

กรดไตรฟลูออโรแอซิดิก : ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพในขั้นตอนเอสเทอริฟิเคชัน  
สำหรับการผลิตไบโอดีเซล

Effective Trifluoroacetic Acid as a Catalyst in Esterification Step  
for Biodiesel Production

โสภิดา ศิริบาล<sup>1</sup>, วันเพ็ญ บุญเรือง<sup>1</sup>, กนกพร บุญทรง<sup>1</sup> และ ปิยนุช นาคพงศ์<sup>1\*</sup>  
Sopida Siriban<sup>1</sup>, Wanpen Boonruang<sup>1</sup>, Kanokporn Boonsong<sup>1</sup>, Piyanuch Nakpong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 10120

<sup>1</sup> Division of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, 10120

\*Corresponding author: Piyanuch.n@mail.rmuk.ac.th

Received 17 พฤษภาคม 2567; Revised 14 กรกฎาคม 2567; Accepted 31 กรกฎาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้กรดไตรฟลูออโรแอซิดิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา รวมทั้งได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรที่สำคัญ 4 ชนิดที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ได้แก่ ปริมาณเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา โดยน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นสารตั้งต้นมีปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 17.98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวลดลงเหลือ 0.92 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักภายใต้ภาวะที่เหมาะสม ซึ่งภาวะที่เหมาะสมคือ ปริมาณเมทานอล 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.92 โมลต่อลิตร อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียสและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง โดยตัวแปรชนิดต่างๆ มีผลในเชิงบวกต่อปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ยกเว้นเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1.84 และ 2.76 โมลต่อลิตรและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 4 และ 5 ชั่วโมง

**คำหลัก:** เอสเทอริฟิเคชัน; น้ำมันมะพร้าว; กรดไตรฟลูออโรแอซิดิก; ไบโอดีเซล

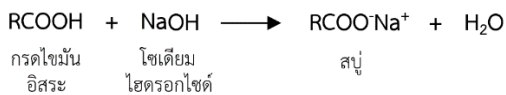
Abstract

This research was studied to find optimum conditions for reducing the amount of free fatty acids in coconut oil which has a high amount of free fatty acids, to less than 1% w/w by esterification reaction with methanol by using trifluoroacetic acid as a catalyst. In addition, the results of 4 important variables that effect on the esterification reaction were studied. These variables included methanol content, catalyst content, reaction temperature, and reaction time. Coconut oil used as a reactant had an initial free fatty acid content of 17.98% w/w. The results showed that the free fatty acids in coconut oil were reduced to 0.92% w/w under optimum conditions by various types of variables. The optimum conditions were methanol content of 60% v/v, catalyst content of 0.92 mol/L, reaction temperature of 60 °C and reaction time of 3 hours. These variables have been reported a positive effect on the esterification reaction. The exception has been reported when catalyst amounts of 1.84 and 2.76 mol/L and reaction times of 4 and 5 hours were used.

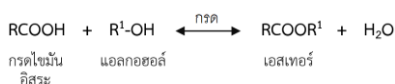
**Keywords:** Esterification; Coconut oil; Trifluoroacetic acid; biodiesel

## 1. บทนำ

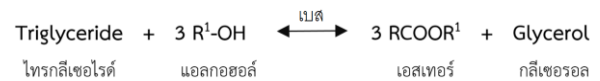
ไบโอดีเซล คือ มอนอแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันโซยาว (Monoalkyl ester of long chain fatty acid; RCOOR') ซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกที่นำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมได้ในปัจจุบันโดยไม่ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ ไบโอดีเซลผลิตได้จากวัสดุป้อนหมุนเวียนภายในประเทศ เช่น น้ำมันพืชและไขมันสัตว์ชนิดต่างๆ โดยการนำมาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นกระบวนการแบบขั้นตอนเดียว โดยน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการดังกล่าวนี้ต้องมีคุณภาพดีมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [1]-[3] เนื่องจากกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์จะทำปฏิกิริยากับเบสเกิดเป็นเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ โดยในกรณีที่เบสที่ใช้เป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงเป็นสมการเคมีได้ดังนี้



สบู่จะก่อให้เกิดผลเสียคือ จะทำให้ความหนืดของสารผสมของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นหรือทำให้เกิดเจล ซึ่งรบกวนการเกิดปฏิกิริยา มีผลทำให้ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ลดลง อย่างไรก็ตามน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่มีคุณภาพดีมีราคาสูง จึงทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีราคาสูงไปด้วย ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงแต่มีราคาต่ำจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบดังกล่าวจะใช้กระบวนการแบบ 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนที่ 1 จะเป็นการลดปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในวัตถุดิบให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งในขั้นตอนนี้กรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์จะทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เอสเทอร์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ดังสมการ



สำหรับขั้นตอนที่ 2 วัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจากขั้นตอนแรกจะผ่านเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นเอสเทอร์ ซึ่งในขั้นตอนนี้ไขมันพืชหรือไขมันสัตว์จะถูกนำมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังในสมการ



เอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจากทั้งสองขั้นตอนก็คือ ไบโอดีเซลนั่นเอง สำหรับในขั้นตอนที่ 1 นั้นกรดที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระและปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของ ไตรกลีเซอไรด์ได้ในเวลาเดียวกัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยากรด ที่ใช้สามารถเป็นได้ทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์และตัวเร่งปฏิกิริยารวิวิพันธ์ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ที่นิยมใช้ คือ กรดซัลฟิวริก [1], [3]-[8] ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยารวิวิพันธ์ที่ใช้มีหลายชนิดได้แก่ เฟอร์ริกซัลเฟต (Ferric sulfate) [9],[10] เรซินแลกเปลี่ยนไอออน เช่น แอมเบอร์ลิสต์ 15 (Amberlyst 15) แอมเบอร์ลิสต์ 16 (Amberlyst 16) แอมเบอร์ลิสต์ 35 (Amberlyst 35) และโดเว็กซ์ HCR-W2 (Dowex HCR-W2) [10] และกรดซัลฟามิก (Sulfamic acid) [11], [12] อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยารวิวิพันธ์ที่มีศักยภาพและประสิทธิภาพสูงมักมีราคาแพง นอกจากตัวเร่งปฏิกิริยากรดที่กล่าวมาแล้วยังมีกรดอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันได้กรดชนิดนั้นคือ กรดไทโรฟลูออโรแอซิดิก ซึ่งกรดชนิดนี้มีค่า pKa สูงกว่ากรดซัลฟิวริกและมีจุดเดือดต่ำกว่า ดังนั้นจึงเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายด้วยวิธี Evaporative distillation [13] อีกทั้งยังสามารถหาซื้อได้ง่ายในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ กรดไทโรฟลูออโรแอซิดิกยังสามารถเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระและทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ได้ในเวลาเดียวกัน โดยมีรายงานการใช้กรดไทโรฟลูออโรแอซิดิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธี (Refined soybean oil) ซึ่งทำได้

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 98.4 เปอร์เซ็นต์ [13] อย่างไรก็ตามในกรณีที่สารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลเป็นน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิสระสูง การใช้กระบวนการแบบขั้นตอนเดียวโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระและปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันได้เมทิลเอสเทอร์จะมีข้อเสียคือ น้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งของปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันจะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน [14] ซึ่งข้อเสียดังกล่าวนี้แก้ไขได้โดยการใช้กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน

สำหรับประเทศไทยน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil; CPO) เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล [15] นอกจากนี้ยังมีน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้อีกด้วย เช่น น้ำมันสบู่ดำและน้ำมันมะพร้าว โดยน้ำมันมะพร้าวจัดเป็นน้ำมันพืชที่มีศักยภาพสูงอีกชนิดหนึ่งสำหรับใช้ในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากมะพร้าวสามารถปลูกได้ในทุกภูมิภาคของประเทศ โดยมีเป็นจำนวนมากในภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทย จึงทำให้สามารถหาได้ง่ายในปริมาณมากและเป็นการช่วยเกษตรกรให้มีรายได้เพิ่มมากขึ้น

ที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธี ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดไตรฟลูออโรแอซิดิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นกระบวนการแบบขั้นตอนเดียว [13] สำหรับในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีความสนใจเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืช (น้ำมันมะพร้าว) ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งต้องใช้กระบวนการแบบ 2 ขั้นตอน โดยผู้วิจัยจะทำการศึกษาเฉพาะขั้นตอนที่ 1 เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้กรดไตรฟลูออโรแอซิดิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พร้อมทั้งศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา

## 2. วิธีดำเนินงานวิจัย

### 2.1 สารเคมี

น้ำมันมะพร้าวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทแสงสุกข์อุตสาหกรรม จำกัด โดยมีการนำมาเก็บรักษาไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งก่อนนำมาใช้ในการทำงานวิจัย ส่วนสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ เมทานอล (Ajax Finechem) เอทานอล (Merck) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Ajax Finechem) และโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Ajax Finechem) เป็นสารเคมีเกรดงานวิเคราะห์ (AR grade) กรดไตรฟลูออโรแอซิดิก (Fisher) เป็นเกรดห้องปฏิบัติการ (Laboratory reagent grade) ความเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์ และฟีนอล์ฟทาลิน (Ajax Finechem)

### 2.2. วิธีการทดลอง

น้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นสารตั้งต้นจะถูกนำมาหาปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการมาตรฐาน (AOAC 940.28) จากนั้นจึงนำมาทำการศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้กรดไตรฟลูออโรแอซิดิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพร้อมทั้งศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่มีต่อปฏิกิริยา ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา โดยในระหว่างที่ทำการศึกษาผลของตัวแปรแต่ละชนิด ตัวแปรชนิดอื่นๆ จะถูกกำหนดให้มีความคงที่ โดยแต่ละภาวะที่ทำการศึกษาจะทำซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง

ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันจะทำในขวดกันแบน 3 คอ ขนาด 500 มิลลิลิตร โดยคอขวดด้านหนึ่งต่อกับเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิของสารผสมของปฏิกิริยา คอขวดด้านที่อยู่ตรงกลางจะต่อกับคอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่นไอระเหยของสารและคอขวดด้านสุดท้ายจะปิดด้วยจุกแก้วสำหรับใช้ในการเติมเมทานอลและกรดไตรฟลูออโรแอซิดิก

1) ใส่ น้ำมันมะพร้าวตามปริมาตรที่กำหนดลงในขวดกันแบน 3 คอ แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน (Hotplate magnetic stirrer) จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด พร้อมทั้งกวนน้ำมันมะพร้าวตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วคงที่

2) เติมเมทานอลลงไปตามปริมาณที่กำหนด จากนั้นควบคุมอุณหภูมิของสารผสมให้คงที่ตามอุณหภูมิที่ต้องการ

3) เติมกรดไตรฟลูออโรแอซิดิกตามปริมาณที่กำหนด และเริ่มจับเวลา

4) เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด เทสารผสมของปฏิกิริยาลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5) แยกชั้นน้ำมันมะพร้าวซึ่งอยู่ชั้นล่างออก แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียสจนกระทั่งไม่มีฟองปุดขึ้นมาจากของเหลว ซึ่งขั้นตอนนี้ทำเพื่อระเหยแยกเมทานอลที่เหลือและกรดไตรฟลูออโรแอซิดิกที่ปนเปื้อนอยู่ในชั้นน้ำมัน รวมทั้งน้ำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

6) นำน้ำมันมะพร้าวจากข้อ 5) มาใส่กรวยแยก แล้วล้างด้วยน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่ง pH ของน้ำล้างเท่ากับ pH ของน้ำอุ่น ซึ่งในขั้นตอนนี้ทำเพื่อกำจัดกรดไตรฟลูออโรแอซิดิกออกให้หมดจากน้ำมันมะพร้าว

7) นำน้ำมันมะพร้าวที่ได้ไประเหยแยกน้ำออกที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำไปหาปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการมาตรฐาน (AOAC 940.28)

### 3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

น้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในงานวิจัยนี้เป็นของเหลวหนืดใส สีเหลือง มีกลิ่นเฉพาะตัว มีปริมาณกรดไขมันอิสระ 17.98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาทำการลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้กรดไตรฟลูออโรแอซิดิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้เมทิลเอสเทอร์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ ดังสมการ



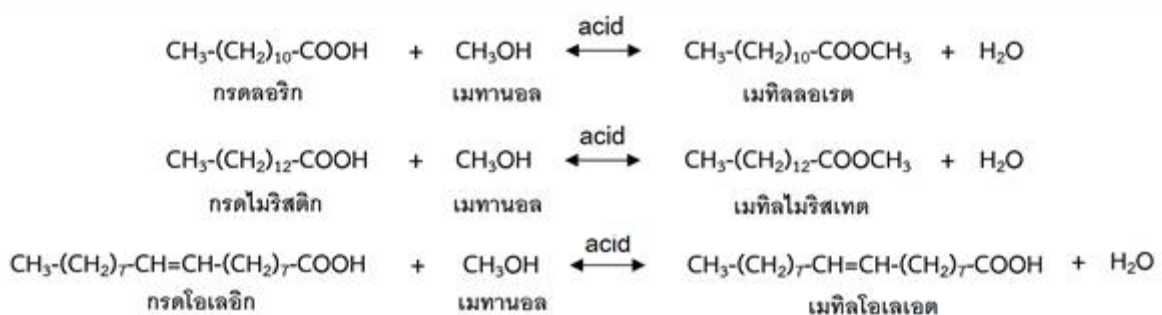
กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวมีหลายชนิดทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยจะมีกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็น

องค์ประกอบ 74.39 และ 17.23 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งในส่วน of กรดไขมันอิ่มตัวนั้นประกอบด้วยกรดลอริก (Lauric acid; C12:0) และกรดไมริสติก (Myristic acid; C14:0) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะประกอบด้วยกรดโอเลอิก (Oleic acid; C18:1) เป็นส่วนใหญ่ [8] ดังนั้นเมื่อกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลจะได้เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นผลิตภัณฑ์ โดยในกรณีที่กรดไขมันอิสระเป็นกรดลอริก กรดไมริสติกและ กรดโอเลอิก ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นเมทิลลอเลต (Methyl laurate) เมทิลไมริสเทต (Methyl myristate) และเมทิลโอเลเอต (Methyl oleate) ตามลำดับ ดังแสดงในแผนภาพที่ 1

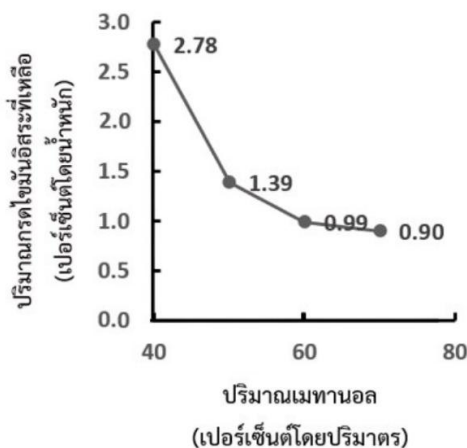
#### 3.1 ผลของปริมาณเมทานอล

ปริมาณแอลกอฮอล์เป็นตัวแปรชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่มีสมดุล ดังนั้นถ้าต้องการให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปทางขวาได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น จึงต้องใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไป โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของปริมาณเมทานอล 4 ค่า คือ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งในขณะทำการศึกษากำหนด ให้ตัวแปรชนิดอื่นๆ มีค่าคงที่ดังนี้ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1.84 โมลต่อลิตร อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียสและ 3 ชั่วโมงตามลำดับ ผลที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 1

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวเกิดขึ้นได้เป็นอย่างดีเมื่อใช้ปริมาณเมทานอลในช่วง 40-70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงจากค่าเริ่มต้น 6.5-20 เท่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการใช้ปริมาณเมทานอลทั้ง 4 ค่าจะพบว่าเมื่อใช้ปริมาณเมทานอลต่ำ (40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้น้อยที่สุดโดยจะมีกรด



แผนภาพที่ 1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ



รูปที่ 1 ผลของปริมาณเมทานอลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

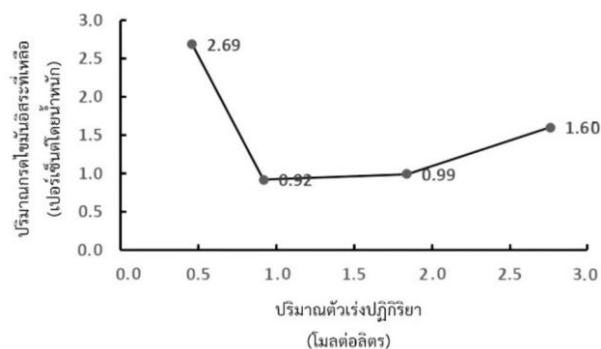
ไขมันอิสระเหลืออยู่ในน้ำมันสูงถึง 2.78 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่เมื่อใช้ปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากการที่ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Nakpong and Wootthikanokkhan [8] โดยกรดไขมันอิสระจะมีค่าต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ปริมาณเมทานอล 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ในงานวิจัยนี้เลือกปริมาณเมทานอลที่ 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นปริมาณเมทานอลที่เหมาะสมเนื่องจากเป็นปริมาณเมทานอลที่น้อยที่สุดที่ทำให้เหลือปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

### 3.2. ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้นโดยการลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา สำหรับปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ต้องใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นตัวแปรอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญคือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ในการวิจัยนี้ใช้กรดไทโรฟลูออโรแอซิดิกซึ่งเป็นกรดแก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 4 ค่า ได้แก่ 0.46, 0.92, 1.84, 2.76 โมลต่อลิตร ซึ่งในขณะที่ทำการศึกษาดัชนีอื่น ๆ จะถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ดังนี้ ปริมาณเมทานอล 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียสและ 3 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่ำ (0.46 โมลต่อลิตร) ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้



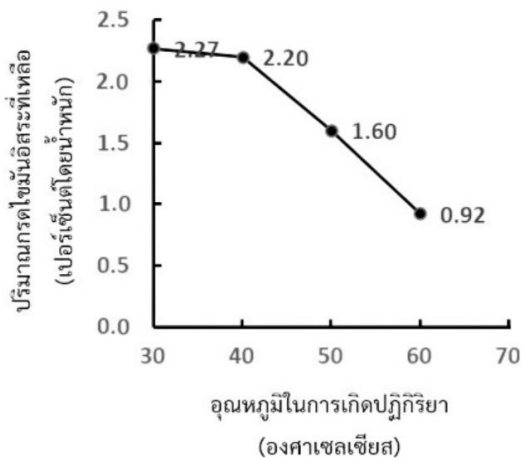
รูปที่ 2 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

น้อยกว่าเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาค่าอื่นๆ จึงทำให้มีกรดไขมันอิสระเหลืออยู่ในน้ำมันในปริมาณมาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 0.92 โมลต่อลิตร ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดได้เร็วมากขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด จึงส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้นในขณะที่สารตั้งต้นลดลง ดังจะเห็นได้จากการที่มีกรดไขมันอิสระเหลืออยู่ในน้ำมันเพียง 0.92 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.84 และ 2.76 โมลต่อลิตร ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือในน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองค่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้เป็นอย่างมาก ทำให้น้ำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งของปฏิกิริยาเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยน้ำที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับไตรกลีเซอไรด์ได้กรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล [16] ด้วยเหตุนี้ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1.84 และ 2.76 โมลต่อลิตร จึงมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 0.92 โมลต่อลิตร

### 3.3. ผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นตัวแปรอีกชนิดหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา คือ อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 4 ค่า ได้แก่ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยในขณะที่ทำการศึกษาค่าที่กำหนดให้ตัวแปรชนิดอื่นๆ มีค่าคงที่ดังนี้ ปริมาณเมทานอล 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.92 โมลต่อลิตรและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวสามารถเกิดขึ้นได้เป็น



รูปที่ 3 ผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

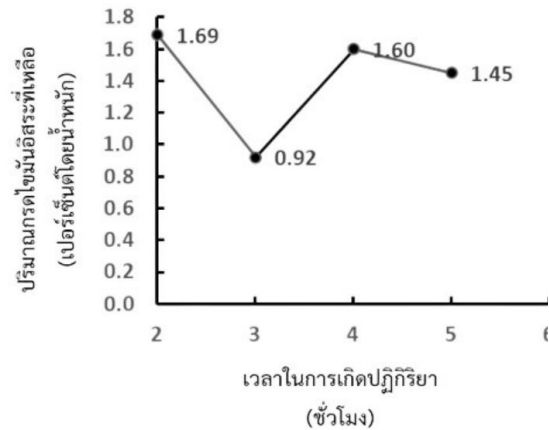
อย่างดีที่สุดทุกอุณหภูมิที่ทำการศึกษา แม้กระทั่งที่อุณหภูมิต่ำ (30 และ 40 องศาเซลเซียส) แต่เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาจึงทำให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากการที่ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำมันลดลงเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง โดยผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Nakpong and Wootthikanokkhan [8] สำหรับกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำมันจะลดลงเหลือเพียง 0.92 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเลือกอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา สำหรับการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 60 องศาเซลเซียสเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงเพื่อป้องกันการสูญเสียสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากเมทานอลและกรดไตรฟลูออโรแอซิดมีจุดเดือด 64.7 และ 72.4 องศาเซลเซียสตามลำดับ

### 3.4. ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ 4 ค่า ได้แก่ 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง โดยในขณะที่ทำการศึกษากำหนดให้ตัวแปรชนิดอื่นๆ มีค่าคงที่ดังนี้ ปริมาณเมทานอล 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.92 โมลต่อลิตร และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส ผลที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย (2 ชั่วโมง) จะไม่สามารถลดปริมาณกรดไขมัน



รูปที่ 4 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

อิสระให้ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักได้ แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 3 ชั่วโมง ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์มากขึ้นโดยจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระเหลืออยู่ในน้ำมันต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 4 และ 5 ชั่วโมง ปริมาณกรดไขมันอิสระจะไม่ลดลงแต่กลับเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาวานานกว่า 3 ชั่วโมง ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้น้ำมันซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งของปฏิกิริยาเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยน้ำที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของไตรกลีเซอไรด์ได้กรดไขมันอิสระและกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ [16] ส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลานานมากกว่า 3 ชั่วโมง ดังนั้นเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 3 ชั่วโมง

ผลจากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ากรดไตรฟลูออโรแอซิดิกเป็นกรดที่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวได้เช่นเดียวกับกรดซัลฟิวริกภายใต้ภาวะที่ไม่รุนแรง [8] แต่จะมีข้อได้เปรียบคือ ในขั้นตอนของการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์น้ำมันนั้น เนื่องจากกรดไตรฟลูออโรแอซิดิกมีจุดเดือดต่ำ (72.4 องศาเซลเซียส) จึงสามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ง่ายโดยการใช้ความร้อนที่ไม่สูงมากนัก ในขณะที่การแยกกรดซัลฟิวริกซึ่งมีจุดเดือดสูงออกจากผลิตภัณฑ์น้ำมันจะสามารถทำได้โดยการล้างด้วยน้ำอุ่น ซึ่งต้องใช้ น้ำล้างเป็นจำนวนมากและต้องมีขั้นตอนในการบำบัดน้ำ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลสูง ดังนั้นการใช้กรดไตรฟลูออโรแอซิดิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาใน

ขั้นตอนการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชจะสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลได้

ต่างๆ ในการทำงานวิจัยและขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพสำหรับทุนในการทำวิจัย

#### 4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 17.98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้กรดไตรฟลูออโรแอซิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยารวมทั้งศึกษาผลของตัวแปรที่สำคัญ 4 ชนิดที่มีต่อปฏิกิริยาซึ่งตัวแปรเหล่านี้ได้แก่ ปริมาณเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวลดลงเหลือ 0.92 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักภายใต้ภาวะที่เหมาะสม คือ ปริมาณเมทานอล 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.92 โมลต่อลิตร อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียสและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง โดยตัวแปรชนิดต่างๆ มีผลในเชิงบวกต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวยกเว้นในกรณีที่ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1.84 และ 2.76 โมลต่อลิตรและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 4 และ 5 ชั่วโมง สำหรับน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ 0.92 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากผลการวิจัยที่ได้แสดงให้เห็นว่ากรดไตรฟลูออโรแอซิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีศักยภาพสูงอีกชนิดหนึ่งสำหรับการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอล ด้วยเหตุนี้กรดไตรฟลูออโรแอซิดจึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเลือกที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่งสำหรับการลดปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันพืชในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

#### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] S. V. Ghadge and H. Raheman, " Biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil having high free fatty acids," *Biomass and Bioenergy*, vol. 28, no. 6, pp. 601-605, Jun. 2005.
- [2] A.K. Tiwari, A. Kumar and H. Raheman, "Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process," *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, no. 8, pp. 569-575, Aug. 2007.
- [3] H. J. Berchmans and S. Hirata, " Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids," *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 6, pp. 1716-1721, Apr. 2008.
- [4] A.S. Ramadhas, S. Jayaraj and C. Muraleedharan, " Biodiesel production from high FFA rubber seed oil," *Fuel*, vol. 84, no. 4, pp. 335-340, Mar. 2005.
- [5] V.B. Veljkovic, S.H. Lakicevic, O.S. Stamenkovic, Z. B. Todorovic and M. L. Lazic, " Biodiesel production from tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seed oil with a high content of free fatty acids," *Fuel*, vol. 85, no. 17-18, pp. 2671-2675, Dec. 2006.
- [6] L. Lin, D. Ying, S. Chaitep and S. Vittayapadung, "Biodiesel production from crude rice bran oil and properties as fuel," *Applied Energy*, vol. 86, no. 5, pp. 681-688, May. 2009.
- [7] B.R. Moser and S.F. Vaughn, "Coriander seed oil methyl esters as biodiesel fuel: Unique fatty acid composition and excellent oxidative stability," *Biomass and Bioenergy*, vol. 34, no. 4, pp. 550-558, Apr. 2010.

- [8] P. Nakpong and S. Wootthikanokkhan, "High free fatty acid coconut oil as a potential feedstock for biodiesel production in Thailand," *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 1682-1687, 2010.
- [9] Y. Wang, S. Ou, P. Liu and Z. Zhang, "Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process," *Energy Conversion and Management*, vol. 48, no. 1, pp. 184-188, Jan. 2007.
- [10] S. Gan, H. Kiat Ng, C.W. Ooi, N.O. Motala and M. A. F. Ismail, "Ferric sulphate catalyzed esterification of free fatty acids in waste cooking oil," *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 19, pp. 7338-7343, Oct. 2010.
- [11] M.G. Montes D'Oca, R.M. Soares, R. Rodrigues de Moura and G. Vinicius de Freitas, "Sulfamic acid: An efficient acid catalyst for esterification of FFA," *Fuel*, vol. 97, pp. 884-886, Jul. 2012.
- [12] P. Martins de Oliveira, L.M. Farias, J.A. Morón-Villarreyes and M. G. Montes D'Oca, "Eco-friendly pretreatment of oil with high free fatty acid content using a sulfamic acid/ ethanol system," *American Oil Chemists' Society*, vol. 93, pp. 1393-1397, Sep. 2016.
- [13] X. Miao, R. Li and H. Yao, "Effective acid-catalyzed transesterification for biodiesel production," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 2680-2684, 2009.
- [14] V. Mandari and S.K. Devarai, "Biodiesel production using homogeneous, heterogeneous, and enzyme catalysts via transesterification and esterification reactions: A critical review," *BioEnergy Research*, vol. 15, pp. 935-961, 2022.
- [15] Narin Tunpaiboon. "แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: อุตสาหกรรมไบโอดีเซล," [ออนไลน์]. <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/energy-utilities/biodiesel/io/io-biodiesel-21>. (เข้าถึงเมื่อ: 27 เมษายน 2567).
- [16] N. Boz, N. Degirmenbasi and D.M. Kalyon, "Esterification and transesterification of waste cooking oil over Amberlyst 15 and modified Amberlyst 15 catalysts," *Applied Catalysis B: Environmental*, 165, pp. 723-730, 2015.