

การศึกษาสถานะที่เหมาะสมการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ระดับชุมชนและต้นแบบเครื่องผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้พลังงานชีวมวล

Study of Optimal Biodiesel Production from Waste Frying Oils for Community, and Prototype of Biodiesel Reactor Using Biomass Energy

อาริษา โสภารจารย์¹ จักรพงษ์ จิตต์จำนงค์² นภารัตน์ เกษตรสมบูรณ์² และ สุหดี นิเซ็ง^{1*}

Arrisa Sopajarn¹, Jakkrapong Jitjamnong², Naparat Kasetsoomboon² and Suhdee Niseng^{1*}

Received: 22 March 2021, Revised: 30 September 2022, Accepted: 17 October 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากของเสียในชุมชนเขารูปช้าง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา โดยใช้น้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าความเป็นกรดไม่เกิน 2 mgKOH/g จากการรวบรวมจากร้านค้าต่าง ๆ โดยการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (3:1-15:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (1-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (30-120 นาที) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (50-70 องศาเซลเซียส) และความเร็วรอบในการกวน (300 รอบต่อนาที) เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ในการทดลองจะใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) และออกแบบการทดลองด้วยวิธี Central Composite Design (CCD) เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในระดับห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาพบว่าสถานะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลได้ คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 7.73:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เท่ากับ 60.54 นาที น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติเทียบเคียงน้ำมันไบโอดีเซลชุมชน จากนั้นใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเป็นข้อมูลสำหรับการศึกษา ระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วระดับชุมชนโดยใช้ความร้อนจากชีวมวลในการทำปฏิกิริยา

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร สาขาอุตสาหกรรม วิทยาลัยรัตนภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลท่าชะมวง อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา 90180

¹ Agricultural Machinery Engineering, Department of Industrial, Rattaphum College, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Tachamuang, Rattaphum, Songkhla 90180, Thailand.

² สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลบ่อหยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

² Petroleum Technology, Faculty of Industrial Education and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Boyang, Muang, Songkhla 90000, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): suhdee.n@rmutsv.ac.th

จากการทดสอบพบว่าได้เมทิลเอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์ 96.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้
เหมาะกับการใช้งานในเครื่องยนต์ทางการเกษตร หรือเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับเรือประมงทางยาว

คำสำคัญ: น้ำมันพืชใช้แล้ว, เอสเทอร์, ทรานส์เอสเทอร์รีฟิเคชัน, วิธีพื้นผิวตอบสนอง

ABSTRACT

This research aimed to examine biodiesel synthesis from waste of Khaoroochang Municipality, Songkhla Province. Waste cooking oil with acid value less than 2 mgKOH/g collected from markets was used. The four parameters: molar ratio of alcohol to oils (3:1-15:1), amount of catalyzed (1-5 %wt.), reaction time (min), reaction temperature (50-70 °C), and impeller speed (300 rpm) were investigated. The response surface methodology with central composite design (CCD) was adopted to optimize the condition of base-catalyzed transesterification in lap-scale. The result indicated that under condition of 7.73:1 of molar ratio of alcohol to oils, 3.97 %wt. of KOH, 60.54 min of reaction time, and 55 °C of reaction time, biodiesel purity was obtained comparably for commercial biodiesel standard. Then the data in lap-scale were used for studying biodiesel production system for community from waste frying oils by using biomass energy for heating the reaction. After testing the system with the same optimized condition in lab-scale, methyl ester purity was achieved 96.83 wt. %. This biodiesel was suitable for using in agricultural engine and diesel engine for long-tailed fishing boat.

Key words: waste cooking oil, ester, transesterification, response surface methodology

บทนำ

ตำบลเขารูปช้างตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมือง
จังหวัดสงขลา มีร้านค้าจำนวนมาก และขยะอินทรีย์ที่
เกิดผู้ประกอบการร้านอาหารที่ไม่ได้รับการจัดการ
อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะร้านอาหารประเภททอด
มีน้ำมันที่เหลือจากการทอด ซึ่งจากการสัมภาษณ์
แม่ค้าจะมีพ่อค้าคนกลางมารับซื้อน้ำมันที่เหลือจาก
การทอด เพื่อให้เป็นเชื้อเพลิง แต่มีบางส่วนนำไป
ผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงไก่ เมื่อบริโภคไก่
ก่อให้เกิดโรคตามมาภายหลัง ซึ่งปัจจุบันน้ำมันใช้
แล้วยังไม่มีระบบการจัดการที่ดี บางส่วนก็ทิ้งลงคู
ระบายน้ำ เกิดปัญหาที่อุดตันต้องใช้งบประมาณใน
การลอกคู ดังนั้นการสร้างความตระหนักในการ

จัดการน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มจะ
ส่งเสริมให้ชาวบ้านเห็นคุณค่าในการจัดการน้ำมันพืช
ใช้แล้วให้เกิดประโยชน์และลดมลพิษในชุมชนได้

รูปแบบหนึ่งของการใช้ประโยชน์และสร้าง
มูลค่าให้กับน้ำมันพืชใช้แล้ว คือการนำมาสังเคราะห์
เป็นพลังงานเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันไบโอดีเซล
มีการศึกษากระบวนการสังเคราะห์การผลิตน้ำมัน
ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เช่น จากการศึกษา
เปรียบเทียบและปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำมัน
น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ของชุมชนบาง
นาค อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส เนื่องจากชาวบ้าน
ยังขาดความรู้กระบวนการผลิตที่เหมาะสมจึงทำให้
ได้น้ำมันไบโอดีเซลที่ไม่มีคุณภาพ โดยศึกษาปริมาณ

การได้กินของน้ำมันไบโอดีเซล คุณลักษณะการเป็นของเหลวที่สำคัญ รวมถึงต้นทุนในการผลิต (Kattiyawan, 2016) มีการพัฒนาเครื่องผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งได้พัฒนาระบบการกวนผสมโดยใช้ใบกวนแบบ 45° two-blade paddle และ 6-blade disc turbine ในกระบวนการผลิต ได้ศึกษาผลของความเร็วรอบในการกวน พบว่าสามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 97.31 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้ความเร็วรอบในการกวนที่ 300 รอบต่อนาที (Niseng, 2018) นอกจากนี้ นักวิจัยได้ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการศึกษาสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการผลิตด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน พบว่าได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 89.4 เปอร์เซ็นต์ (Santadkha and Santikunaporn, 2018)

จากผลทบทวนวรรณกรรมข้างต้น สามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล โดยพบว่าการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลให้มีคุณภาพได้นั้น จะประกอบด้วย 4 ปัจจัย อันดับแรก น้ำมันพืชจะต้องมีกรดไขมันอิสระต่ำ เนื่องจากกรดไขมันอิสระสูงจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสaponifiเคชัน ในขั้นตอนของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Suzihaque *et al.*, 2022) ทั้งนี้ กรดไขมันอิสระไม่ควรเกิน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Somnuk *et al.*, 2013; Inthachai and Roschat, 2019) อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัย ในทางทฤษฎีจะใช้อัตราส่วน 3 : 1 แต่เพื่อขับปฏิกิริยาไปข้างหน้าให้มากที่สุดควรใช้ในอัตราส่วนที่มากเกินไป ทฤษฎี (Lestari *et al.*, 2009; Suppalakpanya *et al.*, 2010; Roschat *et al.*, 2020) ปัจจัยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาก็มีความสำคัญในการเร่งปฏิกิริยา

การใช้ตัวเร่งจะต้องเพียงพอในระหว่างการทำปฏิกิริยา จะช่วยเร่งความเร็วในการทำปฏิกิริยา ทั้งนี้ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจะช่วยเร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Niseng, 2013) ความรุนแรงในการผสมจะช่วยให้วัตถุดิบผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ล้วนมีเฟสที่แตกต่างกัน จะต้องใช้อุปกรณ์กระตุ้นให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากจึงจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้สมบูรณ์และรวดเร็ว (Mangwandi *et al.*, 2010; Somnuk *et al.*, 2014) ปัจจัยที่สี่ คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ไม่ควรเกินจุดเดือดของชนิดแอลกอฮอล์ที่ใช้ เนื่องจากจะเกิดการสูญเสียแอลกอฮอล์ระหว่างการทำปฏิกิริยา (Somnuk *et al.*, 2014; Rahadiani *et al.*, 2018; Suzihaque *et al.*, 2022) หากใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของแอลกอฮอล์ จะต้องออกแบบระบบให้สามารถกลั่นแอลกอฮอล์กลับมาคืน

จากการลงชุมชนเขาแก้ว ตำบลเขารูปช้าง อำเภอมือง จังหวัดสงขลา ทางชุมชนเขาแก้วมีความต้องการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาสังเคราะห์เป็นน้ำมันไบโอดีเซล แต่ยังไม่มีความรู้กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อตอบสนองความต้องการของชุมชน จึงได้ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในระดับห้องปฏิบัติการ โดยจะศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในระดับห้องปฏิบัติการมาศึกษาระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่เหมาะสมกับการใช้งานในระดับชุมชนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

น้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้จากรวบรวมจากร้านค้าในเขตชุมชนเขาแก้ว ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ซึ่งมีค่าความเป็นกรดไม่เกิน 2 mg KOH/g ใช้เมทานอล เกรดเชิงการค้าความบริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกรดเชิงการค้าความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ซื้อมาจากห้างหุ้นส่วนจำกัด บอส ออปติคอล อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2. การออกแบบการทดลองและการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลระดับห้องปฏิบัติการ

การผลิตไบโอดีเซลในระดับห้องปฏิบัติการจะใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) และออกแบบการทดลองแบบ Central composite design (CCD) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล ทำการศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1-5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อ น้ำมัน (3:1-15:1) อุณหภูมิ (50-70 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (30-150 นาที) มีเงื่อนไขการทดลอง

ทั้งหมด 30 เงื่อนไข ตามตารางที่ 1 ในการทดสอบแต่ละเงื่อนไขใช้ความเร็วรอบในการกวนคงที่ 300 รอบต่อนาที

การทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว จะทดลองตามแผนที่ได้ออกแบบไว้จำนวน 30 เงื่อนไข โดยการทดลองแต่ละเงื่อนไข เริ่มต้นด้วยการชั่งน้ำมันพืชใช้แล้วจำนวน 100 กรัม เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ใส่แท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer bar) ขนาด 4 เซนติเมตร ลงในบีกเกอร์ แล้วให้ความร้อนตามอุณหภูมิและกวนด้วยความเร็วรอบที่กำหนดด้วยเครื่องกวนสาร (Stirrer) ยี่ห้อ IKA รุ่น CMAG HS 7 เพื่อเตรียมทำปฏิกิริยา ระหว่างนี้เตรียมละลายเมทานอล (Methanol to oil molar ratio) และ KOH ตามปริมาณของแต่ละเงื่อนไข เมื่อน้ำมันพืชมีอุณหภูมิตามที่กำหนด ค่อย ๆ เติมน้ำกลั่นที่เตรียมไว้ลงในบีกเกอร์ แล้วปล่อยให้ทำปฏิกิริยาตามเวลาที่กำหนดไว้ เมื่อทำปฏิกิริยาเสร็จแล้ว ปล่อยให้ น้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอลแยกชั้น แล้วถ่ายกลีเซอรอลออก นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ไปล้างด้วยน้ำอุ่น เพื่อกำจัดกลีเซอรอลและเมทานอล เติมโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เพื่อกำจัดน้ำ และเก็บน้ำมันไบโอดีเซลใส่ขวดแก้วเพื่อนำวิเคราะห์องค์ประกอบต่อไป ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล

ตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ตามสถานะที่กำหนด นำมาหาคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลดังนี้ วิเคราะห์ด้วย Gas Chromatogram (GC) ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด ค่ากำมะถัน ค่ากรด ค่าแอสฟัลต์ ค่าสิ่งปนเปื้อนทั้งหมด

ค่าความเป็นกรด ค่าไอโอดีน ทดสอบค่า FTIR ค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อนุกรม 110 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thin Layer Chromatography (TLC) โดยตัวอย่างทั้งหมดส่งไปวิเคราะห์ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตหาดใหญ่)

ตารางที่ 1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ CCD

Factor	Unit	Coded factor levels				
		-2	-1	0	1	2
Catalyst loading	wt. %	1	2	3	4	5
Methanol-oil molar ratio	-	3:1	6:1	9:1	12:1	15:1
Reaction time	min	30	60	90	120	150
Reaction temperature	°C	50	55	60	65	70

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้ multiple regression analysis (Falowo *et al.*, 2021) เมื่อได้ค่าประมาณและ

ค่าทดสอบสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของร้อยละเมทิลเอสเทอร์มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) เพื่อสร้างรูปแบบสมการ โดยรูปแบบของสมการแสดงดังสมการที่ (1)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1)$$

เมื่อ Y คือ ค่าของผลตอบสนอง

k คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

X_i, X_j คือ ตัวแปรอิสระที่เป็นรหัสตัวเลข

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ คือ ค่าคงที่สัมประสิทธิ์ของพจน์ ตัวแปรกำลังหนึ่ง ตัวแปรกำลังสอง และตัวแปรร่วม ตามลำดับ

ε คือ ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ

5. ระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล

หลังจากได้ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาเงื่อนไขการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับ

เทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา ซึ่งได้เงื่อนไขการทดลองเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบผลิตจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล โดยระบบที่ออกแบบจะใช้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยา คือ โฟแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากเมื่อทำปฏิกิริยาเสร็จจะได้กลีเซอรอลเหลว ไม่ทำให้ระบบอุดตัน เหมือนกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับแอลกอฮอล์จะใช้เมทานอล เกรดเชิงการค้า เนื่องจากหาซื้อง่าย และมีราคาถูกกว่าเอทานอล และใช้พลังงานความร้อนจากเตาชีวมวลเป็นหลัก เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

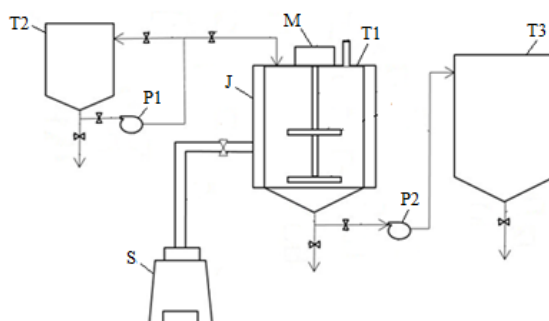
ระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวลจะประกอบด้วย 1. ถังปฏิกรณ์สำหรับทำปฏิกิริยา (T1) ขนาด 20 ลิตร จะประกอบด้วย มอเตอร์ (M) ยี่ห้อ YYG-70B สำหรับขับเคลื่อนที่ติดตั้งใบกวนแบบใบพาย (paddle) สำหรับกวนผสมสารเคมีในระหว่างการทำปฏิกิริยา โดยถังปฏิกรณ์จะมีเสื้อหุ้ม (J) สำหรับให้ความร้อนซึ่งความร้อนจะได้มาจากเตาชีวมวล (S) ขนาดสูง × กว้าง เท่ากับ 27×15 เซนติเมตร เพื่อลดการใช้พลังงานความร้อนในการทำปฏิกิริยา ทั้งนี้เพื่อให้ความร้อนภายในถังมีความเสถียร ได้ติดตั้งระบบให้ความร้อนเสริมด้วยขดลวดให้ความร้อนขนาด 500 วัตต์ ซึ่งระบบนี้สามารถใช้ความร้อนจากขดลวดให้ความร้อนอย่างเดียวก่อนในช่วงที่ไม่มีเชื้อเพลิงสำหรับเผาด้วยเตาชีวมวล 2. ถังแอลกอฮอล์ (T2) ขนาด 6 ลิตร ใช้สำหรับผสมแอลกอฮอล์กับตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีปั๊ม (P1) ยี่ห้อ AMIGO รุ่น AG-35 สำหรับไหลวนแอลกอฮอล์ให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยา

3. ถังกักเก็บน้ำมันไบโอดีเซล (T3) ขนาด 20 ลิตร สำหรับกักเก็บน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการทำปฏิกิริยา โดยมีปั๊ม (P2) ยี่ห้อ AMIGO รุ่น AG-35 ดูดน้ำมันไบโอดีเซลจากถังปฏิกิริยาเข้าสู่ถังกักเก็บน้ำมันไบโอดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3

จากภาพที่ 3 การทำงานของระบบเริ่มต้นนำน้ำมันดิบใส่ลงในถังปฏิกิริยา (T1) ทางช่องเติมน้ำมันตามปริมาณที่ต้องการ เปิดเตาชีวมวล (S) เพื่อให้ความร้อนแก่ระบบ จากนั้นเปิดมอเตอร์ (M) ขับเพลลาเพื่อกวนน้ำมันดิบเป็นการเตรียมความพร้อมระบบเพื่อทำปฏิกิริยา ในขณะเดียวกันตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) และแอลกอฮอล์ (เมทานอล) ที่เตรียมไว้ในถังแอลกอฮอล์ (T2) ถูกไหลวนจนแอลกอฮอล์กับตัวเร่งปฏิกิริยาผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อน้ำมันในถังปฏิกิริยาได้รับความร้อนจนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการแล้ว สารผสม (แอลกอฮอล์กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) ในถังแอลกอฮอล์จะถูกดูดด้วยปั๊ม (P1) จะถูกป้อนเข้าสู่ปฏิกิริยา จากนั้นปล่อยให้ให้น้ำมันดิบและสารเคมีทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันภายในถังปฏิกิริยาตามระยะเวลาที่กำหนด หลังจากทำปฏิกิริยาเสร็จสิ้นสารผสมภายในถังปฏิกิริยาจะถูกดูดด้วยปั๊ม (P2) เข้าสู่ถังเก็บน้ำมันไบโอดีเซล (T3) ปล่อยให้ให้น้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอลในถังเก็บน้ำมันไบโอดีเซลแยกชั้น เปิดวาล์วเพื่อถ่ายกลีเซอรอลออก แล้วนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่อไป



ภาพที่ 2 ระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล



ภาพที่ 3 ฟังก์ชันการทำงานของระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล

(T1 คือ ถังปฏิกิริยา T2 คือ ถังแอลกอฮอล์ T3 คือ ถังกักเก็บน้ำมันไบโอดีเซล P1 คือ ปั๊มสำหรับป้อนสารเคมี P2 คือ ปั๊มสำหรับดูดน้ำมันไบโอดีเซลเข้าถังเก็บ M คือ มอเตอร์กวนผสม S คือ เตาชีวมวล J คือ เสื้อหุ้มถังปฏิกิริยา)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การสร้างพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลตัวแปรที่มีต่อปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชใช้แล้ว

1.1 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้วและปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้วและปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยกำหนดค่าให้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้วเท่ากับ 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1 และกำหนดปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1 2 3 4 และ 5

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้ความเร็วรอบในการกวนคงที่ 300 รอบต่อนาที จากภาพที่ 4 พบว่า ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้วเพิ่มขึ้น โดยร้อยละน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 99.89 เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้วเท่ากับ 7.74:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ เนื่องจากการใช้เมทานอลปริมาณที่สูงขึ้นทำให้ปฏิกิริยาถูกผลักไปข้างหน้ามากขึ้น มีผลทำให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่ปริมาณเมทานอลที่สูงเกินไปนั้นส่งผลต่อการแยกเฟสของน้ำมันไบโอดีเซล

และน้ำ และน้ำที่เกิดขึ้นจะเป็นการผลึกปฏิกิริยาให้ผันกลับมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ลดลง (Singhasiri, 2014; Ma and Hanna, 1999)

1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้วและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

ผลของความสัมพันธระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้วและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 5 โดยกำหนดอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้วในช่วง 3:1 - 15:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในช่วง 50 - 70 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็วรอบในการกวนคงที่ 300 รอบต่อนาที จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในช่วงปัจจัยที่ศึกษา คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้วเท่ากับ 7.73:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส เนื่องจากการใช้ปริมาณเมทานอลที่มากเกินไปจะไปขัดขวางการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา รวมถึงการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ทำให้เมทิลเอสเทอร์สามารถรวมกับกลีเซอรอล ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปเป็นไตรกลีเซอไรด์ ส่งผลทำให้เมทิลเอสเทอร์มีปริมาณที่น้อยลง (Jairuan, et al., 2017; Liganiso et al., 2022)

1.3 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วและเวลาในการทำปฏิกิริยา

ผลของความสัมพันธระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืชใช้แล้วและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาแสดงดังภาพที่ 6 พบว่าปริมาณผลผลิตได้ร้อยละของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเท่ากับ 7.73:1 และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์

เอสเทอร์ริฟิเคชันเท่ากับ 60 นาที และยังพบอีกว่าหลังเวลาดังกล่าว ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากในช่วงระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเริ่มต้นเมื่อปริมาณเมทานอลมากเกินไปจะทำให้เกิดน้ำที่เป็นตัวทำลาย ซึ่งจะทำความเข้มข้นของสารตั้งต้นในระบบมีค่าลดลง จึงส่งผลให้โมเลกุลของสารตั้งต้นเกิดการชนกันน้อยลง ดังนั้นโอกาสในการที่สารตั้งต้นจะเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์จึงมีค่าน้อยลงตามไปด้วย (Phoosakul, 2011)

1.4 อิทธิพลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

ผลของความสัมพันธระหว่างปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 7 โดยกำหนดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 1 - 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในช่วง 50 - 70 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในช่วงปัจจัยที่ศึกษา คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไปทำให้สารตั้งต้นมีความหนืดมากขึ้นส่งผลให้ขัดขวางการทำปฏิกิริยาระหว่างเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้ว (Quah et al., 2020)

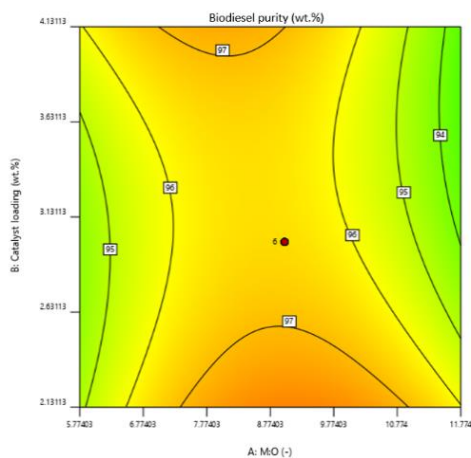
1.5 อิทธิพลของอิทธิพลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ผลของความสัมพันธระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาแสดงดังภาพที่ 8 โดยกำหนดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 1 - 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 30 - 150 นาที จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในช่วงปัจจัยที่ศึกษา คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดย

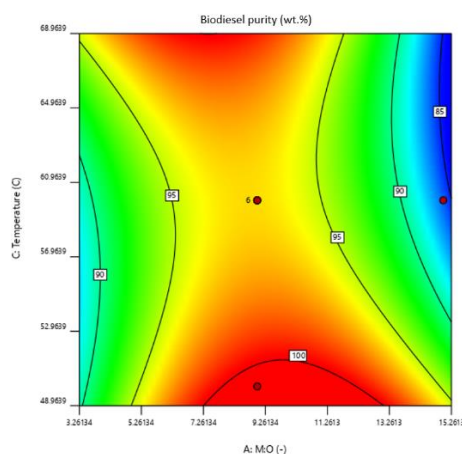
น้ำหนัก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที เนื่องจากปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มากเกินไปส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ (Linganiso *et al.*, 2022; Mueanmas *et al.*, 2018)

1.6 อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา แสดง

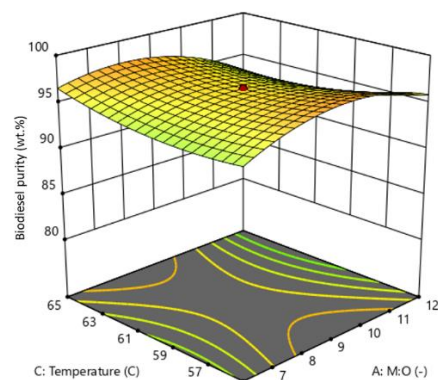
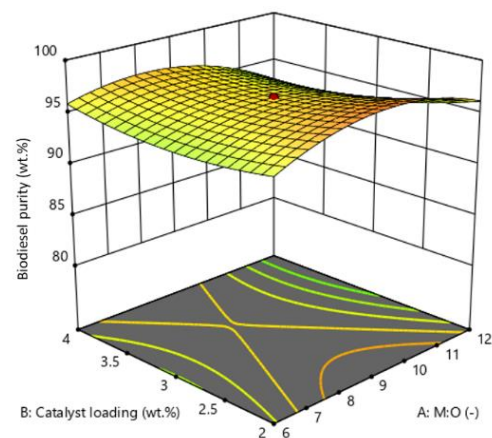


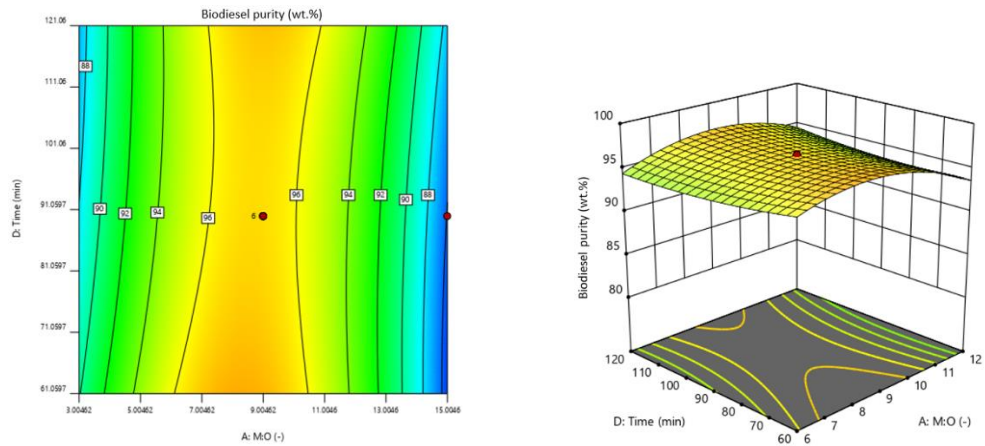
ภาพที่ 4 แสดงกราฟแบบโครงร่างพื้นผิวของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้วและปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



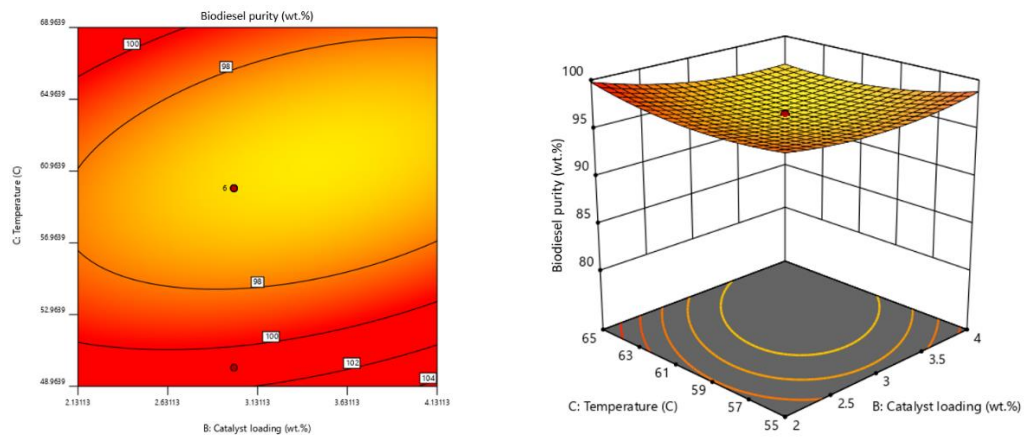
ภาพที่ 5 แสดงกราฟแบบโครงร่างพื้นผิวของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

ดังภาพที่ 9 โดยกำหนดช่วงของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 50 - 70 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 - 150 นาที จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในช่วงปัจจัยที่ศึกษา คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60.5 นาที เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เมทานอลเกิดการระเหยส่งผลให้เกิดน้ำมันไบโอดีเซลได้น้อยลง (Quah *et al.*, 2020)

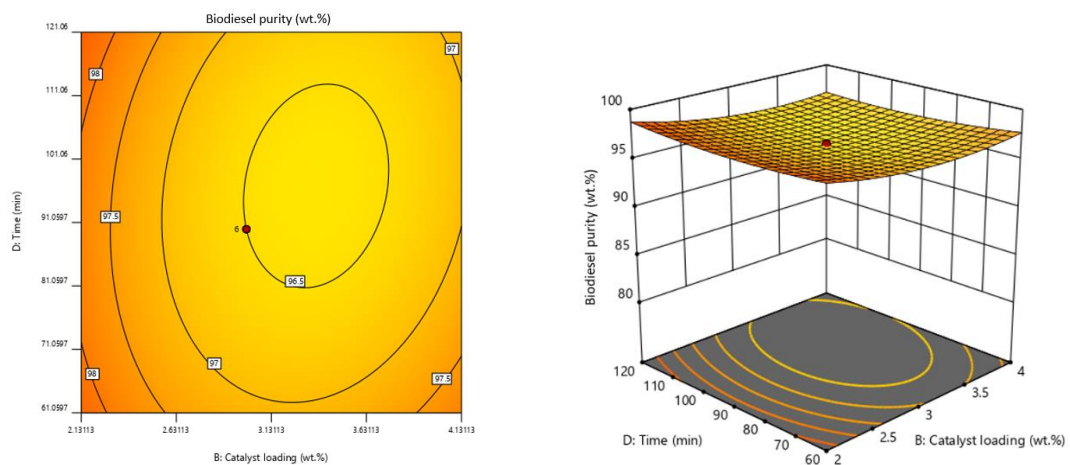




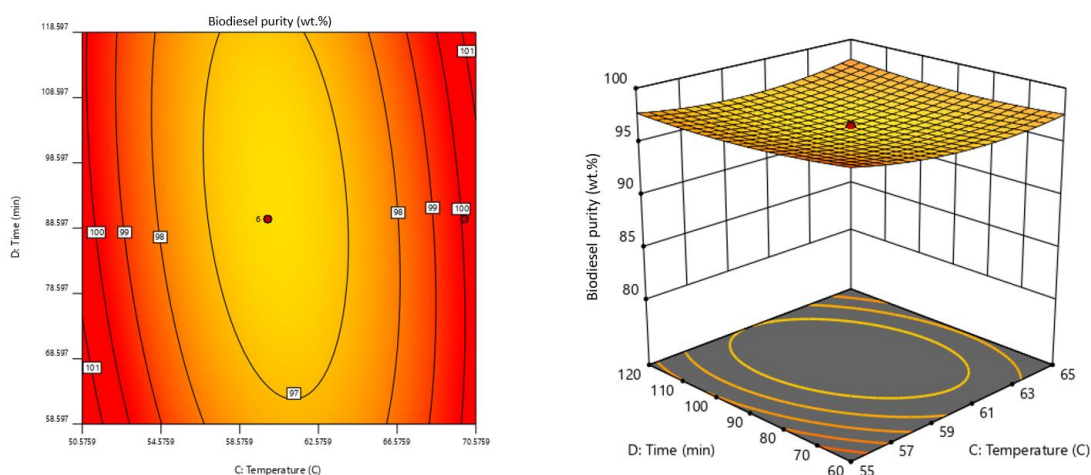
ภาพที่ 6 แสดงกราฟแบบโครงร่างพื้นผิวของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วและเวลาในการทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 7 แสดงกราฟแบบโครงร่างพื้นผิวของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 8 แสดงกราฟแบบโครงร่างพื้นผิวของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และเวลาในการทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 9 แสดงกราฟแบบโครงร่างพื้นผิวของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา

2. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของวิธีพื้นผิวตอบสนอง

จากการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการมีค่า R^2 เท่ากับ 90.64 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีการปรับแก้ R^2 -adj มีค่าเป็น 81.91 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2) หมายความว่า ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้ว ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (นาทีก) สามารถอธิบายความแปรผันของการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล แสดงว่าแบบจำลองแบบ CCD สามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ในตารางที่ 2 พบว่า ค่าสถิติ

$p < 0.0001$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด ($p < 0.05$) จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า ปัจจัยที่นัยสำคัญต่อการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล จะมีค่านัยสำคัญทางสถิติที่น้อยกว่า 0.05 ซึ่งปัจจัยดังกล่าวที่ได้กล่าวไปนั้น ส่วนส่งผลกระทบต่อคุณภาพหรือปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ (Singhasiri, 2014)

จากตารางที่ 2 สามารถสร้างสมการทำนายร้อยละน้ำมันไบโอดีเซลจากปัจจัยของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้ว ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (นาทีก) ที่ได้จาก การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2)

$$\text{Biodiesel yield} = 180.84 + 9.2008A + 6.1533B - 3.9648C - 0.2829D - 0.3008AB - 0.0723AC + 0.0067AD - 0.1575BC - 0.0074BD + 0.0023CD - 0.2635A^2 + 0.9983B^2 + 0.0403C^2 + 0.0005D^2 \quad (2)$$

- เมื่อ
- A คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้ว
 - B คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
 - C คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
 - D คือ เวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (นาทีก)

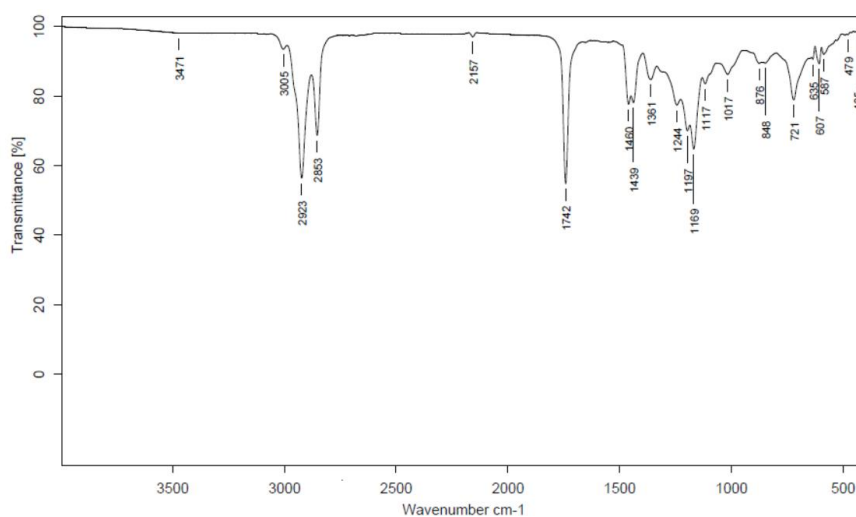
3. การพิสูจน์เอกลักษณ์และคุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซล

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารประกอบและคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากห้องปฏิบัติการ ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 7.73:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบในการกวนคงที่ 300 รอบต่อนาที และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เท่ากับ 60.54 นาที

การวิเคราะห์น้ำมันน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค FTIR เป็นวิธีการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารประกอบ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 10 จากการศึกษาพบว่าน้ำมันน้ำมันไบโอดีเซลจะแสดงพีค FTIR ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน 3005 cm^{-1} 2923 cm^{-1} และ 2853 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ C-H stretching ของ CH=CH, C-H asymmetric stretching ของ CH_2 , and C-H symmetric stretching ของ CH_2 ตามลำดับ ในขณะที่ความยาวคลื่น 1742 cm^{-1} แสดงพีคของหมู่เอสเทอร์ (C=O) ซึ่งสอดคล้องกับหมู่เอสเทอร์ที่พบในน้ำมันไบโอดีเซล นอกจากนี้ ที่ความยาวคลื่น 1460 cm^{-1} และ 1361 cm^{-1} แสดงพีคของ $-\text{CH}_2$ scissor และ $-\text{CH}_3$ anti-symmetric vibrations และที่ความยาว

คลื่น 1017 cm^{-1} และ 1169 cm^{-1} แสดงพีคของ C-O anti-symmetric stretching vibration และ C-O symmetric stretching vibration (Thunyaratchatanon *et al.*, 2018)

จากการวิเคราะห์ผลคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ตามตารางที่ 3 พบว่ามีคุณภาพเทียบเคียงกับค่ามาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ทางการเกษตร (น้ำมันไบโอดีเซลชุมชน) ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2549 (The Department of Energy Business, 2006) องค์ประกอบหลายตัวมีคุณสมบัติเทียบเท่าน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 95.76 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใกล้เคียงมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ซึ่งต้องมีค่าเมทิลเอสเทอร์ไม่น้อยกว่า 96.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผลการวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเท่ากับ 23 ชั่วโมง 21 นาที ตามมาตรฐาน EN 14112 กำหนดให้ มีค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เท่ากับ 16 ชั่วโมง โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ในครั้งนี้พบว่ามีค่าที่สูงกว่ามาตรฐาน จะเห็นได้ว่ามีศักยภาพที่จะสามารถพัฒนาให้ผ่านมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต



ภาพที่ 10 พิก FTIR ของน้ำมันน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสถิติของร้อยละน้ำมันไบโอดีเซล

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	322.68	14	23.05	10.38	<0.0001
A-M:O	7.00	1	7.00	3.15	0.0962
B-Catalyst	11.15	1	11.15	5.02	0.0406
C-Temperature	1.03	1	1.03	0.4615	0.5073
D-Time	0.5400	1	0.5400	0.2431	0.6291
AB	13.03	1	13.03	5.87	0.0286
AC	18.84	1	18.84	8.84	0.0107
AD	5.86	1	5.86	2.64	0.1253
BC	9.92	1	9.92	4.47	0.0517
BD	0.7921	1	0.7921	0.3566	0.5593
CD	1.90	1	1.90	0.8574	0.3691
A ²	154.28	1	154.28	69.46	<0.0001
B ²	27.34	1	27.34	12.31	0.0032
C ²	27.89	1	27.89	12.55	0.0029
D ²	7.09	1	7.09	3.19	0.0943
Residual	33.32	15	2.22		
Lack of Fit	33.32	10	3.33		
Pure Error	0.0000	5	0.0000		
Cor Total	356.00	29			

$R^2 = 0.9064$ และ $R^2\text{-adj} = 0.8191$

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำมันไบโอดีเซล งานวิจัยนี้	มาตรฐาน น้ำมันไบโอดีเซล ชุมชน	มาตรฐาน น้ำมันไบโอดีเซล เชิงพาณิชย์
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C	kg/m ³	877.1 ± 0.0	800-900	800-900
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C	cSt	4.217 ± 0.006	1.9-8.0	3.5-5.0
กากถ่าน	% wt.	0.1646 ± 0.0085	-	<0.3
ค่าความเป็นกรด	mg KOH/g	0.0642 ± 0.0034	<0.08	<0.05
เถ้าซัลเฟต	% wt.	0.1938 ± 0.0060	<0.02	<0.02
สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด	% wt.	< 0.00050	-	<0.0024
ค่าไอโอดีน	g Iodine/100g	65.3 ± 0.4	-	<120
โมนอกลิเซอไรด์	% wt.	0.46 ± 0.00	-	<0.80
ไดกลีเซอไรด์	% wt.	0.11 ± 0.01	-	<0.20
ไตรกลีเซอไรด์	% wt.	0.12 ± 0.00	-	<0.20
กลีเซอรินอิสระ	% wt.	0.15 ± 0.00	<0.02	<0.02
กลีเซอรินทั้งหมด	% wt.	0.29 ± 0.00	<1.5	<0.25
เมทิลเอสเทอร์	% wt.	95.76 ± 0.01	-	>96.5
กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์	% wt.	0.46 ± 0.00	-	<12
เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อุณหภูมิ 110 °C	Hours	23 ชั่วโมง 21 นาที	-	>6

4. ผลการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล

การทดสอบระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวลโดยใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้ว 7.73:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็วรอบในการกวนคงที่ 300 รอบต่อนาที แต่เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีการ

ให้ความภายในถังด้วยขดลวดให้ความร้อนและมีเสื้อหุ้มรอบถังซึ่งได้รับความร้อนจากเตาชีวมวลทำให้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เสถียรมากกว่า และการออกแบบใบกวนเป็น 2 ชั้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ทำให้ความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มากถึง 96.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วเหมาะกับการใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล (Yaqoob *et al.*, 2021) ทั้งนี้ ศักยภาพการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับชุมชนเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สามารถพัฒนาให้มีมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ เพื่อขยายฐานการใช้

งานให้หลากหลายยิ่งขึ้น ซึ่งจะต้องใช้อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐานที่สูงขึ้น

สรุป

การสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล จากน้ำมันพืชใช้แล้วที่รวบรวมเขตชุมชนเขาแก้ว ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ซึ่งมีความเป็นกรดไม่เกิน 2 mgKOH/g เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดและนำข้อมูลไปออกแบบและสร้างระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่เหมาะสมสำหรับการผลิตระดับชุมชน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การผลิตไบโอดีเซลในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ล้วนมีผลต่อการกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลทั้งสิ้น โดยมีสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 7.73:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เท่ากับ 60.54 นาที สามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ ได้มากถึง 95.76 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2) ระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล ที่ใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากผลการวิเคราะห์ในระดับห้องปฏิบัติการ ในการออกแบบ คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 7.73:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

เท่ากับ 60 นาที สามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ ได้มากถึง 96.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์

3) คุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้ เหมาะกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ เช่น เครื่องยนต์ทางการเกษตร เครื่องยนต์ดีเซลสำหรับเรือประมงหางยาว เป็นต้น เนื่องจากยังมีคุณสมบัติบางตัวยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ 2563 ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร วิทยาลัยรัษฎามิ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี และคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการสังเคราะห์และทดสอบน้ำมันไบโอดีเซล

เอกสารอ้างอิง

- Falowo, O. A. , Apanisile, O. E. , Aladelusi, A. O. , Adeleke, A.E., Oke, M.A., Enamhanya, A., Latinwo, L. M. and Betiku, E. 2021. Influence of nature of catalyst on biodiesel synthesis via irradiation-aided transesterification of waste cooking oil-honne seed oil blend: Modeling and optimization by Taguchi design method. **Energy Conversion and Management: X** 12: 100119.
- Inthachai, S. and Roschat, W. 2019. The Performance Testing of Biodiesel Oil Produced from Waste

- Cooking Oil by Using a prototype Solar Reactor for Agricultural Diesel Engines. **Journal of Materials Science and Applied Energy** 8(2): 398-407.
- Jairuan, W., Pairintra, R. and Sudaprasert, K. 2017. Biodiesel production by transesterification from chicken fat. **RMUTSB Academic Journal** 5(1): 41-49. (in Thai)
- Kattiyawan, T. 2016. Comparison and Improvement of Biodiesel Production Process from Used Vegetable Oil (A Case Study of Bangnak Community). **Princess of Naradhiwas University Journal** 8(1): 70-78. (in Thai)
- Lestari, S., Maki-Arvela, P., Beltramini, J., Max Lu, G.Q. and Murzin, D.Y. 2009. Transforming Triglycerides and Fatty Acids into Biofuels. **ChemSusChem** 2(12): 1109-1119.
- Linganiso, E.C., Tlhaola, B., Magagula, L.P., Dziike, S., Linganis, L.Z., Motaung, T.E., Motolo, N. and Tetana, Z.N. 2022. Biodiesel Production from Waste Oils: A south African Outlook. **Sustainability** 14: 1-21.
- Ma, F. and Hanna, M.A. 1999. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology** 70: 1-15.
- Mangwandi, C., Adams, M.J., Hounslow, M.J. and Salman, A.D. 2010. Effect of impeller speed on mechanical and dissolution properties of high-shear granular. **Chemical Engineering Journal** 164: 305-315.
- Mueanmas, C., Nikhom, R., Sopajarn, J. and Petchkaew, A. 2018. A Study of Influence Factors Affecting to Esterification Reaction of Waste Coffee Grounds Oil using Response Surface Methodology. **Thaksin University Journal** 21(3) (Special issue): 140-148. (in Thai)
- Niseng, S. 2013. Two-stage biodiesel production system from high free fatty acid crude palm oil using circulation through static mixer. Master Thesis of Engineering (Mechanical Engineering), Prince of Songkla University. (in Thai)
- Niseng, S. 2018. Development of biodiesel production reactor from used vegetable oil using 45° two-blade paddle coupled with 6-blade disc turbine. **Kasetsart Engineering Journal** 31(105): 29-38. (in Thai)
- Phoosakul, P. 2011. Study of Using CaO as Catalyst for Biodiesel Production with Refluxing Alcohol. Master Thesis of Engineering (Chemical Engineering), Prince of Songkla University. (in Thai)
- Quah, R.V., Tan, Y.H., Mubarak, N.M., Kansedo, J., Khalid, M., Abdullah, E.A. and Abdullah, M.O. 2020. Magnetic biochar derived from waste palm kernel shell for biodiesel production via sulfonation. **Waste Management** 118: 626-636.
- Rahadiani, E.S., Yelizam, Y. and Martha, M. 2018. Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. **Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry** 3(3): 70-82.
- Roschat, W., Butthichack, P., Daengdet, N., Phewphong, S., Kaewpuang, T., Moonsin, P., Yoosuk, B. and Promarak, V. 2020. Kinetic study of biodiesel production at room temperature based on eggshell-derived CaO as

- basic heterogeneous catalyst. **Engineering and Applied Science Research** 47(4): 361-373.
- Santadkha, T. and Santikunaporn, M. 2018. Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using KOH with Microwave Heating. **Science and Technology Journal** 26(6): 1041-1048. (in Thai)
- Singhasiri, T. 2014. Optimization of biodiesel production from chicken fat using response surface methodology. **Journal of Energy Research** 11(2): 54-65. (in Thai)
- Somnuk, K., Niseng, S. and Prateepchaikul, G. 2014. Optimization of high free fatty acid reduction in mixed crude palm oils using circulation process through static mixer reactor and pilot- scale of two-step process. **Energy Conversion and Management** 80: 374-381.
- Somnuk, K., Smithmaitre, P. and Prateepchaikul, G. 2013. Optimization of continuous acid-catalyzed esterification for free fatty acids reduction in mixed crude palm oil using static mixer coupled with high- intensity ultrasonic irradiation. **Energy Conversion and Management** 68: 193-199.
- Suppalakpanya, K., Rattanawilai, S.B. and Thongurai, C. 2010. Production of ethyl ester from crude palm oil by two- step reaction with a microwave system. **Fuel** 89: 2140-2144.
- Suzihaque, M.U.H., Syazwina, N., Alwi, H., Ibrahim, U.K., Abdullah, S. and Haron, N. 2022. A sustainability study of the processing of kitchen waste as a potential source of biofuel: Biodiesel production from waste cooking oil (WCO). **Materials Today: Proceedings** 63(Supplement 1): 484-489.
- The Department of Energy Business. 2006. **Biodiesel Characteristics and Quality for Agricultural Engines (Community Biodiesel) B.E. 2549**. Available source: http://elaw.doeb.go.th/document_doeb/TH/77_0001.pdf, November 12, 2022. (in Thai)
- Thunyaratchatanon, C. , Luengnaruemitcha, A. , Jitjamnong, J., Chollacoop, N., Chen, S.Y. and Yoshimura, Y. 2018. Influence of Alkaline and Alkaline Earth Metal Promoters on the Catalytic Performance of Pd-M/SiO₂ (M = Na, Ca, or Ba) Catalysts in the Partial Hydrogenation of Soybean Oil- Derived Biodiesel for Oxidative Stability Improvement. **Energy & Fuels** 32(9): 9744-9755.
- Yaqoob, H., Teoh, Y.H., Sher, F., Farooq, M.U., Jamil, M.A., Kausar, Z., Sabah, N.U., Shah, M.F., Rehman, H.Z.U. and Rehman, A.U. 2021. Potential of Waste Cooking Oil Biodiesel as Renewable Fuel in Combustion Engines: A Review. **Energies** 14(9): 1-20.