวลาการทำปฏิกิริยา การใช้พลังงานและการสึกหรอของเครื่องน้อยที่สุด

ตารางที่ 3 แสดงผลร้อยละเมทิลเอสเตอร์ที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา

เวลา (นาที)	ความเร็วรอบของแกนโรเตอร์ (รอบ/นาที)			
	2,000	3,000	4,000	5,000
0.5	97.82	97.80	97.86	97.74
1	97.83	96.66	97.82	97.70
2	97.70	97.04	97.88	98.18
3	96.67	96.66	97.56	97.32
5	97.63	97.27	97.49	97.44
10	97.29	97.48	97.39	97.54
15	97.59	97.51	97.67	97.34



ภาพที่ 6 แสดงผลเมทิลเอสเตอร์ที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา



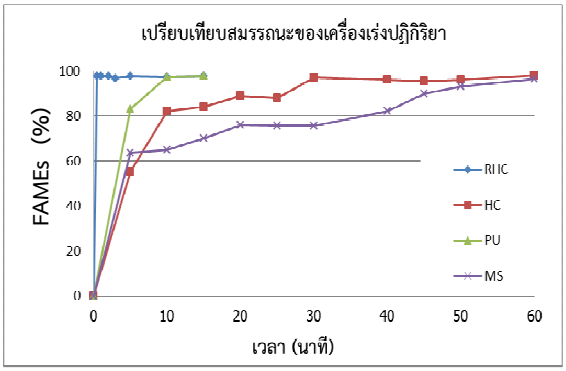
ภาพที่ 7 ผลของการใช้พลังงานในแต่ละความเร็วรอบ

3.3 เปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องเร่งปฏิกิริยา ไฮโดร-ไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์ ไฮโดรไดนามิคคาวิ-เทชั่นชนิดแผ่นขอบคม แบบพาวเวอร์อัลตราโซนิค และแบบปั่นผสม

เครื่องเร่งปฏิกิริยา แบบไฮโดรไดนามิคคาวิ-เทชั่นชนิดแผ่นขอบคมรูเดียว (HC) แบบพาวเวอร์อัล-ตราโซนิคความถี่ 19.7 MHz กำลัง 150 W (PU) และแบบปั่นผสมความเร็วในการปั่นผสม 900 รอบต่อนาที (MS) [6] ถูกนำมาเป็นตัวเปรียบเทียบ เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องแบบไฮโดรไดนามิคคาวิเทชั่นชนิดโรเตอร์ (RHC) โดยจากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าแบบ RHC ใช้พลัง งานในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุดคือ 11.15 W-h/kg ใน ขณะที่แบบ HC, PU, MS ใช้พลังงานในการทำปฏิกิริยา ถึง 183, 250, 500 W-h/kg ตามลำดับ และแบบ RHC ใช้อัตราส่วนโดยโมล ของน้ำมันต่อเมทานอลเพียง 1:4 น้อยกว่าแบบ HC, PU, MS ถึง 2 โมล รวมทั้งยังสามารถทำปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ลดค่าใช้จ่าย การใช้พลังงานในการทำปฏิกิริยา การลดปริมาณเมทานอลที่ใช้ และพลังงานที่ใช้สำหรับการควบคุมอุณหภูมิ อีกทั้งยังสามารถเร่งปฏิกิริยาให้มีร้อยละเมทิลเอสเตอร์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ เพียงเวลา 0.5 นาที ในขณะที่เครื่อง HC, PU, MS ใช้เวลาถึง 30, 10, 60 นาทีตามลำดับ ดังภาพที่ 8

ตารางที่4เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องเร่งปฏิกิริยา

วิธีการ	RHC	HC	PU	MS
พลังงานที่ใช้ (W-h/kg)	11.15	183	250	500
น้ำมัน:เมทานอล (โดยโมล)	1:4	1:6	1:6	1:6
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	45	45	45
ปริมาณ KOH (%w/w)	1	1	1	1



ภาพที่8เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องเร่งปฏิกิริยา

4. สรุปผลการทดลอง

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบ RHC เป็นเทคโน-โลยีใหม่สำหรับช่วยกระตุ้นการทำปฏิกิริยาทรานส์เอส - เตอริฟิเคชั่น ในการผลิตไบโอดีเซล ถูกพัฒนามาจากถังปฏิกรณ์แบบ HC ที่มีการเกิดคาวิเทชั่นเพียงจุดเดียว ที่ของเหลวไหลผ่านแผ่นขอบคมเป็นหลัก ทำให้มีการเกิดปฏิกิริยาในช่วงที่สั้น จึงต้องมีการปั๊มของเหลวให้ทำงานวนเข้ามาทำปฏิกิริยาหลายๆรอบ งานวิจัยนี้ได้ออกแบบเครื่อง RHC ที่มีการเกิดปฏิกิริยาตลอดช่วงการทำงานและในทุกพื้นที่ภายในตัวเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งต่าง

จากแบบ MS ที่ใช้พลังงานสูงและใช้เวลานาน ซึ่งเป็นวิธีการผลิตไบโอดีเซลในยุคแรกเริ่ม หรือ แบบ PU ที่มีข้อจำกัดในด้านการใช้พลังงาน และการขยายขนาดที่ต้องใช้วัสดุที่ทนต่อการสั่นสะเทือน จากการทดลองเครื่องปฏิกรณ์แบบ RHC สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ผลการ ศึกษาพบว่า จุดเหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลของเครื่องแบบ RHC คืออัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:4 โดยโมล และตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนัก ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที ใช้เวลาเพียง 0.5 นาที และใช้พลังงานเพียง 11.15 W-h/kg โดยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ HC, PU, MS ใช้เวลาน้อยกว่าถึง 29.5, 9.5, 59.5 นาที และพลังงานน้อยกว่าถึง 171.5, 238.85, 488.85 W-h/kg ตามลำดับ ทั้งการใช้อัตราส่วนเมทานอลน้อยกว่าถึง 2 โมลเมื่อเทียบกับแบบอื่นๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุน การตรวจสอบตัวอย่างค่าเมทิลเอสเตอร์ ของงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] F. Ma and M. A. Hanna, "Biodiesel production: a review," *Bioresource Technology,* vol. 70, pp. 1-15, 1999.

[2] D. Ghayal, A.B. Pandit, and V.K. Rathod. “Optimization of biodiesel production in a-hydrodynamic cavitation reactor using used-frying oil”, Ultrasonics Sonochemistry. 20 (1): 322–328, 2013.

[3] L.F. Chuah. and et al. “Intensification of-biodiesel synthesis from waste cooking oil (Palm Olein) in a Hydrodynamic Cavitation-Reactor: Effect of operating parameters on-methyl ester conversion”, Chemical - Engineering and Processing: Process-Intensification. 95: 235-240, 2015.

[4] P. Patil, S. Deng, J. Isaac Rhodes, and P.J. Lammers, "Conversion of waste cooking oil-to biodiesel using ferric sulfate and-supercritical methanol processes," *Fuel,* vol. 89, pp. 360-364, 2010.

[5] กรมธุรกิจพลังงาน,"ประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภท-เมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน," vol. เล่ม ๑๒๔ ตอน-พิเศษ ๖๒ ง, ed. กรุงเทพมหานคร, 2550.

[6] J. Ji, J. Wang, Y. Li, Y. Yu, and Z. Xu, "Preparation of biodiesel with the help of-ultrasonic and hydrodynamic cavitation," *Ultrasonics,* vol. 44, Supplement, pp. e411-e414, 2006.

[7] วีระยุทธ นนท์ชนะ, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์, และอิทธิพล วรพันธ์, "การผลิตไบโอ-ดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยเครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรไดนา-มิคคาวิเทชั่น," การประชุมวิชาการ มอบ.วิจัยครั้งที่ *6*, โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชั่นเซนเตอร์ จ.อุบลราชธานี, 2555.