



รายงานการวิจัย

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันในน้ำเสียชุมชน เทศบาลเขารูปช้าง จังหวัด
สงขลา

Synthesis of Biodiesel from Oil in Waste Water at Khaoroochang
Municipality, Songkhla Province

สุห์ดี	นิเซ็ง	Suhdee Niseng
นภารัตน์	เกษตรสมบูรณ์	Naparatt Kasetsoomboon
อาริษา	โสภากาจารย์	Arrisa Sopajarn

วิทยาลัยรัตภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์
วิจัยและนวัตกรรม งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2563

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2563

ขอขอบคุณ วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ และอุปกรณ์การวิจัย

ขอขอบคุณ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการในการทดสอบ

ขอขอบคุณ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนเตาซีวมวลสำหรับการสร้างระบบผลิตไบโอดีเซล



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากของเสียในชุมชนเขารูปช้าง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา โดยใช้ไขมันพืชใช้แล้วจากการรวบรวมจากร้านค้าต่าง ๆ โดยการศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (1-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมัน (3:1-15:1) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (30-120 นาที) และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (50-70 องศาเซลเซียส) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ในการทดลองจะใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface) และออกแบบการทดลองด้วยวิธี Central Composite Design (CCD) เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลได้ คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับไขมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 7.73:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เท่ากับ 60.54 นาที น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติเทียบเคียงน้ำมันไบโอดีเซลชุมชน จากนั้นใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำ ซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากเตาชีวมวล และฮีตเตอร์ช่วยประหยัดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล และช่วยกำจัดขยะในชุมชนอีกด้วย พบว่าได้เมทิลเอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์ 96.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทดสอบระบบดังกล่าวด้วยสภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ



Abstract

This research was studied of biodiesel synthesis from waste of Khaoroochang Municipality, Songkhla Province. Waste cooking oil which collected from markets was used. The four parameters: amount of catalyzed (1-5 %wt.), molar ratio of alcohol to oils (3:1-15:1), reaction time (min), and reaction temperature (50-70 °C), were varied to investigate. 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 comparable obtained for commercial biodiesel standard. Then the data in lap-scale used for design of biodiesel production system from low free fatty acid vegetable oils by using biomass energy and conventional heater. That system can be safe and reduce waste. The tests showed that methyl ester purity was achieved 96.83 %wt. under the same optimize condition in lab-scale.



สารบัญเรื่อง

กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อ	(2)
Abstract	(3)
สารบัญเรื่อง	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(7)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แนวคิด /ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไบโอดีเซล	3
2.2 วัตถุดิบที่ผลิตไบโอดีเซล	4
2.3 วัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซล	5
2.4 ปฏิกริยาปฏิกิริยาทรานเอสเตอร์ริฟิเคชัน	6
2.5 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานเอสเตอร์ริฟิเคชัน	7
2.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเตอร์ริฟิเคชัน	9
2.7 คุณสมบัติไบโอดีเซล	10
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	16
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	16
3.3 การออกแบบระบบผลิตไบโอดีเซล	22
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ	25
4.2 การสร้างพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลตัวแปรที่มีต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชใช้แล้ว	29
4.3 การวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค FTIR	36
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอดีเซล	36
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของกรดไขมัน	6
ตารางที่ 2.2 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552	11
ตารางที่ 2.3 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549	13
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Central composite design (CCD)	18
ตารางที่ 3.2 ตารางการออกแบบการทดลองแบบโดยใช้ KOH	18
ตารางที่ 3.3 ตารางการออกแบบการทดลองแบบโดยใช้ NaOH	19
ตารางที่ 3.4 อุปกรณ์ระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล	24
ตารางที่ 4.1 ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ สภาวะต่าง ๆ จากการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค RSM	25
ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสถิติของร้อยละไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	27
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้	37

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน	7
ภาพที่ 2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส	8
ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด	9
ภาพที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน	10
ภาพที่ 3.1 การกรองน้ำมันพืชใช้แล้ว	17
ภาพที่ 3.2 การไล่ความชื้นออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว	17
ภาพที่ 3.3 การแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรอล	21
ภาพที่ 3.4 ระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล	23
ภาพที่ 3.5 ผังการทำงานระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล	23
ภาพที่ 4.1 contour plot และ surface plot อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วและปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	30
ภาพที่ 4.2 contour plot และ surface plot อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	31
ภาพที่ 4.3 contour plot และ surface plot อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วและเวลาในการทำปฏิกิริยา	32
ภาพที่ 4.4 contour plot และ surface plot อิทธิพลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	33
ภาพที่ 4.5 contour plot และ surface plot อิทธิพลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และเวลาในการทำปฏิกิริยา	34
ภาพที่ 4.6 contour plot และ surface plot อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา	35
ภาพที่ 4.7 พิกัด FTIR ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่สภาวะอะตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 7.73:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เท่ากับ 60.54 นาที	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พลังงานถือเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานหลายประเภทด้วยกัน แต่มีปริมาณค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ โดยพลังงานหลักที่ใช้คือ น้ำมัน ซึ่งนำมาใช้ในภาคการคมนาคมขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคการเกษตรกรรม [1] จากความต้องการพลังงานของประเทศไทยในปัจจุบันพบว่า ภาคขนส่งมีการใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 38 และเมื่อดูจากตลาดน้ำมันพบว่า ในประเทศไทยตลาดน้ำมันดีเซลมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซินกว่า 2 เท่า น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันสำคัญที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบเพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ในการคมนาคมขนส่ง และยังพบว่าประเทศไทยมีการนำเข้าน้ำมันดิบมากเป็นอันดับ 1 ของสินค้านำเข้าทั้งหมดโดยมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งน้ำมันดิบไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้ต้องเสียเงินเพื่อนำเข้าน้ำมันดิบสูงขึ้นทุกปี ประกอบกับปัญหาวิกฤติราคาน้ำมันโลกที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ประเทศไทยต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงปิโตรเลียม

จากปัญหาดังกล่าวทำให้ประเทศไทยให้ความสนใจในการผลิตพลังงานจากไบโอดีเซลมากขึ้น และยังเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาประเทศ เนื่องจากผลิตได้จากวัตถุดิบหลักที่มีอยู่แล้วในประเทศไทย ทำให้สามารถลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศ ลดการขาดดุลการค้า และเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศไทยอีกประการหนึ่งด้วย ไบโอดีเซลจัดเป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่เป็นกระบวนการทางเคมีด้วยการเปลี่ยนสารไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นสารประกอบเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กด้วยการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โมเลกุลเล็ก เช่น เอทานอลหรือเมทานอล ในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา การผลิตไบโอดีเซลต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง que ส่งผลต่อความบริสุทธิ์และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความบริสุทธิ์ของน้ำมันตั้งต้น อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันดิบต่อแอลกอฮอล์ ชนิดและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปัจจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นล้วนส่งผลต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั้งสิ้น

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญดังกล่าวและมีความสนใจในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากชุมชนต้นแบบ เทศบาลเมืองเขารูปช้าง จ. สงขลา ซึ่งเป็นการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์เป็นพลังงานแทนการนำกลับไปใช้บริโภค และยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข ซึ่งสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยได้ศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (homogeneous catalyst) และศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน และระยะเวลา

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันหรือไขมันซึ่งพบในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็ง หรือน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้วผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification)
2. เพื่อศึกษาสภาวะองค์ประกอบของสารตั้งต้นปฏิกิริยา คือ ไขมันที่อยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็ง หรือน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้
3. เพื่อศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (homogeneous catalyst) คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
4. เพื่อศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันคือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน และระยะเวลา

1.3 ขอบเขต

1. ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกรดเชิงพาณิชย์
2. ใช้น้ำมันดิบหรือไขมันที่รวบรวมในเขตเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงองค์ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซล คือ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน ระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล
2. ได้องค์ความรู้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่พร้อมถ่ายทอดให้กับชุมชนต้นแบบเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จ. สงขลา และหน่วยงานหรือบุคคลทั่วไปที่สนใจ
3. ตีพิมพ์บทความวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับชาติหรือบทความวิชาการระดับชาติ/นานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง

บทที่ 2

แนวคิด /ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ปัจจุบันนโยบายการใช้พลังงานของหลายประเทศในโลกได้หันมาให้ความสนใจกับแหล่งพลังงานทดแทน เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งปิโตรเลียมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนมีปริมาณสำรองที่ลดน้อยลงเรื่อย ๆ ไบโอดีเซลจึงเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทยและยังเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาประเทศ เนื่องจากผลิตได้จากวัตถุดิบหลักที่มีอยู่แล้วในประเทศไทย ทำให้สามารถลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศ ลดการขาดดุลการค้า และเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศไทยอีกประการหนึ่งด้วย

2.1.1 ประเภทของไบโอดีเซล [2]

ไบโอดีเซลที่มีการผลิตได้มีอยู่ 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ไบโอดีเซล (Straight Vegetable Oil) ที่ใช้น้ำมันของพืชหรือไขมันจากสัตว์โดยตรงเช่น ใช้น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันจากไขสัตว์ เช่น น้ำมันหมู เป็นต้น ป้อนลงไปเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นใด อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญของการใช้น้ำมันพืชโดยตรง คือ ต้องมีการอุ่นน้ำมันในทุกจุดที่มีน้ำมันผ่าน ได้แก่ ถังน้ำมัน ท่อทางเดินน้ำมันชุดกรองน้ำมัน อุณหภูมิของน้ำมันที่อุ่นอย่างน้อย 70 °C แนวทางในการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง เป็นวิธีการที่ได้นำน้ำมันในราคาที่ถูกโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำน้ำมันพืชซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นมาใช้ แต่การที่จะนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยความร้อนในการหลอมเหลวไขแข็งและลดความหนืดของน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11-17 เท่า ที่อุณหภูมิตัวน้ำมันพืชยิ่งมีความหนืดสูงขึ้นเป็นลำดับจนเกิดเป็นไข การที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้หัวฉีดน้ำมันฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็นอุปสรรคในการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้แล้วน้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้าและน้อยมาก (slow/low volatility) ยิ่งทำให้การจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยากและหลงเหลือคราบเขม่าที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวนและวาล์ว จากคุณสมบัติที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงและระเหยตัวได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยากเมื่อใช้น้ำมันพืชโดยตรงในเครื่องยนต์

2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสม (Veggie /Kero Mix) เป็นการผสมน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลงเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น ไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันมะพร้าวเรียกว่า โคโคดีเซล (Cocodiesel) น้ำมันที่ได้จากวิธีการดังกล่าวเหมาะกับกรณีจำเป็นต้องการใช้น้ำมันอย่างเร่งด่วน และใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้งานหนักตลอดจนใช้งานในภูมิอากาศเขตร้อน อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งาน อัตราส่วนผสมมีตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์น้ำมันก๊าด 90 เปอร์เซ็นต์น้ำมันพืช จนถึง 40 เปอร์เซ็นต์น้ำมันก๊าด 60 เปอร์เซ็นต์น้ำมันพืช อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์น้ำมันก๊าด 80 เปอร์เซ็นต์น้ำมันพืช อย่างไรก็ตามหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันก๊าด สามารถติดตั้งถังน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อ

ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์และตอนก่อนเลิกใช้งานเครื่องยนต์ ปัจจุบันมีการนำวิธีดังกล่าวไปใช้งาน แต่เนื่องจากราคาของน้ำมันก๊าดค่อนข้างสูงทำให้ใช้ปริมาณของน้ำมันก๊าดน้อยเกินไป ทำให้น้ำมันผสมที่ได้เมื่อนำไปใช้จึงเกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์จากปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันผสม นอกจากนี้เพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่มีการตัดแปลงเครื่องยนต์ จึงต้องเลือกชนิดน้ำมันพืช ชนิดของตัวทำละลาย และสัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับพื้นที่ และฤดูกาลที่ใช้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้ และไม่เกิดความยุ่งยากต่างๆ ตามมา เช่น การเกิดไขในท่อส่งน้ำมัน ทำให้เกิดการอุดตัน เป็นต้น

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติเหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดทำให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ได้น้ำมันที่มีความคงตัวมากขึ้นสามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิดทั้งเติมโดยตรงและผสมลงในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ เช่น B5 หมายถึง การผสมไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5:95 หรือ B100 ซึ่งเป็นน้ำมันไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น แต่ปัญหาคือ ต้นทุนการผลิตมีราคาแพงกว่าเมื่อเทียบกับไบโอดีเซลแบบอื่นๆ ปัจจุบันราคาของน้ำมันไบโอดีเซลยังสูงกว่าน้ำมันดีเซล 1-2 เท่าตัว อย่างไรก็ตามการนำมาใช้กับเครื่องยนต์มักจะนำน้ำมันดีเซลมาผสมด้วย ซึ่งในปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในระบบขนส่งมวลชน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีราคาไม่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก นอกจากนี้เผาไหม้ได้อย่างหมดจดไม่มีเขม่าควันหลงเหลือให้เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากความนิยมเป็นอย่างมากเช่นนี้ทำให้ปริมาณน้ำมันจำนวนมากนำไปโอดีเซลมาบริการให้กับลูกค้า เชื้อเพลิงชนิดนี้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จุดวาบไฟของไบโอดีเซล มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้วค่าซีเทนที่เป็นดัชนีบอกลักษณะการติดไฟของไบโอดีเซล ยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล

2.2 วัตถุดิบที่ผลิตไบโอดีเซล [3]

การผลิตไบโอดีเซลได้มาจากวัตถุดิบหลัก ได้แก่กลุ่มพืชที่ให้น้ำมัน ไขมันจากสัตว์ และจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยจำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

2.2.1 กลุ่มน้ำมันจากพืช คือ น้ำมันที่ได้จากพืช เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง ถั่วลิสง ละหุ่ง งา ทานตะวัน รำข้าว สบู่ดำ และน้ำมันพืชอื่นๆ น้ำมันพืชที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบัน คือ น้ำมันพืชที่ใช้ประกอบอาหารแล้วหรือน้ำมันพืชใช้แล้ว เนื่องจากมีราคาถูกและหาง่าย ประกอบกับมีน้ำมันที่ใช้แล้วเหลือในประเทศไทยในปริมาณที่ค่อนข้างมาก นอกจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ปัจจุบันได้เริ่มมีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมากขึ้น สำหรับน้ำมันจากพืชชนิดอื่นๆ ไม่นิยมนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงเพราะมีราคาสูง และเหมาะกับการนำไปเป็นอาหารมากกว่า

2.2.2 กลุ่มน้ำมันจากสัตว์ คือ น้ำมันที่เจียวออกมาจากไขมันสัตว์ สัตว์ทุกชนิดที่มีไขมันสามารถนำมาทำเป็นไบโอดีเซลได้ แต่ปัจจุบันน้ำมันสัตว์ที่นิยมนำมาทำไบโอดีเซลได้ คือ น้ำมันหมูและน้ำมันไก่ เพราะทำไบโอดีเซลได้ง่าย ปริมาณไบโอดีเซลมากจึงคุ้มทุน น้ำมันจากสัตว์ที่นำมาทำไบโอดีเซลมีข้อเสียอยู่บ้าง คือ เป็นไขง่าย ทำให้ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลต้องมีการอุ่นน้ำมันให้น้ำมันที่เป็นไขกลายเป็นของเหลวก่อนจึงจะนำมาผลิตไบโอดีเซล

2.2.3 กลุ่มน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว เป็นวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดเนื่องจากมีเหลือใช้อยู่แล้วในปริมาณมากและหาได้ง่าย เหมาะสมที่จะนำมาผลิตไบโอดีเซล น้ำมันพืชที่ใช้แล้วจึงเป็นวัตถุดิบอันดับแรกที่เราจะเลือกนำมาผลิตไบโอดีเซล

2.3 วัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซล

2.3.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชยืนต้นขนาดใหญ่ที่ผลผลิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทั้งด้านการบริโภค เช่น การทำน้ำมันพืช การใช้ในอุตสาหกรรมขนม และอาหารขบเคี้ยว การใช้งานอื่นและเนยเทียม หรือใช้ในอุตสาหกรรมอุปโภคอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมพลาสติกเครื่องสำอาง และยางรถยนต์ เป็นต้น โดยปริมาณการใช้น้ำมันปาล์มของประเทศในแต่ละปี มีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากผลปาล์มนั้น นอกจากจะมีคุณภาพดีแล้วยังถือได้ว่าเป็นน้ำมันที่สามารถให้ผลผลิตต่อไร่สูงสุดเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น โดยปาล์มน้ำมันจะเริ่มให้ผลผลิตหลังปลูกลงในแปลงแล้วประมาณ 3 ปี ซึ่งจะให้ผลผลิตตลอดไปจนถึงอายุประมาณ 20-25 ปี จึงจัดได้ว่าเป็นพืชที่ให้ผลผลิตยาวนานรวมทั้งต้นทุนการดูแลรักษาในระยะหลังมีน้อยและไม่ยุ่งยากอีก เนื่องด้วยคุณลักษณะที่เด่นของปาล์มน้ำมันคือ เมื่อมีอายุมากขึ้นจะมีศัตรูพืชลดลง ปาล์มน้ำมันจึงนับได้ว่าเป็นพืชชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีศักยภาพมากที่สุดในการนำมาผลิตไบโอดีเซล เพื่อลดผลกระทบจากปัญหาน้ำมันปิโตรเลียมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาสูงขึ้น ซึ่งนับได้ว่าเป็นความโชคดีของประเทศไทยที่เป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้เหมือนมีแหล่งน้ำมันอยู่บนดินเพื่อลดการพึ่งพาการนำเข้า แถมยังช่วยส่งเสริมให้เกษตรกรมีรายได้ที่มั่นคง นำพาประเทศเจริญรุ่งเรืองต่อไป

2.3.2 น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ใช้แล้ว

การนำน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ใช้แล้ว กลับมาประกอบอาหารซ้ำมีความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ เนื่องจากในน้ำมันพืชใช้แล้วที่นำกลับมาใช้ซ้ำมีสารพิษก่อมะเร็งอยู่ 2 กลุ่ม คือ อนุมูลอิสระและไดออกซิน จึงสมควรนำน้ำมันใช้แล้วเหล่านั้นมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์เป็นพลังงานโดยนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล แทนการนำกลับไปใช้บริโภค น้ำมันใช้แล้วจะประกอบด้วยกรดไขมันอิสระและน้ำในปริมาณที่สูงกว่าน้ำมันพืชใหม่ ในตารางที่ 6.1 แสดงสูตรโครงสร้างของกรดไขมัน ทั้งนี้กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมน้ำมันพืชใช้แล้วจากตลาดหรือภายในชุมชน นำมาพักให้ตกตะกอนและกรองเอาตะกอนออก ให้ความร้อนเพื่อให้น้ำแยกตัวออกจากน้ำมันเพื่อให้น้ำมันที่นำไปผลิตมีน้ำและสิ่งสกปรกเจือปนให้น้อยที่สุดจากนั้นนำน้ำมันที่ได้มาผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยกรด และแอลกอฮอล์ เพื่อปรับสภาพน้ำมันให้มีคุณสมบัติคงที่แล้วพักไว้ 1 คืน จากนั้นนำมากระตุ้นด้วยแอลกอฮอล์และต่าง ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พักทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง จะเกิดการแยกตัวเป็นน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอริน จึงแยกเอาน้ำมันไบโอดีเซลไปผ่านกระบวนการล้างอย่างน้อย 3-4 ครั้ง โดยครั้งแรกต้องเป็นน้ำที่มีการเติมกรดอ่อน เพื่อปรับสภาพน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ให้มีค่าความเป็นกลาง จากนั้นนำน้ำมันไปอุ่นเพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมันจะได้น้ำมันไบโอดีเซลที่ใส เมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ต้องผ่านกระบวนการกรองอย่างดีอีกครั้ง หรือจะใช้วิธีตั้งพักทิ้งไว้หลายๆ วัน จะเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงในการอุ่นน้ำมัน

ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของกรดไขมัน [4]

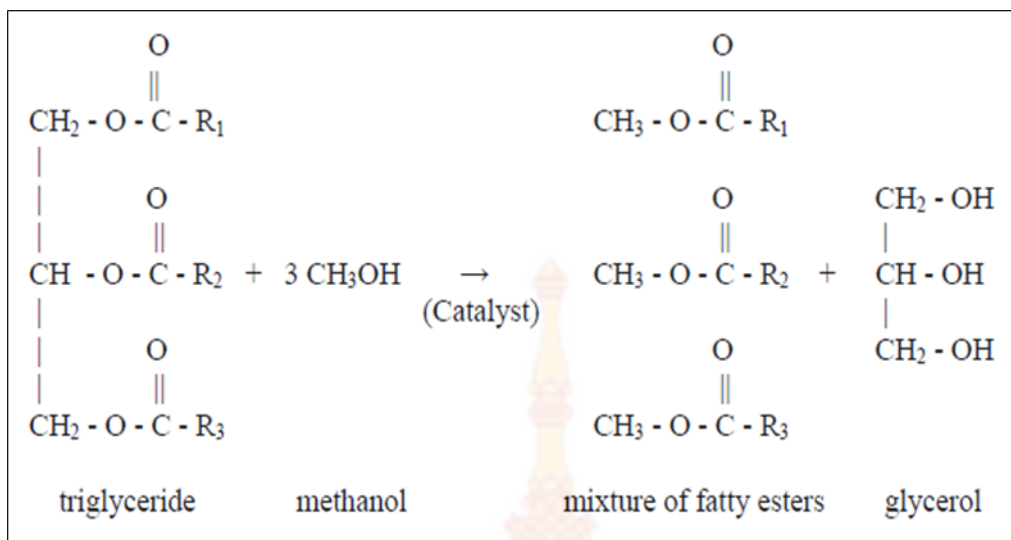
ชนิดของกรดไขมัน	ชื่อทางเคมีของกรดไขมัน	โครงสร้าง (x:y)	สูตรโมเลกุล
Capric	Decanoic	10:0	$C_{10}H_{20}O_2$
Lauric	Dodecanoic	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Myristic	Tetradecanoic	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Palmitic	Hexadecanoic	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Stearic	Octadecanoic	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Arachidic	Eicosanoic	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$
Behenic	Docosanoic	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$
Lignoceric	Tetracosanoic	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$
Oleic	cis-9-Octadecenoic	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Linoleic	cis-9,cis-12-Octadecadienoic	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolenic	cis-9,cis-12,cis-15-Octadecadienoic	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$
Erucic	cis-13-Docosenoic	22:1	$C_{22}H_{42}O_2$

2.3.3 สบู่ดำ

สบู่ดำสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบของน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล โดยนำผลแก่ของเมล็ดสบู่ดำมาบีบจนได้น้ำมันเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ที่มีรอบต่ำ เช่น เครื่องจักรกลทางการเกษตร เครื่องตัดปลาของชาวประมง เป็นต้น ซึ่งจะช่วยลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ และเพิ่มความมั่นคงด้านพลังงาน ที่สำคัญก็คือนำมาช่วยเกษตรกรไทยอย่างยั่งยืน เป็นที่ยอมรับกันว่าสามารถทำให้มลภาวะในอากาศลดลง เนื่องจากไม่มีสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบจึงทำให้ไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์ปราศจากมลพิษ นอกจากนี้กากของสบู่ดำสามารถนำมาทำปุ๋ย เผาเป็นเชื้อเพลิง หรือในสวนอื่นๆ อย่างเมล็ดใช้เป็นยารักษาโรคข้ออักเสบ โรคตัวเหลืองตาเหลือง ส่วนของใบ ใช้รักษาโรคกรดสิดดวงทวาร เป็นต้น สบู่ดำจึงเป็นพืชทางเลือกหนึ่งที่ภาคธุรกิจกำลังเร่งศึกษาและทดลองใช้ระดับชุมชน ซึ่งหากการพัฒนาพันธุ์ หรือมีเทคโนโลยีการปลูกที่ดี สบู่ดำก็น่าจะเป็นพืชน้ำมันที่มีผลต่อเศรษฐกิจไทยในอนาคต

2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน(Transesterification Reaction) [4]

เกิดจากการปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นกรดหรือด่าง โดยปกติในน้ำมันพืชประกอบไปด้วยกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid), Phospholipids, Sterols, น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นๆ ดังนั้นในการนำน้ำมันมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสายโซ่ตรง และหนึ่งในกระบวนการนั้นคือ ปฏิกิริยา Transesterification (หรือปฏิกิริยา Alcoholysis) เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจาก Triglycerides ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Mono alkyl Ester) ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) หรือ เอทิลเอสเทอร์ (Ethyl Ester) และกลีเซอริน (Glycerine หรือ Glycerol) ดังภาพที่ 2.1



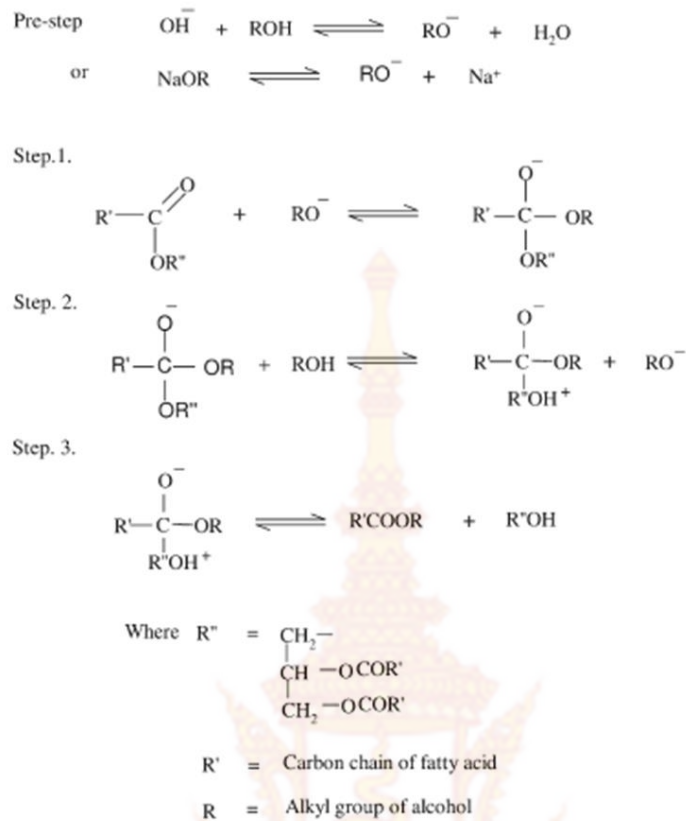
ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน[5]

2.5 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีขึ้น โดยชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.5.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base Catalyst)

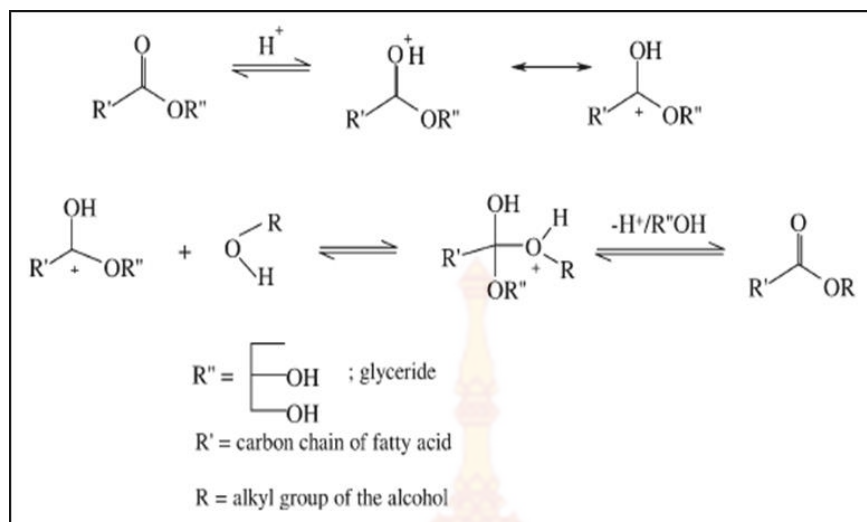
ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่ใช้กันในปัจจุบัน คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ และโพแทสเซียมเมทอกไซด์ ซึ่งควรใช้ทำปฏิกิริยากับเมทานอลหรือเอทานอลโดยน้ำมันที่ใช้จะเป็นชนิดใดก็ได้ เช่น น้ำมันพืชดิบ น้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) ในปริมาณที่สูงด้วย ส่วนข้อจำกัดตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส คือ น้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบ (free fatty acid) ถ้ามีน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในระบบของการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมากจะทำให้มีสบู่เกิดขึ้นแทนที่จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์ กลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส [6]

2.5.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst)

กรดที่ใช้กันโดยทั่วไปได้แก่ กรดซัลฟูริก, กรดฟอสฟอริก, กรดซัลโฟนิก แต่ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ กรดซัลฟูริก ตัวเร่งชนิดนี้จะทำให้ได้ผลผลิต คือ น้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมากแต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้ากว่าการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้ กลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด [6]

2.5.3 เอนไซม์ไลเปส (Lipase)

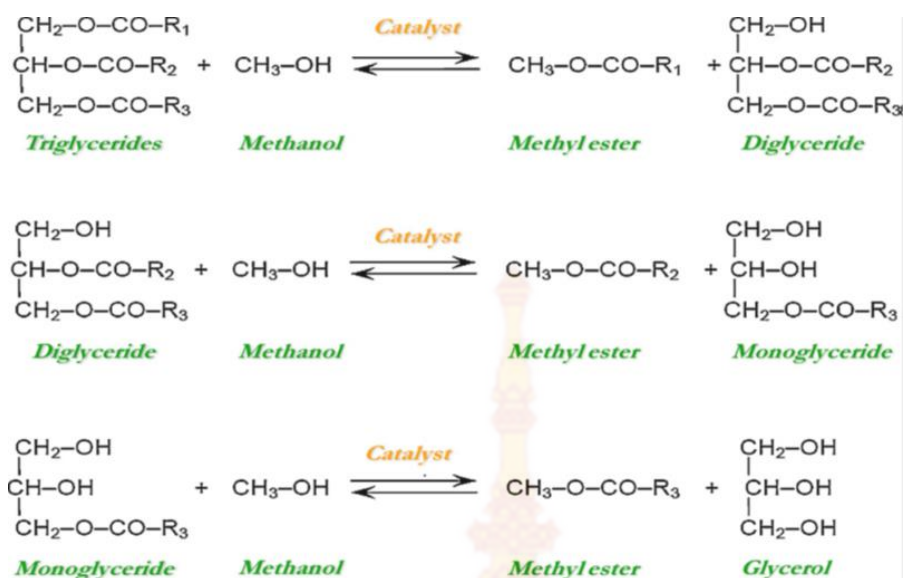
เอนไซม์ไลเปสถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ เช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอลแอลกอฮอล์ไลซิส (alcoholysis) และแอซิดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปส คือ สามารถแยกกลีเซอรอลออกมาได้ง่าย มีการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกโดยไม่มีของเสียออกมาจากกระบวนการ แต่ในทางกลับกันค่าใช้จ่ายในการใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะค่อนข้างสูง

2.5.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst)

เป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานเอสเตอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในระบบ เช่น ZrO_2 , ZnO , Zeolite เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบที่มีน้ำในปฏิกิริยา โดยทั่วไปต้องใช้อุณหภูมิและอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันสูง จุดเด่นของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ คือ สามารถนำกลับมาใช้ได้หลายครั้ง

2.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ 3 ขั้นตอน คือ ไตรกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ก่อน ไดกลีเซอไรด์ก็จะเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ และสุดท้ายได้เป็นเอสเตอร์ ดังแสดงในปฏิกิริยา (Borges and Díaz, 2012) ในภาพที่ 6.4



ภาพที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน[7]

2.7 คุณสมบัติไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่จำหน่ายในปัจจุบันผลิตจากวัตถุดิบที่หลากหลายมากจึงมีคุณภาพที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นเพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภค กรมธุรกิจพลังงานจึงได้กำหนดมาตรฐานเพื่อใช้ในการกำกับดูแลและตรวจสอบผู้ประกอบการภายในประเทศ ที่มีการจำหน่ายไบโอดีเซลให้ได้คุณภาพตามที่กำหนดไว้ ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงานเรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552 และเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552 (กรมธุรกิจพลังงานพ.ศ. 2552)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ ¹
1	เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester, ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่นอุณหภูมิ 15 °ซ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Density at 15 °C, kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า 860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืดอุณหภูมิ 40 °ซเซนติสโตกส์ (Viscosity at 40 °C, cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า 3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ (Flash Point, °C)	องศาเซลเซียส ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
5	กำมะถัน (Sulphur, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue , on 10 % distillation residue, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า 51	ASTM D 613 ASTM D 874
8	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash, ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า 0.02	EN ISO 12937
9	น้ำร้อยละโดยน้ำหนัก (Water, %wt.)	ไม่สูงกว่า 0.050	EN 12662
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมดร้อยละโดยน้ำหนัก (Total Contaminate, %wt.)	ไม่สูงกว่า 0.0024	
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า หมายเลข	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาชิวโมง ออกซิเดชันอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (Oxidation Stability at 100 °C, hours)	ไม่ต่ำกว่า 1 6	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรดมิลลิกรัมโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม (Acid Value , mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D 664

ตารางที่ 2.2 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552(กรมธุรกิจพลังงานพ.ศ. 2552) (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ ^{1/}
14	ค่าไอโอดีนกรัมไอโอดีน/ 100 กรัม (Iodine Value , g Iodine / 100 g)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ร้อยละโดยน้ำหนัก (Linolenic Acid Methyl Ester , %wt.)	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอลร้อยละโดยน้ำหนัก (Methanol, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมนอกลิเซอไรด์ร้อยละโดยน้ำหนัก (Monoglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์ร้อยละโดยน้ำหนัก (Diglyceride , %wt)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์ร้อยละโดยน้ำหนัก (Triglyceride , %wt)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระร้อยละโดยน้ำหนัก (Free glycerin , %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมดร้อยละโดยน้ำหนัก (Total glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1(โซเดียมและโปแตสเซียม) มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group I metals (Na+K), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 และ EN 14109
	โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) มิลลิกรัม/ กิโลกรัม (Group II metals (Ca+Mg), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	Pr EN 14538
23	ฟอสฟอรัสร้อยละโดยน้ำหนัก (Phosphorus, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)			
ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี กรมธุรกิจพลังงาน				

หมายเหตุ ^{1/}วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้

ตารางที่ 2.3 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549
(กรมธุรกิจพลังงานพ.ศ. 2549)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ ^{1/}
1	ความหนาแน่นอุณหภูมิ 150°ซ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Density at 15 0C, kg/m3)	ไม่ต่ำกว่า	860	ASTM D 1298
2	ความหนืดอุณหภูมิ 40 °ซเซนติสโตกส์ (Viscosity at 40 °C, cSt)	ไม่สูงกว่า และ ไม่ต่ำกว่า	900 1.9	ASTM D 445
3	จุดวาบไฟองศาเซลเซียส (Flash Point , °C)	ไม่สูงกว่า และ ไม่ต่ำกว่า	8.0 120	ASTM D 93
4	กำมะถันร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphur, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0015	ASTM D 2622
5	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า	47	ASTM D 613
6	เถ้าซัลเฟตร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphated Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
7	น้ำและตะกอนร้อยละโดยปริมาตร (Water and Sediment, %vol.)	ไม่สูงกว่า	0.2	ASTM D 2709
8	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 3	ASTM D 130
9	ค่าความเป็นกรดมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม (Acid Number, mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.80	ASTM D 664
10	กลีเซอรินอิสระร้อยละโดยน้ำหนัก (Free glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 6584
11	กลีเซอรินทั้งหมดร้อยละโดยน้ำหนัก (Total glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	1.5	ASTM D 6584
12	สี (Colour)		ม่วง ^{2/}	ตรวจพินิจด้วย สายตา
13	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)			
		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี กรมธุรกิจพลังงาน		

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Noureddini และ Zhu (1997) ได้ศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง โดยศึกษาผลของความรุนแรงในการผสม (mixing intensity) ในช่วง 3100 ถึง 12,400 ที่อุณหภูมิ 30-70 °C พบว่าระดับของความรุนแรงในการผสมระหว่างแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยที่ไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์จะไม่ผสมกันในช่วงแรกๆ การกวนจะช่วยให้เกิดการผสมรวมตัวกันทำให้เพิ่มอัตราการส่งผ่านเชิงมวล ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่า เรย์โนลด์นัมเบอร์จะทำให้จลนศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันเปลี่ยนแปลงด้วย ปฏิกิริยาในช่วงแรกจะเกิดขึ้นช้า แต่เมื่อน้ำมันและแอลกอฮอล์เกิดการรวมตัวกันแล้ว ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การเพิ่มค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์จะไม่ค่อยมีผลต่อปฏิกิริยามากนักและอัตราการเกิดปฏิกิริยาในช่วงหลังจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ [8]

Tongurai และคณะ (2001) ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันแบบแบทช์จากผลิตผลปาล์มน้ำมัน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทิลแอลกอฮอล์ 1:6 และโซดาไฟ 0.5-1% ของน้ำมัน อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่ 60-80 °C โดยมีการกวนประมาณ 15-30 นาที และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานาน 3-4 ชั่วโมง พบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์เกือบ 100% [9]

สุรัชย์ จันทร์ศรี (2007) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันดิบชนิดหีบรวม ด้วยกระบวนการสองขั้นตอน โดยควบอุณหภูมิไว้ที่ 60°C ขั้นตอนแรกสามารถลดกรดไขมันอิสระที่อยู่ในช่วง 8-12% ลงเหลือน้อยกว่า 1% โดยน้ำหนัก ภายใต้สภาวะ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8% โดยน้ำหนัก ภายในเวลา 30 นาที และนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลต่อในขั้นตอนที่สอง ภายใต้สภาวะ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไตรกลีเซอไรด์ 6:1 และใช้โซดาไฟ 0.5% โดยน้ำหนัก ภายในเวลา 5 นาที ได้เมทิลเอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 97% ทั้งสองกระบวนการใช้ความเร็วรอบของใบกวนเท่ากับ 300 รอบ/นาที [10]

Gumpon P และคณะ (2007) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบชนิดกรดสูงด้วยกระบวนการแบบสองขั้นตอนด้วยการกวนผสมคงที่ที่ 140 rpm พบว่าในขั้นตอนแรกใช้เวลาในการลดกรดไขมันอิสระให้เหลือต่ำกว่า 2 mgKOH/g นาน 90 นาที และในขั้นตอนที่สองใช้เวลาทำปฏิกิริยา 90 นาที สามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 97.5% [11]

Rashid และคณะ (2007) ได้ศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันแรพซีดด้วยกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน พบว่าผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ 95-96% ภายใต้เงื่อนไขที่ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1% อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาระยะเวลา 2 ชั่วโมง ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ 95-96% [12]

Suhdee และคณะ (2014) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มรีไฟน์ โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบท่อผสมแบบสถิต ใช้วิธีพินผิวตอบสนองหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ซึ่งออกแบบการทดลองแบบ central composite design (CCD) จากการทดลองพบว่า เงื่อนไขที่ดีที่สุด คือ ใช้เมทานอล 23.81 %โดยปริมาตร โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 11.80 %โดยปริมาตร ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 60 นาที ได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 98.5 %โดยน้ำหนัก [13]

สุห์ดี นิเซ็ง ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพีซีใช้แล้วด้วยการใช้ใบกวนสองรูปแบบร่วมกัน คือ คือ 45° two-blade paddle และ 6-blade disc turbine เพื่อกวนผสมวัตถุดิบที่ติดตั้งบนเพลลาเดียวกันภายในถังปฏิกรณ์

สำหรับการทดลองจะใช้ความเร็วรอบในการกวนผสม 400 และ 600 rpm ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลของความเร็วรอบในการกวนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล จากการทดลองภายใต้เงื่อนไข น้ำมันพืชที่ใช้แล้วจำนวน 30 ลิตร เมทานอล 30 %โดยปริมาตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม/น้ำมัน 1 ลิตร ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 °C และความเร็วรอบในการกวนผสม 600 rpm สามารถผลิตไบโอดีเซลมีผลได้ 93.33% และมีความบริสุทธิ์ 97.31 %โดยน้ำหนัก ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 15 นาที [14]



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 น้ำมันพืชใช้แล้ว

3.1.1.2 น้ำกลั่น

3.1.1.3 เมทานอล (CH_3OH)

3.1.1.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.1.1.5 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

3.1.1.6 โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส (Na_2SO_4)

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 ปีกเกอร์

3.1.2.2 เตาให้ความร้อน (Hot Plate)

3.1.2.3 กรวยแยกสาร (Separatory funnel)

3.1.2.4 Magnetic bar

3.1.2.5 ตู้อบ

3.1.2.6 เทอร์โมมิเตอร์

3.1.2.7 ซ้อนตักสาร

3.1.2.8 แท่งแก้วคนสาร

3.1.2.9 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

วิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้วจากเทศบาลเขา
รูปช้าง จังหวัดสงขลาขั้นตอนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล และขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล โดยแต่ละ
ขั้นตอนจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การเตรียมเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้วจากชุมชนเขารูปช้าง

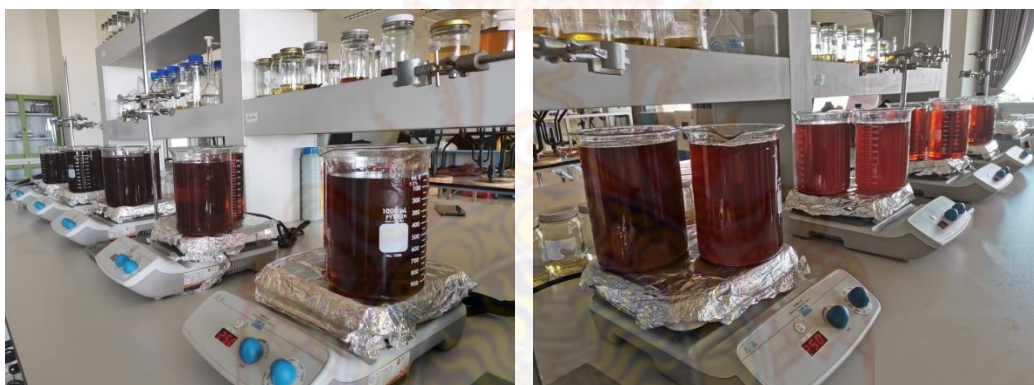
3.2.1.1 เก็บตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้ว จากเทศบาลเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา

3.2.1.2 นำน้ำมันพืชใช้แล้วมาพักให้ตกตะกอนและกรองเอาตะกอนออก

3.2.1.3 นำน้ำมันพืชใช้แล้วมาให้ความร้อนเพื่อให้น้ำแยกตัวออกจากน้ำมัน เพื่อให้ไขมันที่นำไปผลิต
มีน้ำและสิ่งสกปรกเจือปนให้น้อยที่สุด



ภาพที่ 3.1 การกรองน้ำมันพืชใช้แล้ว



ภาพที่ 3.2 การไล่ความชื้นออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

ออกแบบการทดลองโดยใช้ Response Surface Methodology (RSM) แบบ Central composite design (CCD) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชัน คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (1-5 wt.%) อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน (3:1-15:1) อุณหภูมิ (50-70 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (30-150 นาที) และศึกษาผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตามตารางที่ 3.1-3.3

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Central composite design (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

ตารางที่ 3.2 ตารางการออกแบบการทดลองแบบโดยใช้ KOH

Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
	M:O (Molar ratio)	Catalyst loading (wt.%)	Temperature °C	Time (min)
1	9	3	60	90
2	15	3	60	90
3	6	4	55	60
4	9	3	60	90
5	6	2	55	60
6	6	4	65	60
7	9	3	60	90
8	12	4	65	120
9	12	2	65	60
10	9	3	60	90
11	12	2	55	60
12	6	2	65	120
13	12	2	65	120
14	9	5	60	90
15	3	3	60	90

ตารางที่ 3.2 ตารางการออกแบบการทดลองแบบโดยใช้ KOH (ต่อ)

Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
	M:O (Molar ratio)	Catalyst loading (wt.%)	Temperature °C	Time (min)
16	9	3	50	90
17	12	4	65	60
18	9	3	70	90
19	9	3	60	90
20	12	2	55	120
21	12	4	55	60
22	12	4	55	120
23	9	3	60	150
24	9	1	60	90
25	6	2	65	60
26	6	4	55	120
27	6	2	55	120
28	9	3	60	30
29	6	4	65	120
30	9	3	60	90

ตารางที่ 3.3 ตารางการออกแบบการทดลองแบบโดยใช้ NaOH

Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
	M:O (Molar ratio)	Catalyst loading (wt.%)	Temperature °C	Time (min)
1	9	3	60	90
2	15	3	60	90
3	6	4	55	60
4	9	3	60	90
5	6	2	55	60
6	6	4	65	60
7	9	3	60	90
8	12	4	65	120

ตารางที่ 3.3 ตารางการออกแบบการทดลองแบบโดยใช้ NaOH (ต่อ)

Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
	M:O (Molar ratio)	Catalyst loading (wt.%)	Temperature °C	Time (min)
12	2	65	60	12
10	9	3	60	90
11	12	2	55	60
12	6	2	65	120
13	12	2	65	120
14	9	5	60	90
15	3	3	60	90
16	9	3	50	90
17	12	4	65	60
18	9	3	70	90
19	9	3	60	90
20	12	2	55	120
21	12	4	55	60
22	12	4	55	120
23	9	3	60	150
24	9	1	60	90
25	6	2	65	60
26	6	4	55	120
27	6	2	55	120
28	9	3	60	30
29	6	4	65	120
30	9	3	60	90

3.2.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล

3.2.2.1 ชั่งน้ำมันพืชใช้แล้ว จำนวน 100 กรัม แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่กำหนด และใช้ Stirrer ในการกวนผสม

3.2.2.2 ละลายเมทานอล (Methanol to oil molar ratio) และ NaOH หรือ KOH ตามปริมาณในแต่ละการทดลองของการออกแบบการทดลอง

3.2.2.3 กวนสารละลายและให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อน ตามอุณหภูมิในแต่ละการทดลองของการออกแบบการทดลอง แล้วกวนด้วย Stirrer และทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา ตามที่กำหนด

3.2.2.4 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำสารละลายที่ได้ใส่ในกรวยแยกชั้น และตั้งทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้นของไบโอดีเซล (ชั้นบน) และกลีเซอรอล (ชั้นล่าง)

3.2.2.5 แยกชั้นของกลีเซอรอลทิ้ง

3.2.2.6 นำไบโอดีเซลที่ได้ไปล้างด้วยน้ำอุ่น เพื่อกำจัดกลีเซอรอลและเมทานอล

3.2.2.7 เติมโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เพื่อกำจัดน้ำ และเก็บไบโอดีเซลใส่ขวดแก้วเพื่อวิเคราะห์

ต่อไป



ภาพที่ 3.3 การแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรอล

3.2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล

- 1) วิเคราะห์ด้วย Gas Chromatogram (GC)
- 2) ค่าความหนาแน่น
- 3) ค่าความหนืด
- 4) กำมะถัน
- 5) กากถ่าน
- 6) เถ้าซัลเฟต
- 7) สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด
- 8) ค่าความเป็นกรด
- 9) ค่าไอโอดีน
- 10) ค่าทดสอบ FTIR
- 11) ค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C
- 12) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC

จากนั้นนำปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้ multiple regression analysis เมื่อได้ค่าประมาณและค่าทดสอบสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของร้อยละเมทิลเอสเทอร์มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการหา

พื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface methodology) เพื่อสร้างรูปแบบสมการ โดยรูปแบบของสมการแสดงดังสมการที่ (3.1)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (3.1)$$

3.3 การออกแบบระบบผลิตไบโอดีเซล

หลังจากได้ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาเงื่อนไขการผลิตไบโอดีเซลสำหรับเทศบาลเมืองเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา ซึ่งได้เงื่อนไขการทดลองซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบผลิตจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล โดยระบบที่ออกแบบจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โพลแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากเมื่อทำปฏิกิริยาเสร็จจะได้กลีเซอรอลเหลว ไม่ทำให้ระบบอุดตัน เหมือนกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับแอลกอฮอล์จะใช้เมทานอล เกรดเชิงการค้า เนื่องจากหาซื้อง่าย และมีราคาถูกกว่าเอทานอล และใช้พลังงานความร้อนจากเตาชีวมวลเป็นหลัก เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

3.3.1 อุปกรณ์ของระบบ

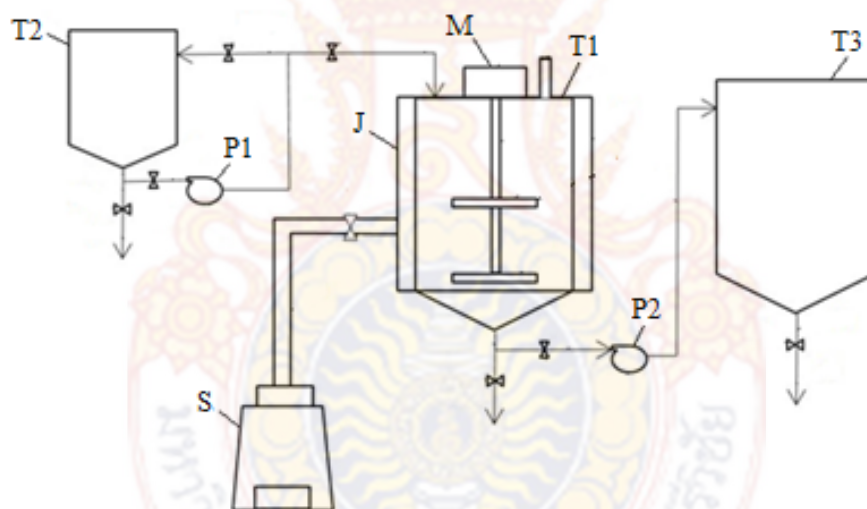
ระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวลจะประกอบด้วย 1. ถังปฏิกรณ์สำหรับทำปฏิกิริยา (T1) จะประกอบด้วย มอเตอร์ (M) สำหรับขับเพลลาที่ติดตั้งใบกวนสำหรับกวนผสมสารเคมีในระหว่างการทำปฏิกิริยา โดยถังปฏิกรณ์จะมีเสื้อหุ้ม (J) สำหรับให้ความร้อนซึ่งความร้อนจะได้มาจากเตาชีวมวล (S) เพื่อลดการใช้พลังงานความร้อนในการทำปฏิกิริยา ทั้งนี้เพื่อให้ความร้อนภายในถังมีความเสถียร ได้ติดตั้งระบบให้ความร้อนเสริมด้วยขดลวดให้ความร้อน ซึ่งระบบนี้สามารถใช้ความร้อนจากขดลวดให้ความร้อนอย่างเดียว ในช่วงที่ไม่มีเชื้อเพลิงสำหรับเผาด้วยเตาชีวมวล 2. ถังแอลกอฮอล์ (T2) ใช้สำหรับผสมแอลกอฮอล์กับตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีปั๊ม (P1) สำหรับไหลวนแอลกอฮอล์ให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยา 3. ถังกักเก็บไบโอดีเซล (T3) สำหรับกักเก็บน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านการทำปฏิกิริยา โดยมีปั๊ม (P2) ดูดไบโอดีเซลจากถังปฏิกิริยาเข้าสู่ถังกักเก็บไบโอดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 3.4 และ 3.5

3.3.2 การทำงานของระบบ

จากภาพที่ 3.5 การทำงานของระบบเริ่มต้นนำน้ำมันดิบใส่ลงในถังปฏิกิริยา (T1) ทางช่องเติมน้ำมันตามปริมาณที่ต้องการ เปิดเตาชีวมวล (S) เพื่อให้ความร้อนแก่ระบบ จากนั้นเปิดมอเตอร์ (M) ขับเพลลาเพื่อกวนน้ำมันดิบเป็นการเตรียมความพร้อมระบบเพื่อทำปฏิกิริยา ในขณะเดียวกันตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) และแอลกอฮอล์ (เมทานอล) ที่เตรียมไว้ในถังแอลกอฮอล์ (T2) ถูกไหลวนจนแอลกอฮอล์กับตัวเร่งปฏิกิริยาผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อน้ำมันในถังปฏิกิริยาได้รับความร้อนจนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการแล้ว สารผสม (แอลกอฮอล์กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) ในถังแอลกอฮอล์จะถูกดูดด้วยปั๊ม (P1) จะถูกป้อนเข้าสู่ปฏิกิริยา จากนั้นปล่อยให้ น้ำมันดิบและสารเคมีทำปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันภายในถังปฏิกิริยาตามระยะเวลาที่กำหนด หลังจากทำปฏิกิริยาเสร็จสิ้น สารผสมภายในถังปฏิกิริยาจะถูกดูดด้วยปั๊ม (P2) เข้าสู่ถังเก็บไบโอดีเซล (T3) ปล่อยให้ไบโอดีเซลและกลีเซอรอลในถังเก็บไบโอดีเซลแยกชั้น เปิดวาล์วเพื่อถ่ายกลีเซอรอลออก แล้วนำไบโอดีเซลที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่อไป



ภาพที่ 3.4 ระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล



ภาพที่ 3.5 ผังการทำงานระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล

ตารางที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์ระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล

หมายเลข	คำอธิบาย
T1	ถังปฏิกิริยา
T2	ถังแอลกอฮอล์
T3	ถังกักเก็บไบโอดีเซล
P1	ปั๊ม P1 สำหรับป้อนสารเคมี
P2	ปั๊ม P2 สำหรับดูดไบโอดีเซลเข้าถังเก็บ
M	มอเตอร์กวนผสม
S	เตาชีวมวล
J	เสื่อหุ้มถังปฏิกิริยา



บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ในเบื้องต้นต้องการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากไขมันในน้ำเสียหรือน้ำมันในน้ำเสีย แต่จากการลงพื้นที่สำรวจปรากฏว่าจะหาไขมันที่อยู่ในน้ำเสียจะต้องรอการขุดลอกคูน้ำจากเทศบาลเท่านั้น จึงจะมีตะกอนไขมันมากเพียงพอสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในแต่ละครั้ง และสำหรับน้ำมันเหลือใช้ที่ทิ้งตามคูน้ำก็พบว่ามีเพียงเล็กน้อยก็ไม่เพียงพอที่จะนำไปทดลอง อีกทั้งวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดที่ได้กล่าวมาข้างต้น หากนำมาผลิตไบโอดีเซลจริงจะไม่คุ้มทุนเนื่องจากต้องเพื่อกระบวนการในการเตรียมวัตถุดิบให้เหมาะสมสำหรับผลิตไบโอดีเซล และจะให้ผลได้และความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ต่ำ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่เก็บไว้อย่างดี ทางคณะวิจัยจึงได้เลือกน้ำมันพืชใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลสำหรับการวิจัย ซึ่งมีผลการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองทางสถิติของการออกแบบการทดลองด้วยวิธี Central Composite Design ในการสร้างแบบจำลอง และศึกษาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ซึ่งสร้างการทดลองออกมาจำนวน 30 การทดลอง โดยมีการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 6 ครั้ง เพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาด และการทำซ้ำของข้อมูล ตัวแปรที่ทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตไบโอดีเซลมีจำนวน 4 ตัวแปร แต่ละตัวแปรถูกศึกษาที่ 5 ระดับ (-2, -1, 0, +1, +2)

ตารางที่ 4.1 ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ จากการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค RSM

Run	Methanol to oil (molar ratio)	Catalyst loading (wt.%)	Temperature (°C)	Time (min)	Actual biodiesel yield (%)	Predicted biodiesel yield (%)	Residual
1	9	3	60	90	96.5	96.5	0
2	15	3	60	90	84.5	85.9	-1.4
3	6	4	55	60	98.8	98.6	0.2
4	9	3	60	90	96.5	96.5	0
5	6	2	55	60	97.3	96.2	1.1
6	6	4	65	60	98.5	98.1	0.4
7	9	3	60	90	96.5	96.5	0
8	12	4	65	120	93.2	93.0	0.2

9	12	2	65	60	96.8	96.2	0.6
10	9	3	60	90	96.5	96.5	0
11	12	2	55	60	98.8	97.9	0.9
12	6	2	65	120	99.5	98.4	1.1
13	12	2	65	120	99.8	98.2	1.6
14	9	5	60	90	98.7	99.1	-0.4
15	3	3	60	90	86.5	88.1	-1.6
16	9	3	50	90	99.5	100.0	-0.5
17	12	4	65	60	92.5	91.9	0.6
18	9	3	70	90	98.5	100.0	-1.5
19	9	3	60	90	96.5	96.5	0
20	12	2	55	120	99.5	98.5	1
21	12	4	55	60	97.0	96.7	0.3
22	12	4	55	120	97.2	96.5	0.7
23	9	3	60	150	96.2	98.2	-2
24	9	1	60	90	99.2	100.0	-0.8
25	6	2	65	60	99.8	98.8	1
26	6	4	55	120	96.7	96.0	0.7
27	6	2	55	120	95.5	94.4	1.1
28	9	3	60	30	97.8	98.8	-1
29	6	4	65	120	97.7	96.9	0.8
30	9	3	60	90	96.5	96.5	0

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสถิติของร้อยละไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

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 -adj = 0.8191					

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการมีค่า R^2 เท่ากับ 90.64% ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีการปรับแก้ R^2 -adj มีค่าเป็น 81.91% หมายความว่า ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (นาที) สามารถอธิบายความผันแปรผันของการสังเคราะห์ไบโอดีเซล แสดงว่าแบบจำลองแบบ Central Composite Design สามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ในตารางที่ 4 พบว่า ค่าสถิติ $P < 0.0001$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด ($P < 0.05$) จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว กับปริมาณ KOH (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วกับอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วกับอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) กับปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ จะส่งผลต่อคุณภาพหรือปริมาณของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ [15]

จากตารางที่ 4.2 สามารถสร้างสมการทำนายร้อยละไบโอดีเซลจากปัจจัยของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (นาที) ที่ได้จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย ซึ่งแสดงดังสมการที่ (4.1)

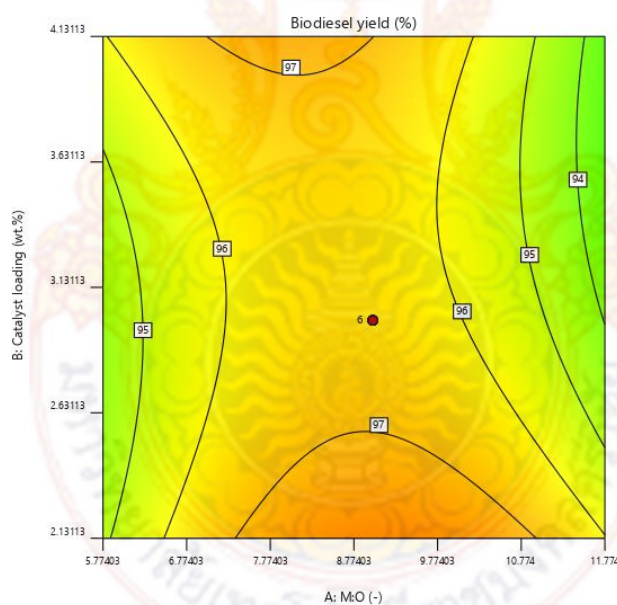
$$\text{Biodiesel yield} = 180.84 + 9.2008A + 6.1533B - 3.9648C - 0.2829D - 0.3008AB - 0.0723AC + 0.0067AD - 0.1575BC - 0.0074BD + 0.0023CD - 0.2635A^2 + 0.9983B^2 + 0.0403C^2 + 0.0005D^2 \quad (4.1)$$

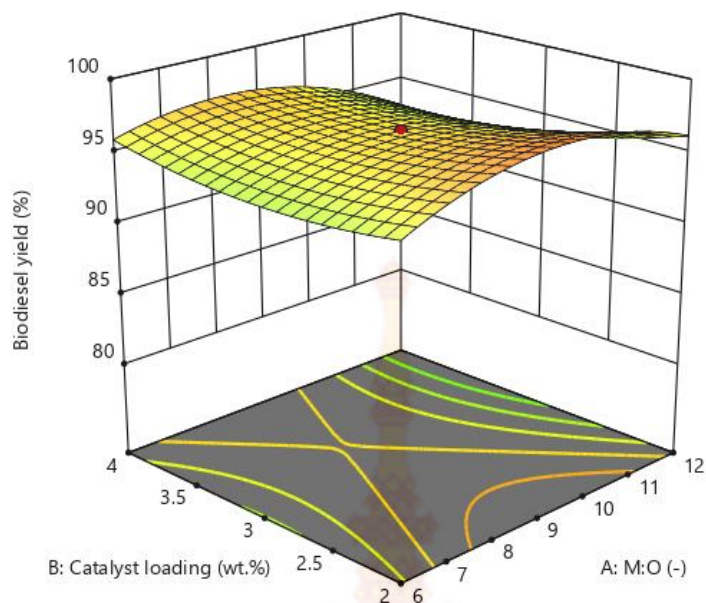
- เมื่อ
- A คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว
 - B คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
 - C คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
 - D คือ เวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (นาที)

4.2 การสร้างพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลตัวแปรที่มีต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชใช้แล้ว

4.2.1 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วและปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วและปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยกำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1 และกำหนดปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1 2 3 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากภาพที่ 4.1 พบว่า ปริมาณไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วเพิ่มขึ้น โดยร้อยละไบโอดีเซลมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 99.89 เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วเท่ากับ 7.74:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เมทานอลปริมาณที่สูงขึ้นทำให้ปฏิกิริยาถูกผลักไปข้างหน้ามากขึ้น มีผลทำให้ปริมาณไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่ปริมาณเมทานอลที่สูงเกินไปส่งผลต่อการแยกเฟสของไบโอดีเซลและน้ำ และน้ำที่เกิดขึ้นจะเป็นการผลักปฏิกิริยาให้ผันกลับมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ลดลง [15]

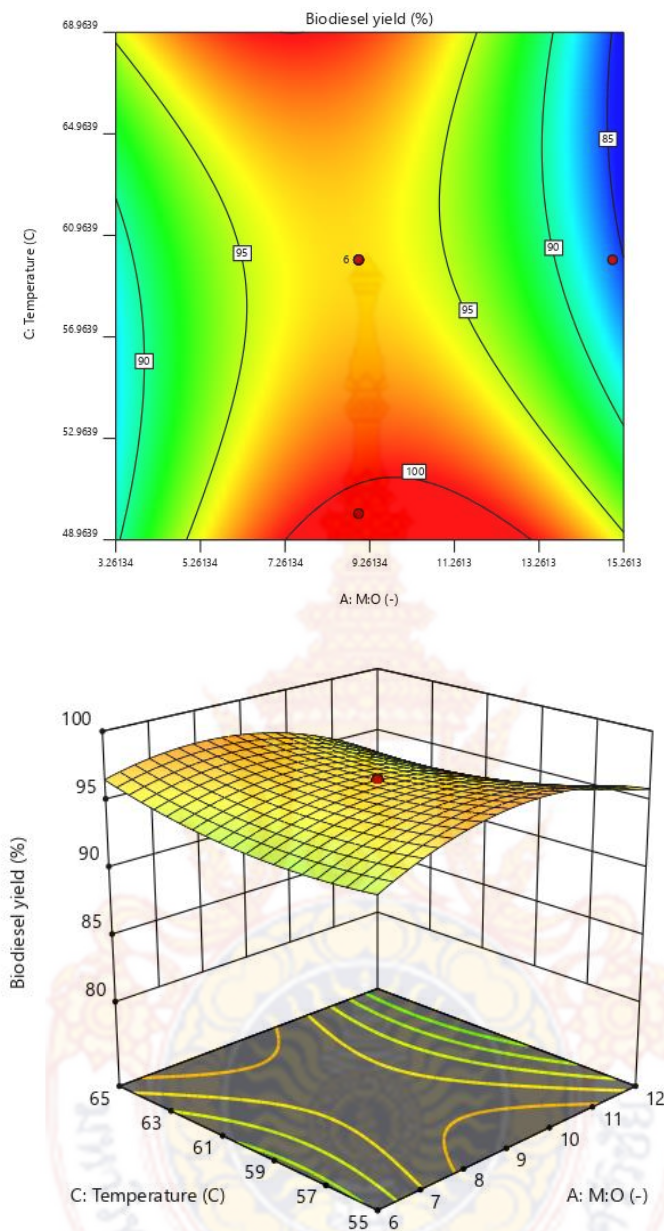




ภาพที่ 4.1 contour plot และ surface plot อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพีซีใช้แล้วและปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.2.2 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพีซีใช้แล้วและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพีซีใช้แล้วและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 4.2 โดยกำหนดอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพีซีใช้แล้วในช่วง 3:1 – 15:1 และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในช่วง 50 – 70 °C จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในช่วงปัจจัยที่ศึกษา คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพีซีใช้แล้ว เท่ากับ 7.74:1 และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 55 °C เนื่องจากการใช้ปริมาณ เมทานอลที่มากเกินไปจะไปขัดขวางการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา รวมถึงการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ทำให้เมทิลเอสเทอร์สามารถรวมกับกลีเซอรอล ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปเป็นไตรกลีเซอไรด์ ส่งผลทำให้เมทิลเอสเทอร์มีปริมาณที่น้อยลง [16]

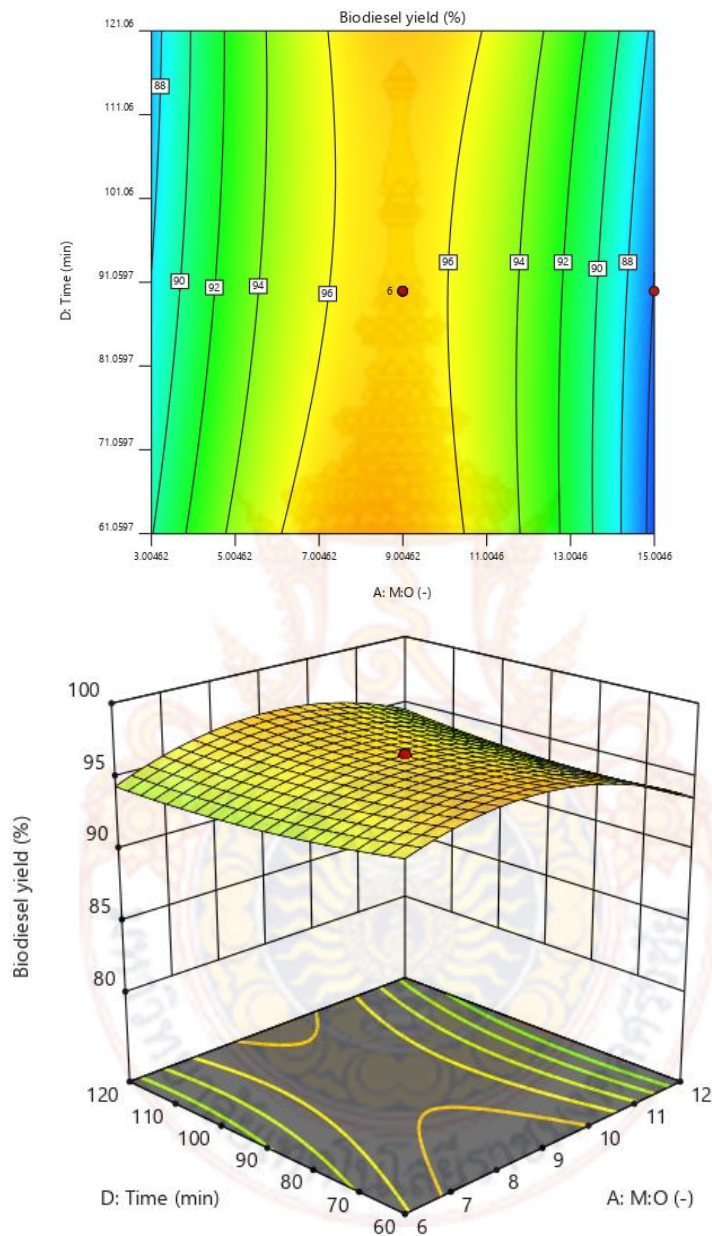


ภาพที่ 4.2 contour plot และ surface plot อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพีซีใช้แล้วและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

4.2.3 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพีซีใช้แล้วและเวลาในการทำปฏิกิริยา

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันปาล์มและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาแสดงดังภาพที่ 4.3 พบว่าปริมาณผลผลิตได้ร้อยละของไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเท่ากับ 7.74:1 และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยารานส์เอสเทอร์พีเคชันเท่ากับ 60 นาที และยังพบอีกว่าหลังเวลาดังกล่าว ปริมาณไบโอดีเซลมีแนวโน้มลดลง

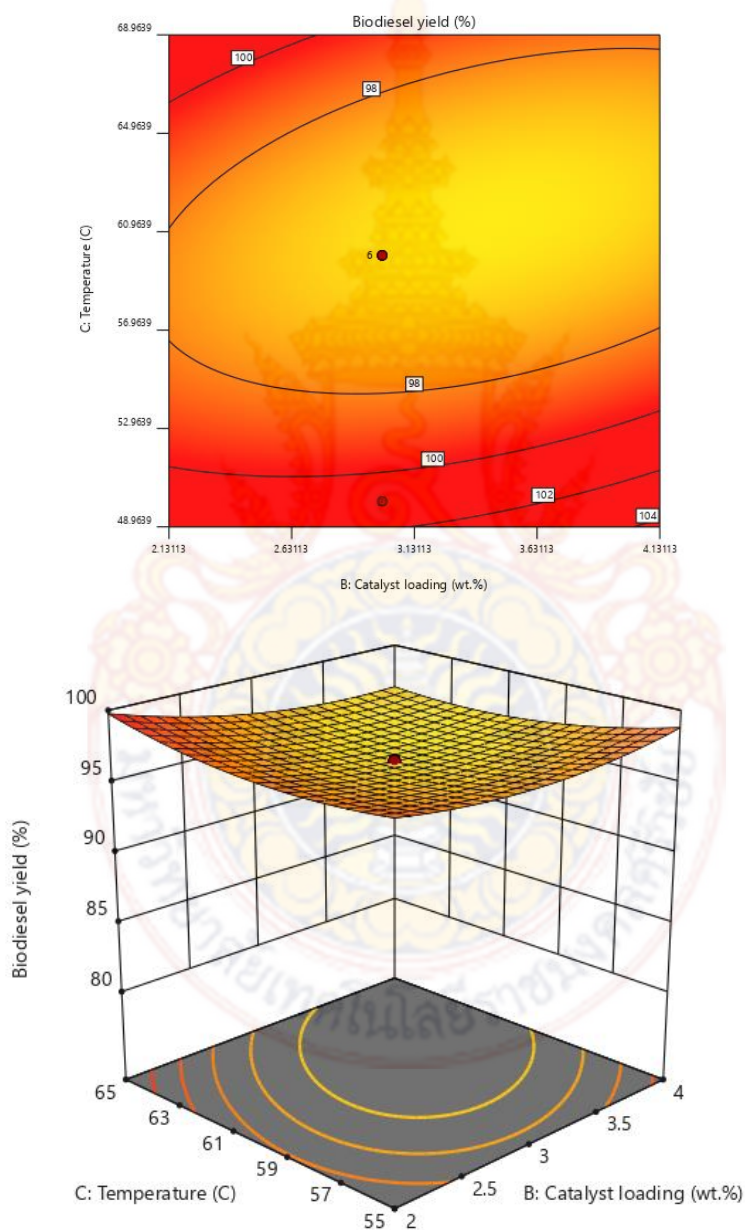
เนื่องจากในช่วงระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเริ่มต้นเมื่อปริมาณเมทานอลมากเกินไปจะทำให้หน้าที่เป็นตัวทำละลาย จะทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นในระบบมีค่าลดลง จึงส่งผลให้โมเลกุลของสารตั้งต้นเกิดการชนกันน้อยลง ดังนั้นโอกาสในการที่สารตั้งต้นจะเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์จึงมีค่าน้อยลงตามไปด้วย [17]



ภาพที่ 4.3 contour plot และ surface plot อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้วและเวลาในการทำปฏิกิริยา

4.2.4 อิทธิพลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

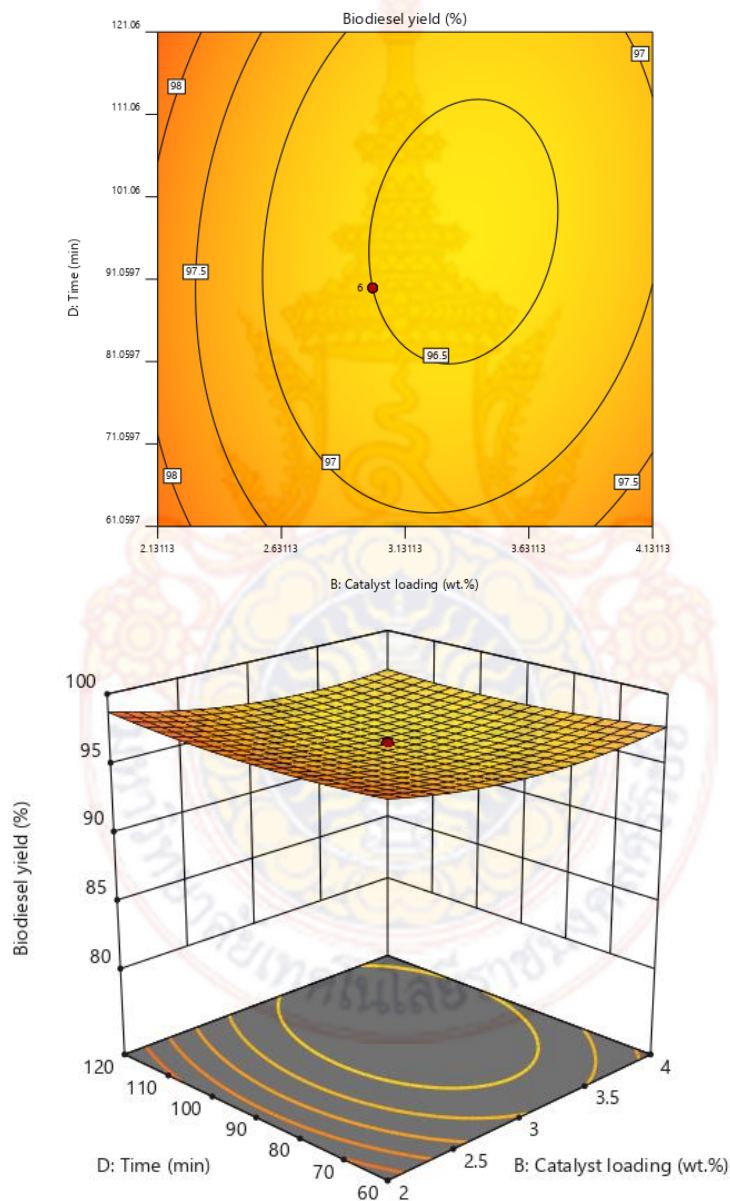
ผลของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 4.4 โดยกำหนดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 1 – 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในช่วง 50 – 70 °C จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในช่วงปัจจัยที่ศึกษา คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 55 °C เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไปทำให้สารตั้งต้นมีความหนืดมากขึ้นส่งผลให้ขัดขวางการทำปฏิกิริยาระหว่างเมทานอลกับน้ำมันพืชใช้แล้ว [18]



ภาพที่ 4.4 contour plot และ surface plot อิทธิพลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

4.2.5 อิทธิพลของอิทธิพลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และเวลาในการทำปฏิกิริยา

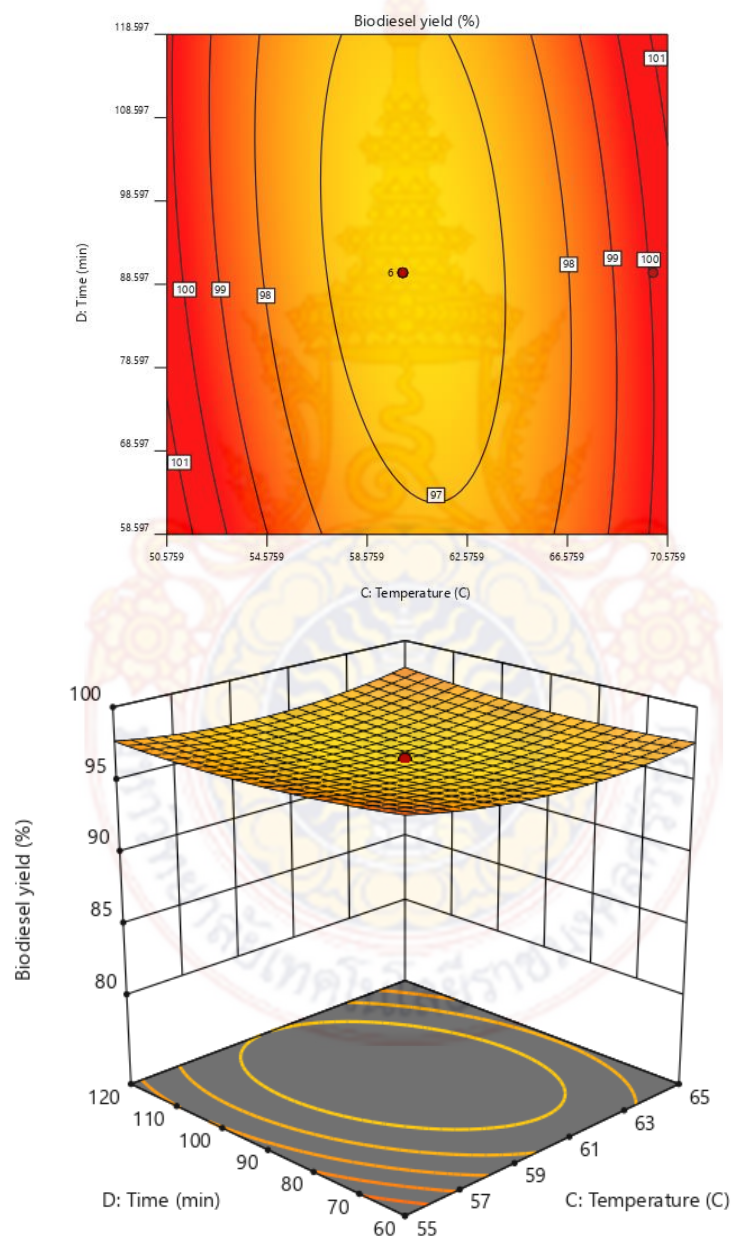
ผลของความสัมพัทธ์ระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 4.5 โดยกำหนดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 1 – 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 30 – 150 นาที จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในช่วงปัจจัยที่ศึกษา คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที เนื่องจากปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มากเกินไปส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ [19]



ภาพที่ 4.5 contour plot และ surface plot อิทธิพลของอิทธิพลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และเวลาในการทำปฏิกิริยา

4.2.6 อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา

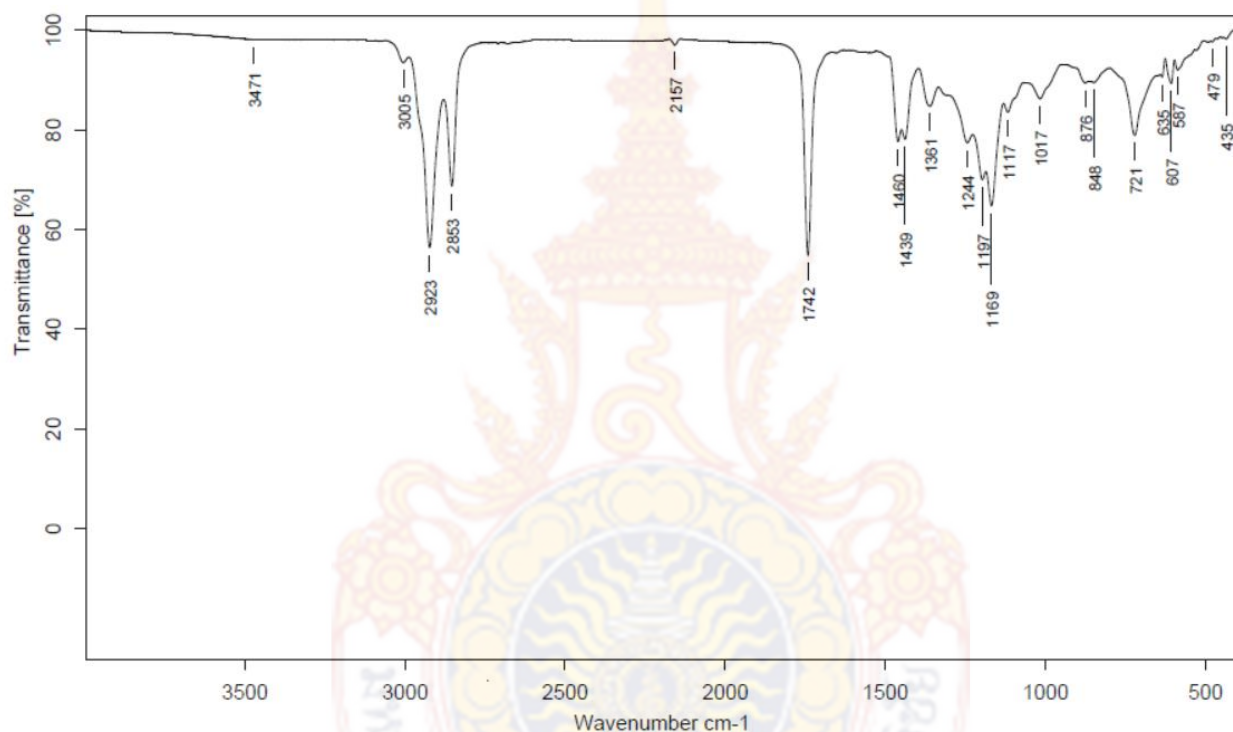
ผลของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 4.6 โดยกำหนดช่วงของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่รานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เท่ากับ 50 – 70 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 – 150 นาที จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในช่วงปัจจัยที่ศึกษา คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 55 °C และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60.5 นาที เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เมทานอลเกิดการระเหยส่งผลให้เกิดไบโอดีเซลได้น้อยลง [18]



ภาพที่ 4.6 contour plot และ surface plot อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา

4.3 การวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค FTIR

การวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค FTIR เป็นวิธีการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารประกอบ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.7 จากการศึกษาพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลจะแสดงพีค 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} แสดงพีคของ หมู่เอสเทอร์ (C=O) ซึ่งสอดคล้องกับหมู่เอสเทอร์ที่พบในไบโอดีเซล นอกจากนี้ที่ความยาวคลื่น 1460 cm^{-1} และ 1361 cm^{-1} แสดงพีคของ $-\text{CH}_2$ scissor และ $-\text{CH}_3$ anti-symmetric vibrations และที่ความยาวคลื่น 1017 cm^{-1} และ 1169 cm^{-1} แสดงพีคของ C-O anti-symmetric stretching vibration และ C-O symmetric stretching vibration [20]



ภาพที่ 4.7 พีค FTIR ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่สภาวะอะตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 7.73:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เท่ากับ 60.54 นาที

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอดีเซล

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองที่สภาวะ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโมลน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 7.74:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เท่ากับ 60.54 นาที ซึ่งประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ กากถ่าน ค่าความเป็นกรด ค่าคลอเรต สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด ค่าไอโอดีน โมโนกลีเซอไรต์ ไดกลีเซอไรต์ ไตรกลีเซอ

ไรต์ กลีเซอรินอิสระ กลีเซอรินทั้งหมด เมทิลเอสเทอร์ และค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C แสดงผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการทดสอบ \pm SD
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C	kg/m ³	877.1 \pm 0.0
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C	cSt	4.217 \pm 0.006
กากถ่าน	% wt.	0.1646 \pm 0.0085
ค่าความเป็นกรด	mg KOH/g	0.0642 \pm 0.0034
เถ้าซัลเฟต	% wt.	0.1938 \pm 0.0060
สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด	% wt.	< 0.00050
ค่าไอโอดีน	g Iodine/100g	65.3 \pm 0.4
โมนอกลิเซอไรด์	% wt.	0.46 \pm 0.00
ไดกลีเซอไรด์	% wt.	0.11 \pm 0.01
ไตรกลีเซอไรด์	% wt.	0.12 \pm 0.00
กลีเซอรินอิสระ	% wt.	0.15 \pm 0.00
กลีเซอรินทั้งหมด	% wt.	0.29 \pm 0.00
เมทิลเอสเทอร์	% wt.	95.76 \pm 0.01
กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์	% wt.	0.46 \pm 0.00
เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อุณหภูมิ 110 °C	Hours	23 ชั่วโมง 21 นาที

จากตารางที่ 4.3 พบว่า องค์ประกอบต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลเทียบเคียงกับค่ามาตรฐานไบโอดีเซลของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ทางการเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2549 มีเพียงเถ้าซัลเฟตที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และผลการวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C พบว่ามีค่าเท่ากับ 23 ชั่วโมง 21 นาที ตามมาตรฐาน EN 14112 กำหนดให้มีค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C เท่ากับ 16 ชั่วโมง โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C ในครั้งนี้พบว่ามีค่าที่สูงกว่ามาตรฐาน

4.5 ผลการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล

หลังจากได้ออกแบบและสร้างระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล ได้ทำการทดสอบเพื่อยืนยันว่าระบบสามารถใช้งานได้จริง โดยใช้เงื่อนไขเดียวกับการทดสอบในระดับ

ห้องปฏิบัติการ คือ ที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับโพลีเอทิลีนไอกไซด์เท่ากับ 7.74:1 ปริมาณโพลีเอทิลีนไอกไซด์เท่ากับ 3.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เท่ากับ 60.54 นาที แต่เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีการให้ความภายในถังด้วยขดลวดให้ความร้อนและมีเสื้อหุ้มรอบถังซึ่งได้รับความร้อนจากเตาชีวมวลทำให้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เสถียรมากกว่า และการออกแบบใบกวนเป็น 2 ชั้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ทำให้ความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มากถึง 96.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์

4.6 อนุสิทธิบัตรระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล

เมื่อระบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล ผ่านการทดสอบยืนยันว่าสามารถสังเคราะห์ไบโอดีเซลได้จริง และได้ตรวจสอบลักษณะเฉพาะตัวของระบบที่ได้ออกแบบนี้ ปรากฏว่ามีความแตกต่างจากระบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงได้ยื่นขอจดอนุสิทธิบัตรได้เลขที่คำขอ 2103000136 เมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2564



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล จากน้ำมันที่รวบรวมเขตชุมชนเขาแก้ว ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดและนำข้อมูลไปออกแบบและสร้างระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่เหมาะสมสำหรับการผลิตระดับชุมชน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การผลิตไบโอดีเซลในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ล้วนมีผลต่อการกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลทั้งสิ้น

2) ระบบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดไขมันอิสระต่ำโดยใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล ซึ่งใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากผลการวิเคราะห์ในระดับห้องปฏิบัติการในการออกแบบ สามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์

3) คุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้ เหมาะกับเครื่องยนต์รอบต่ำ เช่น เครื่องยนต์ทางการเกษตร เครื่องยนต์ดีเซลสำหรับเรือประมงหางยาว เป็นต้น เนื่องจากยังมีคุณสมบัติบางตัวยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์

4) ศักยภาพการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับชุมชนเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สามารถพัฒนาให้มีมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ เพื่อขยายฐานการใช้งานให้หลากหลายยิ่งขึ้น ซึ่งจะต้องใช้อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐานที่สูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

หากต้องการจัดตั้งโรงผลิตไบโอดีเซลในระดับชุมชน จะต้องจัดทำระบบปริมาณน้ำมันใช้แล้วให้แน่ชัดว่ามีปริมาณเท่าไร จะได้จัดสร้างเครื่องได้ตามปริมาณน้ำมันดิบที่มีอยู่ รวมถึงระบบการจัดเก็บและระบบการจัดการของเสียที่ได้จากผลิตไบโอดีเซลได้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

บรรณานุกรม

- [1] ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี และอนุกุล จันทร์แก้ว (2553) การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง. รายงานผลการวิจัย, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [2] อาภาณี เหลืองนฤมิตรชัย. 2549. ไบโอดีเซล. บทความวิชาการ (บทความเทคโนโลยี-นวัตกรรม).
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2550. ไบโอดีเซล พลังงานใหม่เพื่อคนไทย กรุงเทพมหานคร: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.)
- [4] รุ่งทิพย์ ชัยเดช. 2557. การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทออกไซด์. วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [5] Gerpen, J., Shanks, B., and Pruszko, R. (2004) Biodiesel Production Technology. Renewable Products Development Laboratory, NREL/SR-510-36244.
- [6] Meher, L., Sagar, D., and Naik, S. (2006) Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3), 248-268.
- [7] Borges, M.E. and Díaz, L. (2012) Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2839-2849.
- [8] Nouredini, H. and Zhu, D. 1997. Kinetics of Transesterification of Soybean Oil. *JAACS* 74 (11) : 1457-1463.
- [9] Tongurai, C., Klinpikul, S., Bunyakan, C. and Kkiatsimkul, P. 2001. Biodiesel production from palm oil. *Songklanakarin J. Sci. Technol* 23: 831-841
- [10] Jansri, S. 2007. Kinetics of Methyl Ester Production from Crude Palm Oil by Using Acid-Alkali Catalyst. A Thesis for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering. Prince of Songkla University.
- [11] Gumpon P, Michael LA, Theerayut L, and Kittisak T. 2007. Methyl ester production from high free fatty acid mixed crude palm oil. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 29: 1551-1561.
- [12] Rashid, U. and Anwar, F. 2007. Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed Transesterification of rapeseed oil. *Fuel* 87: 265-273.
- [13] Suhdee N, Krit S, and Gumpon P. 2014. Optimization of base-catalyzed transesterification in biodiesel production from refined palm oil via circulation process through static mixer reactor. *Advanced Materials Research*, 931-932: 1038-1042

- [14] สุทธิ นิษฐ์. 2561. การพัฒนาเครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วโดยใช้ใบกวนแบบ 45° two-blade Paddle ร่วมกับ 6-blade disc turbine. *วารสารวิศวกรรม มก.* ปีที่ 31 ฉบับที่ 105, 29-38.
- [15] อีร์ธวัช สิงหศิริ. (2557). การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่ไก่โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง. *วารสารวิจัยพลังงาน. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.* 11(2), 54-65.
- [16] วลัยพัชร์ ใจเรื่อน, รัตนชัย ไพรินทร์ และแก้วกัญญา สุดประเสริฐ. 2560. การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากไขมันไก่. *ปริญญาานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.* กรุงเทพมหานคร.
- [17] พัชรนันท์ ภูสกุล. (2554). *ศึกษาการใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยมีการป้อนกลับแอลกอฮอล์.* *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.* สงขลา.
- [18] Ray V. Q, Yie H.T, N.M.Mubarak, Jibrail K, Mohammad K, E.C.Abdullah, and Mohammad O.A. (2020). Magnetic biochar derived from waste palm kernel shell for biodiesel production via sulfonation. *Waste Management*, 118: 626-636.
- [19] โชคชัย เหมือนมาศ, รามพร นิคม, จีรวัดน์ โสภอาจารย์ และอนิดา เพ็ชรแก้ว. (2561). การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันจากกากกาแฟโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ.* 21(3)(ฉบับพิเศษ), 140-148.
- [20] Chachchaya T, Apanee L, Jakkrapong J, Nuwong C, Shin-Yuan C, and Yuji 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: 9744-9755.

ภาคผนวก ก
อนุสิทธิบัตร



8. การยื่นคำขออนุญาตราชอาณาจักร <input type="checkbox"/> PCT <input type="checkbox"/> เติมนิยม (ตั้งแบบ)				
วันยื่นคำขอ	เลขที่คำขอ	ประเทศ	สัญญาสัมปทานการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	สถานะคำขอ
8.1				
8.2				
8.3				
8.4 <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอสิทธิบัตรว่าได้อื่นคำขอใน วันที่ได้อื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรในต่างประเทศเป็นครั้งแรกโดย <input type="checkbox"/> ได้ยื่นเอกสารหลักฐานพร้อมคำขอนี้ <input type="checkbox"/> ขอยื่นเอกสารหลักฐานหลังจากวันยื่นคำขอนี้				
9. การแสดงการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรได้แสดงการประดิษฐ์ที่หน่วยงานของรัฐเป็นผู้จัด วันแสดง _____ วันเปิดงานแสดง _____ ผู้จัด _____				
10. การประดิษฐ์เกี่ยวกับจุลชีพ				
10.1 เลขทะเบียนฝากเก็บ	10.2 วันที่ฝากเก็บ	10.3 สถาบันฝากเก็บ/ประเทศ		
11. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอยื่นเอกสารภาษาต่างประเทศก่อนในวันยื่นคำขอนี้ และจะจัดยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ที่ใดทำเป็นภาษาไทยภายใน 90 วัน นับจากวันยื่นคำขอนี้ โดยขอขึ้นเป็นภาษา <input type="checkbox"/> อังกฤษ <input type="checkbox"/> ฝรั่งเศส <input type="checkbox"/> เยอรมัน <input type="checkbox"/> ญี่ปุ่น <input type="checkbox"/> อื่นๆ _____				
12. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้โอนสิทธิในสิทธิบัตร หรือรับจดทะเบียน และประกาศโดยนิตยสารสิทธิบัตรนี้ หลังจากวันที่ _____ <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้ใช้รูปแบบอื่นหมายเลข _____ ในการประกาศโฆษณา				
13. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ประกอบด้วย				
ก. แบบพิมพ์คำขอ _____ 3 หน้า				
ข. รายละเอียดการประดิษฐ์ หรือคำพรรณนาแบบผลิตภัณฑ์ _____ 4 หน้า				
ค. ข้อยึดสิทธิ _____ 1 หน้า				
ง. รูปเขียน _____ 1 รูป _____ 1 หน้า				
จ. ภาพแสดงแบบผลิตภัณฑ์				
<input type="checkbox"/> รูปเขียน _____ รูป _____ หน้า				
<input type="checkbox"/> ภาพถ่าย _____ รูป _____ หน้า				
ฉ. บทสรุปการประดิษฐ์ _____ 1 หน้า				
14. เอกสารประกอบคำขอ				
<input checked="" type="checkbox"/> เอกสารแสดงสิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร				
<input type="checkbox"/> หนังสือรับรองการแสดงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์				
<input type="checkbox"/> หนังสือมอบอำนาจ				
<input type="checkbox"/> เอกสารรายละเอียดเกี่ยวกับจุลชีพ				
<input type="checkbox"/> เอกสารการขอรับวันยื่นคำขอในต่างประเทศเป็นวันยื่นคำขอในประเทศไทย				
<input type="checkbox"/> เอกสารขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ				
<input checked="" type="checkbox"/> เอกสารอื่นๆ _____				
15. เจ้าพนักงานรับรองว่า				
<input checked="" type="checkbox"/> การประดิษฐ์นี้ไม่เคยยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรมาก่อน				
<input type="checkbox"/> การประดิษฐ์นี้ได้พัฒนาปรับปรุงมาจาก _____				
16. ลายมือชื่อ				
<input checked="" type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> ตัวแทน				
 (ศาสตราจารย์สุวัจน์ อัญญา)				

หมายเหตุ บุคคลใดยื่นขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรืออนุสิทธิบัตร โดยกรมทรัพย์สินทางปัญญาเป็นเพียงพนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ได้ไม่พึงสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร คือระหว่างที่
จำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินห้าพันบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

ใบท่อนบพท้ายแบบ สป/สพ/อสป/001-ก

6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์
1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์อารีชา โสภางารย์
ที่อยู่ 192 หมู่ 9 ตำบลตะพาน อำเภอศรีบรรพต จังหวัดพิจิตร รหัสไปรษณีย์ 93190
เลขที่บัตรประจำตัวประชาชน 1 9399 00021 97 5
 2. นางสาวนภารัตน์ เกษตรสมบูรณ์
ที่อยู่ 210 หมู่ 1 ตำบลกระแสดิน อำเภอกระแสดิน จังหวัดสงขลา รหัสไปรษณีย์ 90270
เลขที่บัตรประจำตัวประชาชน 1 9099 00099 50 8
 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรพงษ์ จิตต์จันทร์
ที่อยู่ 187 หมู่ 4 ตำบลบ้านสอง อำเภอเวียงสระ จังหวัดสุราษฎร์ธานี รหัสไปรษณีย์ 84190
เลขที่บัตรประจำตัวประชาชน 1 8415 00066 21 5
 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์
ที่อยู่ 294/7 หมู่ 2 ตำบลพะวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000
เลขที่บัตรประจำตัวประชาชน 2 9007 00001 60 1



ภาคผนวก ข

กิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน

