

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์ควิเตชั่น

อิทธิพล วรพันธุ์^{1*} และ นพรัตน์ อมัตริรัตน์²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์ควิเตชั่นผ่านการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรที่ศึกษาเน้นไปที่ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ ได้แก่ ความดันทางด้านเข้า (2, 3 และ 4 บาร์) อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช (4:1, 6:1 และ 8:1) ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (0.5, 1 และ 1.5 ร้อยละโดยน้ำหนัก) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (20, 30 และ 40 นาที) แล้วกำหนดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 28 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วคือความดันทางด้านเข้า 4 บาร์ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืชเท่ากับ 6:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที ได้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ร้อยละ 93 นอกจากนี้จากการนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมไปทดสอบหาสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่าไบโอดีเซลที่ได้มีสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงกำหนดของมาตรฐานไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลหมุนช้า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์ควิเตชั่นสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นสำหรับผลิตไบโอดีเซลแบบหนึ่งขั้นตอนได้

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, น้ำมันพืชใช้แล้ว, แผ่นออริฟิซ, ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์ควิเตชั่น

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดนครราชสีมา

² สาขาวิศวกรรมกระบวนการและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดนครราชสีมา

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: i.worapun@gmail.com รับเมื่อ 8 พฤษภาคม 2562 ตอบรับ 10 กรกฎาคม 2562

Biodiesel Production From Waste Cooking Oil Using Hydrodynamic Cavitation Reactor

Ittipon Worapun^{1*} and Nopparat Amattirat²

Abstract

The objective of this research was to study the optimum conditions for production of biodiesel by using hydrodynamic cavitation reactor through transesterification reaction with waste cooking oil and methanol, using potassium hydroxide as a catalyst. The effect of parameters on yield of biodiesel were focused. The parameters were studies, such as inlet pressure (2, 3 and 4 bar), methanol to oil molar ratio (4:1, 6:1 and 8:1), concentration of catalyst (0.5, 1 and 1.5 wt%) and reaction time (20, 30 and 40 minute) when reaction temperature (room temperature) was fixed at 28 °C. The experimental results showed that optimum conditions for biodiesel production from waste cooking oil were inlet pressure at 4 bar, methanol to oil molar ratio of 6:1, catalyst concentration of 1 wt% and reaction time at 30 minutes. Under the conditions, the obtained yield of biodiesel was 93%. In addition, the properties of the obtained biodiesel from optimum conditions were evaluated and it was found that the properties of biodiesel product was in the range of standard requirements of both biodiesel and low speed diesel fuel. In summary, hydrodynamics cavitation reactor can be applied to biodiesel production with one stage of transesterification reaction.

Keywords : Biodiesel, Waste cooking oil, Orifice plates, Hydrodynamics cavitation reactor

¹ Department of Refrigeration and Air conditioning Engineering Faculty of Engineering and Architecture Rajamangala University of Technology Isan

² Department of Air condition and Refrigerator Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan.

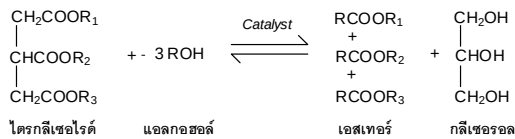
* Corresponding author, E-mail: i.worapun@gmail.com, Received: 8 May 2019, Accepted: 10 July 2019

1. บทนำ

จากความต้องการพลังงานของประเทศไทยที่มีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆปีโดยเฉพาะพลังงานที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล พบว่าในช่วง 11 เดือนแรกของปี พ.ศ.2561 มีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล 64.35 ล้านลิตรต่อวันและน้ำมันเบนซิน 30.86 ล้านลิตรต่อวันเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.4 และ 3.6 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้น้ำมันแต่ละประเภทในช่วง 11 เดือนแรกของปี พ.ศ.2560 [1] จากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้มลพิษที่เกิดจากไอเสียของเครื่องยนต์มีปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย โดยมลพิษที่มาจากไอเสียของเครื่องยนต์ เป็นสารพิษที่มีผลต่อร่างกายของมนุษย์เมื่อได้รับสะสมในปริมาณที่มากพอนอกจากนี้ยังมีความกังวลเกี่ยวกับปริมาณน้ำมันสำรองจากแหล่งน้ำมันสำรองของโลกที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประเทศผู้นำเข้าน้ำมันอย่างประเทศไทย จากปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้รัฐบาลหันมาส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทางเลือก (Alternative Energy) กันมากขึ้น เพื่อเป็นการทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลในเครื่องยนต์ หนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจคือน้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel) โดยพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลมีสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานจึงสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ ทั้งนี้หากมีการใช้น้ำมันไบโอดีเซลทดแทนได้มากเท่าไรก็จะเป็นการช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดีเซลได้อย่างมากเช่นกัน นอกจากนี้การใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ยังเป็นการช่วยลดปริมาณการปล่อยสารมลพิษจากไอเสียได้อีกด้วย [2-4] อย่างไรก็ตามการที่จะส่งเสริมให้มีการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกันอย่างแพร่หลาย

ในประเทศไทยนั้น ราคาของน้ำมันไบโอดีเซลถือเป็นปัจจัยหนึ่งในการตัดสินใจเลือกใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ของประชาชน โดยราคาของน้ำมันไบโอดีเซลขึ้นอยู่กับราคาของน้ำมันพืชที่เลือกมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล สำหรับประเทศไทยน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) ถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพมากที่สุดแต่ราคาก็ยังมีความผันผวนตามปริมาณความต้องการใช้บริโภคของคนภายในประเทศ จึงทำให้มีบางช่วงราคาของน้ำมันปาล์มดิบมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล น้ำมันพืชใช้แล้ว (Waste Cooking Oil) จึงถือเป็นวัตถุดิบทางเลือกอีกชนิดที่มีศักยภาพ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชวัตถุดิบชนิดอื่นๆ สามารถหาได้ง่ายตามบ้านเรือน และมีปริมาณที่เหลือทิ้งในปริมาณที่สูง โดยพบว่าการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลสามารถทำให้ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลลดลงได้สูงสุดถึงร้อยละ 60-70 เลยทีเดียว [5] แต่การผลิตไบโอดีเซลด้วยการนำน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์มาทำปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification Reaction) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีเบสหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ หนึ่งในข้อจำกัดที่สำคัญคือการไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ทำให้สารทั้งสองเกิดการแยกชั้นกันส่งผลให้อัตราการถ่ายโอนมวลลดลงและทำให้ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น [6] ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว นักวิจัยหลายท่านจึงได้นำเอาปรากฏการณ์คาวิเทชัน (Cavitation Phenomena) มาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยอาศัย

คุณลักษณะของปรากฏการณ์ไปช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการผสมของสารตั้งต้นทั้งสองภายในถังปฏิกรณ์ [7]



รูปที่ 1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ (น้ำมันพืช) กับแอลกอฮอล์

โดยทั่วไปปรากฏการณ์คาวิตีชันสามารถจำแนกได้เป็น 4 แบบตามวิธีการทำให้เกิดแต่แบบที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในระบบการผลิตไบโอดีเซลมีเพียง 2 แบบคือแบบไฮโดรไดนามิกส์และอะคูสติกคาวิตีชัน (Hydrodynamic, Acoustic Cavitation) เท่านั้น [8-9] ในกรณีของไฮโดรไดนามิกส์คาวิตีชันนั้นสามารถทำให้เกิดคาวิตีชันได้โดยใช้การส่งของไหลผ่านอุปกรณ์กีดขวางที่มีการลดพื้นที่หน้าตัด เช่น แผ่นออริฟิซ ท่อวนทูลรี และท่อคดงวาล์ว เป็นต้น ของเหลวที่ส่งผ่านอุปกรณ์กีดขวางข้างต้นจะทำให้ความดันขยายตัวและความเร็วเพิ่มขึ้นเมื่อความดันที่จุดนั้นต่ำกว่าความดันไอของของเหลวจึงทำให้โพรงอากาศ (Cavities) เกิดขึ้นต่อมาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอยู่ตลอดเวลาโพรงอากาศจึงมีการขยายขนาดและระเบิดตัวเป็นล้านๆ จุดภายในของเหลวเป็นสาเหตุให้ของเหลวมีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเฉพาะที่จุดชั้นขอบเขตของของเหลว ปรากฏการณ์ในลักษณะดังกล่าวจึงไปช่วยปรับปรุงกระบวนการเกิดปฏิกริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ถ้ากล่าวถึงข้อดีของ

ไฮโดรไดนามิกส์คาวิตีชันนั้นมีข้อดีอยู่หลายอย่าง เช่น ให้ประสิทธิภาพทางพลังงานสูง การสร้างอุปกรณ์ทำได้ง่าย เป็นวิธีการทำให้เกิดปรากฏการณ์คาวิตีชันที่ราคาถูกที่สุดและสามารถขยายขนาดไปสู่ระดับอุตสาหกรรมได้ [10-11] โดยข้อดีเรื่องการขยายขนาดของไฮโดรไดนามิกส์คาวิตีชันถือว่าเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับอะคูสติกคาวิตีชัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิตีชันมาบ้างแล้ว แต่พบว่าได้เน้นไปที่การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงทางเรขาคณิตที่เหมาะสมของแผ่นออริฟิซที่ใช้เป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำให้เกิดคาวิตีชัน เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รูปแบบและจำนวนของรู ต่อปริมาณร้อยละเมทิลเอสเตอร์ที่ได้โดยกำหนดให้ตัวแปรที่เกี่ยวกับสภาวะการทำปฏิกริยา ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืช ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกริยา อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกริยาเป็นค่าคงที่ [12-15] ในขณะที่การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์ คาวิตีชัน เช่น ความดันทางด้านเข้า (Inlet pressure) อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช (Methanol to oil Molar ratio) ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกริยา (Catalyst Concentration) อุณหภูมิในการทำปฏิกริยา (Reaction temperature) และเวลาในการทำปฏิกริยา (Reaction Time) ก็เป็นงานอีกด้านที่ควรจะศึกษาและเป็นสิ่งจำเป็นเช่นกัน ซึ่งถ้าเราทราบค่าของตัวแปรเหล่านี้ที่เหมาะสมในการทำปฏิกริยาจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลลงได้ด้วยนั่นเอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงให้ความสนใจที่จะศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเทชันเพื่อให้ได้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้สูงที่สุด นอกจากนี้จะทำการทดสอบหาสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เพื่อเป็นการยืนยันว่าไบโอดีเซลที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

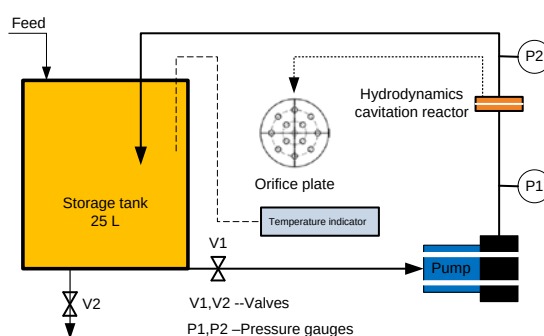
2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

น้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้คือน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งเป็นน้ำมันที่ใช้ในการประกอบอาหารโดยเก็บรวบรวมมาจากครัวเรือนต่างๆ ในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา มีค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) เฉลี่ยร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนัก ในส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้แก่ เมทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 (แอลกอฮอล์สำหรับทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืชใช้แล้ว) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) AR grade ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98 ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2 ชุดทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเทชัน

แผนผังของการติดตั้งชุดทดลองสำหรับงานวิจัยนี้แสดงดังในรูปที่ 2 ซึ่งในเบื้องต้นชุดทดลองจะเหมือนกันกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของผู้วิจัย [13] แต่จะต่างกันตรงที่ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้เลือกแผ่นออริฟิซแบบหลายรู (Multi holes orifice plates) มาหนึ่งแบบ สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำคาวิเทชันภายในถังปฏิกรณ์ โดยเลือกแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะรูเป็นวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู 3 mm. จำนวนรูทั้งสิ้น

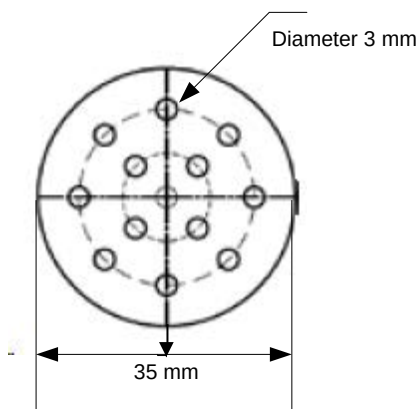
13 รู มีรูปแบบการจัดเรียงรูดังแสดงในรูปที่ 3 ทั้งนี้สาเหตุที่เลือกแผ่นออริฟิซตามที่กล่าวมาข้างต้นเนื่องจากพบว่าจากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้น้ำเป็นของไหลให้ค่าระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์คาวิเทชันภายในถังปฏิกรณ์มากที่สุดเมื่อพิจารณาที่ค่าเลขคาวิเทชัน (Cavitation number) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์คาวิเทชัน



รูปที่ 2 ชุดทดลองแบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเทชันที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

ในส่วนของชุดทดลองประกอบด้วย ถังพักขนาด 25 ลิตร ทำจาก Stainless เกรด 301 สำหรับเก็บน้ำมันพืชที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ภายในถังพักจะติดตั้ง Thermocouples ชนิด K ตรงบริเวณจุดกึ่งกลางของถังเพื่อวัดอุณหภูมิของสารผสมระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอลในขณะทำปฏิกิริยา ที่ก้นถังพักจะมีวาล์วสำหรับเปิดเพื่อนำเอาตัวอย่างน้ำมัน (Sample) มาทำการวิเคราะห์หาค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ (Yield of Biodiesel) และได้ต่อท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร ไปยังปั๊มแบบ Multi-Stage ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ 2 แรงม้าที่มีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ติดตั้งอยู่สำหรับใช้

ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มตามที่ต้องการเพื่อควบคุมความดันทางด้านเข้าให้เป็นไปตามค่าที่จะทำการทดลอง ซึ่งช่วงของความดันทางด้านเข้าที่ใช้ในการทดลองอยู่ระหว่าง 2-4 บาร์ และติดตั้งเกจวัดความดันจำนวน 2 ตัว โดยเกจวัดความดัน P1 ใช้วัดความดันที่ทางเข้า ส่วนเกจวัดความดัน P2 ใช้วัดความดันที่ทางออกของระบบและมีถึงปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกสัควีเตชั่นติดตั้งอยู่ระหว่างเกจวัดความดัน P1 และ P2 ซึ่งภายในถึงปฏิกรณ์จะมีจุดสำหรับติดตั้งแผ่นออร์ฟิซ



รูปที่ 3 แสดงลักษณะและรูปแบบการจัดเรียงรูของแผ่นออร์ฟิซแบบหลายรูที่ใช้เป็นอุปกรณ์เหนี่ยวรั้งการไหล

การทำงานของชุดทดลองนี้จะอาศัยหลักการหมุนวน (Recirculation) ของของเหลวภายในระบบโดยใช้ปั๊มเป็นตัวขับเคลื่อนของเหลว น้ำมันพืชใช้แล้วและสารละลายเมทานอลกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในถังพักจะถูกส่งผ่านแผ่นออร์ฟิซภายในถึงปฏิกรณ์และจะไหลกลับมาถึงพักอีกครั้งและจะหมุนวนในลักษณะแบบนี้ตลอดการทำงานจนกว่าจะครบเวลาในการทำปฏิกิริยาตามที่กำหนด

2.3 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีค่ากรดไขมันอิสระร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นน้ำมันพืชวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่สูงมากนัก ดังนั้นจึงสามารถเลือกการทำปฏิกิริยาแบบหนึ่งขั้นตอน (Single stage) ได้คือการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้วกับเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาอิทธิพลและหาค่าจุดที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ ต่อค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ ได้แก่ ค่าความดันทางด้านเข้า อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา ทั้งนี้ในขั้นตอนของการทดลองมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้ เริ่มต้นน้ำมันพืชใช้แล้วจะถูกนำไปกรองและต้มไล่ความชื้นแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำน้ำมันพืชใช้แล้วไปใส่ลงในถังพักและเตรียมเมทานอลตามอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืชตามที่กำหนดไว้ของการทดลองหาค่าที่เหมาะสม (4:1, 6:1 และ 8:1) และชั่งตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณที่กำหนด (0.5, 1 และ 1.5 wt%) แล้วนำไปละลายในเมทานอลที่เตรียมไว้จนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปเทลงในถังพักพร้อมทั้งทำการเปิดปั๊มเพื่อหมุนวนสารที่อยู่ในถังพักและเริ่มจับเวลาในการทำปฏิกิริยานับ ตั้งแต่เทสารละลายเมทานอลกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลงในถังพัก โดยทำการเปิดปั๊มเพื่อหมุนวนสารที่อยู่ในถังพักตามความดันทางด้านเข้า (2, 3 และ 4 บาร์) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (20, 30 และ 40 นาที) ตามที่กำหนดหลังจากนั้นตัวอย่างน้ำมันจะถูกเก็บออกมาและหยุดการทำ

ปฏิกิริยาโดยการนำไปแช่กับน้ำเย็นทันที ต่อจากนั้นปล่อยให้เกิดการแยกชั้นกันระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอริน แล้วทำการปล่อยกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซลและทำการคำนวณหาค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ต่อไป โดยในการศึกษาอิทธิพลและจุดที่เหมาะสมของตัวแปรแต่ละค่า นั้น ตัวแปรอื่นๆจะถูกกำหนดให้คงที่ และหลังจากที่ได้จุดที่เหมาะสมของตัวแปรหนึ่งแล้วค่านี้จะถูกกำหนดให้คงที่ในการศึกษาอิทธิพลและจุดที่เหมาะสมของตัวแปรอื่นต่อไป

2.4 การคำนวณหาค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้

ค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ เป็นค่าที่ได้จากการเทียบอัตราส่วนน้ำหนักของไบโอดีเซล (แยกกลีเซอรินออกแล้ว) กับน้ำหนักของน้ำมันพืชตั้งต้น (ผ่านการกรองและต้มไล่ความชื้น) ซึ่งจะใช้เป็นค่าในการพิจารณาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในงานวิจัยนี้ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$\text{Yield of biodiesel} = \frac{\text{Weight of biodiesel}}{\text{Weight of oil}} \times 100 \quad (1)$$

2.5 การวิเคราะห์สมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากสถานะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา (สถานะที่เหมาะสมหมายถึงสถานะของการผลิตไบโอดีเซลที่ให้ค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้มากที่สุด) จะถูกนำไปวิเคราะห์หาสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM (American Standard Testing and Materials) เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลและข้อกำหนดน้ำมันดีเซลหมุนช้าตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยสมบัติที่จำเป็นและสำคัญในการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะ

ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น (Density) ค่าความหนืด (Viscosity) จุดวาบไฟ (Flash Point) จุดติดไฟ (Fire point) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value) และค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index, CI) ซึ่งค่าดัชนีซีเทนมีสมการในการคำนวณหาโดยหาได้จากสมการที่ (2)

$$CI = 46.3 + \frac{5458}{x} + 0.225y \quad (2)$$

เมื่อ

x คือค่าซาปอนนิฟิเคชัน (Saponification)

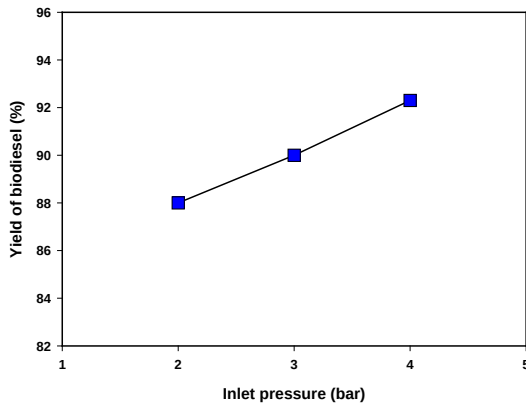
y คือค่าไอโอดีน (Iodine)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 อิทธิพลของความดันทางด้านเข้า

เนื่องจากการทำให้เกิดปรากฏการณ์ควาเวตซ์ในงานวิจัยนี้อาศัยการส่งของเหลวผ่านแผ่นออริฟิซที่อยู่ภายในถังปฏิกรณ์ ดังนั้นความดันทางด้านเข้าจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์ควาเวตซ์ภายในถังปฏิกรณ์ การผสมกันอย่างรุนแรงถือได้ว่าเป็นสิ่งจำเป็นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเป็นอย่างมาก เนื่องจากในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันพืชและตัวเร่งปฏิกิริยาได้ จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลของสารและให้เนื้อสารสัมผัสกันมากขึ้นซึ่งจะทำให้การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ความดันทางด้านเข้าจึงเป็นตัวแปรแรกที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ตัวแปรที่เป็นสถานะในการ

ทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรงก็ตามแต่ก็ถือเป็นตัวแปรที่จะต้องทำการศึกษาจากความสำเร็จที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นแล้ว

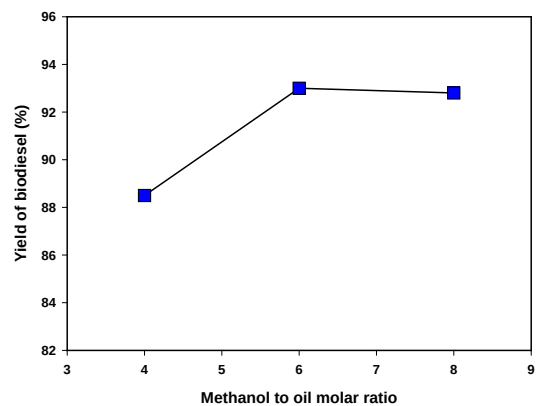


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้กับค่าความดันทางด้านเข้าที่สภาวะในการทำปฏิกิริยาอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 6:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 wt% อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 28 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

รูปที่ 4 นำเสนอผลของความดันทางด้านเข้าต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องคงที่ โดยทำการทดลองที่ความดันทางด้านเข้า 2, 3 และ 4 บาร์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความดันทางด้านเข้ามีผลต่อค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ โดยพบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าความดันทางด้านเข้าทำให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ที่ความดันทางด้านเข้า 4 บาร์ ให้ค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้สูงที่สุดร้อยละ 92.3 รองลงมาเป็นความดันทางด้านเข้า 3 บาร์ และ 2 บาร์ ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าความดันทางด้านเข้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแผ่นออร์ฟิซที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ

ที่ 4 บาร์ ทั้งนี้การที่ค่าความดันทางด้านเข้าเพิ่มสูงขึ้นมีผลโดยตรงต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เนื่องมาจากความดันทางด้านเข้าทำให้ของเหลวที่ส่งผ่านแผ่นออร์ฟิซเกิดสภาวะการไหลแบบปั่นป่วนที่มีความรุนแรงในการผสมมากขึ้นส่งผลให้ไปทำลายชั้นขอบเขตของสารที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันรวมถึงการเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกันจึงเป็นตัวไปช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันให้มีความสมบูรณ์มากขึ้นค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้จึงมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของผู้วิจัยเองและของ Ghayal และคณะ [13,15]

3.2 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช



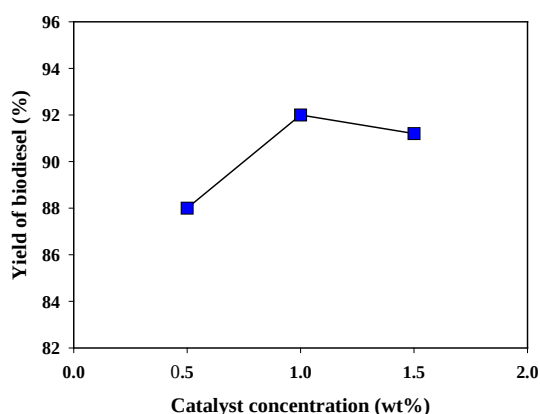
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไบโอดีเซลที่ได้กับค่าอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืชที่สภาวะในการทำปฏิกิริยาความดันทางด้านเข้า 4 บาร์ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 wt% อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 28 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

จากรูปที่ 5 แสดงผลของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืชต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เมื่อ

กำหนดให้ตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องคงที่ จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืชทำให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เพิ่มสูงตามไปด้วย โดยที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 6:1 จะให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้สูงที่สุดร้อยละ 93 แต่ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 4:1 ให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ต่ำที่สุดคือร้อยละ 88.5 ในขณะที่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืชเป็น 8:1 กลับพบว่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้มีค่าลดลงเป็นร้อยละ 92.8 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 6:1 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืชไม่ได้ช่วยให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการที่ปริมาณของเมทานอลมากเกินไปจะไปรบกวนสมดุลของปฏิกิริยาในตอนต้นให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากกว่าเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ จนเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล ปฏิกิริยาไปข้างหน้าและย้อนกลับจะเท่ากัน ดังนั้นปริมาณเมทานอลที่มากเกินไปที่เหลือจากการเข้าทำปฏิกิริยาจึงไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ และอีกสาเหตุที่ทำให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ไม่เพิ่มขึ้นคือปริมาณเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะละลายกับกลีเซอริน เนื่องจากเป็นสารที่มีหมู่ฟังก์ชันแอลกอฮอล์และมีขั้วเหมือนกัน [16] อย่างไรก็ตามในทางทฤษฎีปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันดังแสดงในรูปที่ 1 จากดุลมวลสารต้องการ 3 โมลเมทานอลต่อ 1 โมลไตรกลีเซอไรด์ (น้ำมันพืช) เท่านั้นแต่เนื่องจากปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ (Reversible Reaction) จึงจำเป็นต้องใช้จำนวนโมลของแอลกอฮอล์ที่มากกว่าในทางทฤษฎี เพื่อให้ปฏิกิริยาคำนวณไปข้างหน้าได้มาก ซึ่งการใช้แอลกอฮอล์

ในปริมาณที่มากเกินไปจะช่วยให้ปฏิกิริยาเลื่อนไปข้างหน้าได้อย่างสมบูรณ์และช่วยเพิ่มการเกิดเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) แต่ถ้าเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์มากเกินไปในการทำปฏิกิริยาก็จะส่งผลให้ปริมาณไบโอดีเซลมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Roschat และ Khunchalee [16] เช่นกันจึงสรุปได้ว่าค่าอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืชที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยานี้คืออัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 6:1

3.3 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา



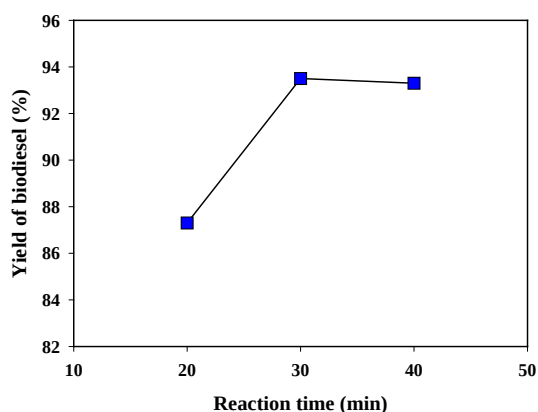
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไบโอดีเซลที่ได้กับค่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะในการทำปฏิกิริยาอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 6:1 ความดันทางด้านเข้า 4 บาร์ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 28 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

รูปที่ 6 แสดงผลของปริมาณความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องคงที่ โดยทำการศึกษาค่าความ

เข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงค่า 0.5-1.5 wt% จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ได้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้สูงขึ้นและทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดได้ดีแต่ปริมาณสบู่ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 wt% จะให้ค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ร้อยละ 88 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1 wt% ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 92 เนื่องจากในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยแตกตัวให้ Basic Site และเข้าจับกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อเร่งให้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์แตกตัวได้เมทอกไซด์ไอออน (CH_3^-) และเมทอกไซด์ไอออนก็จะเข้าทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้เป็นไบโอดีเซล [17] จะเห็นว่าการที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยทำให้เกิดเมทอกไซด์ไอออนน้อยตามไปด้วยเป็นผลให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้น้อยตาม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจาก Basic Site ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดเร็วและมากขึ้นด้วยจึงเป็นผลทำให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้สูงตามไปด้วย ในขณะที่ถ้าปริมาณความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.5 wt% กลับพบว่าไม่ส่งผลให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เพิ่มสูงขึ้นมากกว่านี้ได้อีกโดยให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เพียงร้อยละ 91.2 ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามากเพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยาแล้วโดยทั่วไปการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันใน

สถานะที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสมิค่าสูงจะทำให้มีสบู่เกิดขึ้น ซึ่งสบู่จะทำให้ระบบมีความหนืดเพิ่มขึ้นการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นจึงเกิดได้น้อยลง จึงส่งผลให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้น้อยลงตามไปด้วย และการที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไปก็จะทำให้การเข้าสู่สมดุลของปฏิกิริยาเร็วขึ้นทำให้ปฏิกิริยาคำเนินไปข้างหน้าและย้อนกลับเท่ากัน ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้จึงมีค่าคงที่ดังนั้นในการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือที่ 1 wt%

3.4 อิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา

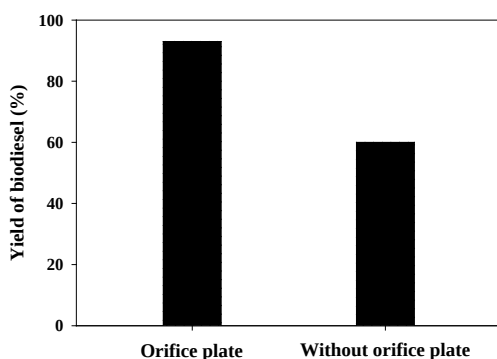


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไบโอดีเซลที่ได้กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่สถานะในการทำปฏิกิริยาอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 6:1 ความดันทางด้านเข้า 4 บาร์ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 28 °C และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 wt%

รูปที่ 7 แสดงผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เมื่อกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆ ที่

เกี่ยวข้องคงที่ ทั้งนี้ การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็นหนึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยศึกษาในช่วงเวลาการทำปฏิกิริยา 20-40 นาที จากผลการทดลองพบว่าเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที ปรากฏว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันก็เกิดได้ดีโดยให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ร้อยละ 87.3 และเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาทีให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้มากที่สุดร้อยละ 93.5 แต่เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็น 40 นาที ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ไม่แตกต่างกับที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยปริมาณไบโอดีเซลที่ได้คือร้อยละ 93.3 จึงสรุปได้ว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้คือที่ 30 นาที

3.5 เปรียบเทียบปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ในกรณีใช้กับไม่ใช้แผ่นออริฟิซเป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำคาวิตีชัน



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ ในกรณีใช้กับไม่ใช้แผ่นออริฟิซเป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำคาวิตีชันภายในถังปฏิกรณ์

รูปที่ 8 นำเสนอผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ในกรณีที่ใช้กับไม่ใช้แผ่นออริฟิซเป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำคาวิตีชันภายในถังปฏิกรณ์ โดยเป็นการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือที่ค่าความดันทางด้านเข้า 4 บาร์, อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 6:1, ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 wt% เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาทีและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 28 °C จากผลการทดลองในรูปที่ 6 พบว่าในกรณีที่ใช้แผ่นออริฟิซเป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำคาวิตีชันจะให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้สูงกว่ากรณีที่ไม่มีแผ่นออริฟิซเป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำคาวิตีชัน โดยที่ให้ปริมาณไบโอดีเซลได้ถึงร้อยละ 93 ในขณะที่กรณีไม่มีแผ่นออริฟิซจะให้ค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เพียงร้อยละ 60 เท่านั้น ซึ่งจากการทดลองเป็นการยืนยันได้ว่าการติดตั้งแผ่นออริฟิซภายในถังปฏิกรณ์เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดปรากฏการณ์คาวิตีชันนั้นสามารถไปช่วยเร่งอัตราการถ่ายโอนมวลทำให้การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเมทานอลกับน้ำมันพืชได้เร็วขึ้นและมีความสมบูรณ์ รวมทั้งทำให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้สูงตามด้วย

3.6 สมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้

เพื่อเป็นการยืนยันว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้มีสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้จึงได้นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมไปทำการวิเคราะห์หาสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลและ

ข้อกำหนดของน้ำมันดีเซลหมุนช้า ผลการวิเคราะห์สมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ถึงปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์ควิเตชั่นแสดงไว้ดังในตารางที่ 1 จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด ค่าจุดวาบไฟ และค่าดัชนีซีเทนอยู่ในช่วงของค่ามาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลที่กำหนด โดยเฉพาะค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้นอกจากผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลแล้วยังมีค่าไม่เกินข้อกำหนดของน้ำมันดีเซลหมุนช้า (8 cSt) ด้วย ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีคือสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำหรือรอบปานกลางได้ โดยที่ค่าความหนืดจะมีผลต่อการสเปรย์เป็นฝอยละอองของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ทั้งนี้เชื้อเพลิงที่มีค่าความหนืดต่ำจะทำให้ขนาดอนุภาคฝอยละอองน้ำมันเชื้อเพลิงมีขนาดเล็กทำให้การคลุกเคล้ากับอากาศภายในห้องเผาไหม้ดีขึ้นมีผล

โดยตรงต่อประสิทธิภาพของการเผาไหม้ ซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วย แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ให้ค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลหมุนช้า (มีค่าความร้อนประมาณร้อยละ 90.47 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลหมุนช้า) นั้นหมายความว่าเมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จะให้สมรรถนะต่ำกว่าใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนจากการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักมีค่าต่ากว่านั่นเอง ในส่วนของจุดติดไฟและจุดวาบไฟ ซึ่งเป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บและขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ให้ค่าจุดติดไฟและค่าจุดวาบไฟสูงกว่าค่ามาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล โดยเฉพาะค่าจุดวาบไฟมีค่าสูงกว่าค่าจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลหมุนช้าประมาณ 3 เท่า ก็แสดงให้เห็นว่าน้ำมันไบโอดีเซลมีความปลอดภัยมากกว่าในด้านการจัดเก็บและการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 1 สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบไบโอดีเซลที่ผลิตได้ [18]	ชนิดของน้ำมัน		
		มาตรฐานไบโอดีเซล [19]	น้ำมันดีเซลหมุนช้า [20]	ไบโอดีเซลที่ผลิตได้
ค่าความหนาแน่นที่ 15 °C (kg/m ³)	ASTM D1298	860-900	-	887
ค่าความหนืดที่ 40 °C (cSt)	ASTM D88	3.5-5	ไม่สูงกว่า 8	4.5
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D97	ไม่ต่ำกว่า 120	ไม่ต่ำกว่า 52	150
จุดติดไฟ (°C)	ASTM D97	-	-	190
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)	ASTM D 976-9	-	42	38
ดัชนีซีเทน	ASTM D613	ไม่ต่ำกว่า 51	ไม่ต่ำกว่า 45	53.2 ¹

¹ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (2)

4. สรุปผลการทดลอง

การนำเอาถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิตีเข้ามาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วถือได้ว่าประสบผลสำเร็จอย่างยิ่งในการนำมาเพื่อช่วยแก้ปัญหาการการไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ ที่ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดได้ช้า ทั้งนี้ในการทดลองพบว่าถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิตีสามารถทำให้อัตราการถ่ายโอนมวลระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้วกับเมทานอลเพิ่มขึ้นเห็นได้จากปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ที่สูงขึ้น รวมไปถึงทำให้การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดได้อย่างสมบูรณ์ โดยจะเห็นได้จากที่สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมให้ค่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้สูงถึงร้อยละ 93 นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาลงได้อีกและสิ่งที่สำคัญคือสามารถทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ซึ่งถือว่าเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้น้อยลงได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานความร้อนมาเตรียมน้ำมันพืชให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเหมือนการผลิตด้วยวิธีการปั่นผสมแบบดั้งเดิม ในส่วนของสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิตี คือความดันทางด้านเข้า 4 บาร์ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 6:1 ปริมาณความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 28 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมไปวิเคราะห์หาค่าสมบัติการเป็น

น้ำมันเชื้อเพลิงที่จำเป็นพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลและข้อกำหนดน้ำมันดีเซลหมุนช้า ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้โดยไม่ทำให้เครื่องยนต์เกิดความเสียหายแต่อย่างใด

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy Policy and Planning Office (EPPO), "Energy Information service", Available: http://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/download/18656_9acc6a3e462cdf7af836885d1c81d77, 05 January 2019. (in Thai)
- [2] M. Hawi, A. Elwardany, M. Ismail, and M. Ahmed, "Experimental Investigation on Performance of a Compression Ignition Engine Fueled with Waste Cooking Oil Biodiesel–Diesel Blend Enhanced with Iron-Doped Cerium Oxide Nanoparticles", *Energies* 12, 2019, p. 798.
- [3] B. Tesfa, F. Gu, R. Mishra, and A. Ball, "Emission Characteristics of a CI Engine Running with a Range of Biodiesel Feedstocks", *Energies* 7, 2014, pp. 334-350.

- [4] O. M. Ali, R. Mamat, N. R. Abdullah, and A. A. Abdullah, "Analysis of blended fuel properties and engine performance with palm biodiesel–diesel blended fuel", *Renewable Energy* 86, 2016, pp. 59-67.
- [5] G. L. Maddikeri, P. R. Gogate, and A. B. Pandit, "Intensified synthesis of biodiesel using hydrodynamic cavitation reactors based on the interesterification of waste cooking oil", *Fuel* 137, 2014, pp. 285-292.
- [6] A. Gholami, A. Hajinezhad, F. Pourfayaz, and M. H. Ahmadi, "The effect of hydrodynamic and ultrasonic cavitation on biodiesel production: An exergy analysis approach", *Energy* 160, 2018/10/01/ 2018, pp. 478-489.
- [7] P. R. Gogate, "Cavitation reactors for process intensification of chemical processing applications: A critical review", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 47, 2008, pp. 515-527.
- [8] L. F. Chuah, J. J. Klemeš, S. Yusup, A. Bokhari, and M. M. Akbar, "A review of cleaner intensification technologies in biodiesel production", *Journal of Cleaner Production* 146, 2017/03/10/ 2017, pp. 181-193.
- [9] I. Worapun, K. Pianthong, and P. Thaiyasuit, "Optimization of biodiesel production from crude palm oil using ultrasonic irradiation assistance and response surface methodology", *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 87, 2012, pp. 189-197.
- [10] P. R. Gogate and A. B. Pandit, "A review and assessment of hydrodynamic cavitation as a technology for the future", *Ultrasonics Sonochemistry* 12, 2005, pp. 21-27.
- [11] L. Amin, P. Gogate, A. Burgess, and D. Bremner, "Optimization of a hydrodynamic cavitation reactor using salicylic acid dosimetry vol. 156, 2010.
- [12] L. F. Chuah, S. Yusup, A. R. Abd Aziz, A. Bokhari, and M. Z. Abdullah, "Cleaner production of methyl ester using waste cooking oil derived from palm olein using a hydrodynamic cavitation reactor", *Journal of Cleaner Production* 112, 2016/01/20/ 2016, pp. 4505-4514.
- [13] I. Worapun, K. Pianthong, and P. Thaiyasuit, "Influence of orifice plates on percentage of methyl ester in synthesis biodiesel process under hydrodynamic cavitation conditions ", *SWU Engineering Journal* 9(2), 2014, pp. 1-11. (in Thai)

- [14] K. L. J. Ozonk, "Effect of different design features of the reactor on hydrodynamic cavitation process", Archives of Materials Science and Engineering 52, 2011, pp. 112-117.
- [15] 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, 2013, pp. 322-328
- [16] W. Roschat and J. Khunchalee, "Biodiesel Production Process from Crude Palm Oil using Calcium Oxide Derived from Cockle Shells as Economical and Green Catalyst", Journal of Science & Technology, Ubon Ratchathani University 20(1), 2018, pp. 94-106. (in Thai)
- [17] P. Sangsri, "Biodiesel from the transesterification of used cooking oil", Master Thesis, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering Prince of Songkla University, Thailand. 2010.
- [18] ASTM, "Annual book of ASTM standards." Vol. 05.01. Sec .5, Washington DC, 2001.
- [19] Department of Energy Business, "Characteristic and Quality of Biodiesel Fuel (Methyl ester) Standard", Available: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/E/158/15.PDF>, 05 January 2019. (in Thai)
- [20] Department of Energy Business, "Characteristic and Quality of Diesel Fuel Standard", Available: <http://www.doeb.go.th/dtanotice/cancel-diesel2556-01-56.pdf>, 05 January 2019. (in Thai)