

การหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวด้วย
ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้แอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
Optimization for Reduction condition of Free Fatty Acid in Coconut Oil via
Esterification Using Amberlyst 15 as a Catalyst

ศิริดา คชสวัสดิ์¹, จิรภา ใจดี¹, ศศิวิมล วุฒิกนกกาญจน์¹, กนกพร บุญทรง¹, อิมทรอน ทังพอม² และ
ปิยนุช นาคพงศ์^{1*}

Sirada Kotsawart¹, Jirapa Jaidee¹, Sasiwimol Wootthikanokkhan¹, Kanokporn Boonsong¹,
Imron Tingpom² and Piyanuch Nakpong^{1*}

¹สาขาวิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology
Krungthep, Bangkok, Thailand

²ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงและชีวภาพ, บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

²Research and Green Product Development, Bangchak Corporation Public Company Limited,
Bangkok, Thailand

Corresponding Author: Email: Piyanuch.n@mail.rmutk.ac.th

Received: 11-09-2024 Revised: 11-10-2024 Accepted: 27-12-2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้แอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยน้ำมันมะพร้าวซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นมีปริมาณกรดไขมันอิสระ 3.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่สำคัญที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน 4 ชนิด ได้แก่ ปริมาณเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ผลที่ได้จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าภายใต้ภาวะที่เหมาะสม (ปริมาณเมทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมัน อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 1.5 ชั่วโมง) ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวลดลงเหลือ 0.90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยตัวแปรทั้ง 4 ชนิด มีผลในเชิงบวกต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าว ยกเว้นเมื่อใช้ปริมาณเมทานอลที่ 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ตัวเร่งสีเขียว

ABSTRACT

This research was aimed to study the optimum conditions for reduction of free fatty acids content in coconut oil to less than 1% w/w by using esterification reaction with methanol in the presence of Amberlyst 15 as a catalyst. Coconut oil, which is used as a substrate, has an initial free fatty acid content of 3.93 % w/w. In this research, the effects of 4

different types of important variables towards esterification reactions were investigated. These variables included methanol content, catalyst content, reaction temperature, and reaction time. The results of the study show that under the optimum conditions (methanol content of 10 % v/v, catalyst content of 7.5 % w/v of oil, reaction temperature of 60 °C, and reaction time of 1.5 hrs.), the free fatty acid content in coconut oil was reduced to 0.90% w/w. All four variables had a positive effect on the esterification reaction of free fatty acids in coconut oil, except when methanol content was 20 and 30 % v/v

Keyword: Biodiesel, Cation exchange resin, Green catalyst

1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ทั้งพลังงานความร้อนในการประกอบอาหาร พลังงานกลที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนยานพาหนะ พลังงานลม พลังงานน้ำและพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตามแหล่งพลังงานสำคัญของโลกที่ใช้มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันคือพลังงานที่มาจากปิโตรเลียม ซึ่งปิโตรเลียมจะหมายถึงแก๊สธรรมชาติ (Natural gas) น้ำมันดิบ (Crude oil) และคอนเดนเสท (Condensate) สำหรับประเทศไทยมีแหล่งน้ำมันดิบไม่มากนัก และจำเป็นต้องมีการนำเข้าน้ำมันดิบเพื่อนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ สำหรับการใช้ภายในประเทศ ส่งผลให้เกิดการขาดดุลทางการค้า โดยผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญต่อการใช้งานทั้งในภาคขนส่งและภาคอุตสาหกรรม คือ น้ำมันดีเซล [1]

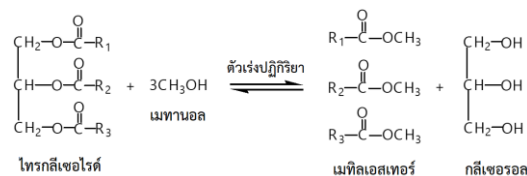
จากความวิตกกังวลที่แหล่งปิโตรเลียมกำลังจะหมดไปในอนาคต รวมถึงการที่โลกต้องเผชิญกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศอย่างรุนแรง ซึ่งสาเหตุหนึ่งเป็นผลมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมทำให้เกิดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั่วโลกในปริมาณมาก [2] ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีความพยายามในการหาพลังงานทดแทนชนิดต่างๆ เพื่อนำมาใช้แทนพลังงานจากปิโตรเลียม โดยพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่น่าสนใจและมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน คือ ไบโอดีเซล (Biodiesel) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่ใช้ กับเครื่องยนต์ดีเซลได้

โดยตรงโดยไม่ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ โดยการใช้ไบโอดีเซลจะมีส่วนช่วยให้ลดปริมาณการใช้ น้ำมันดีเซลที่แปรรูปมาจากปิโตรเลียม เพิ่มความสามารถในการพึ่งพาตนเองทางด้านพลังงาน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและยังเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านเศรษฐกิจให้กับประเทศ โดยภายในปี พ.ศ. 2580 ประเทศไทยมีเป้าหมายในการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 (AEDP2018) [3]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซล โดยมีโรงงานผลิตทั้งหมด 15 แห่งที่มีกำลังการผลิตรวมมากกว่า 11 ล้านลิตรต่อวัน สำหรับวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตคือ น้ำมันปาล์ม อย่างไรก็ตามภายในประเทศยังมีน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ที่เป็นทางเลือก ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสงและน้ำมันละหุ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันมะพร้าวเป็นวัตถุดิบทางเลือกที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมะพร้าวเป็นพืชที่มีการปลูกเป็นจำนวนมากในภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทย ดังนั้นจึงสามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูก ซึ่งราคาของวัตถุดิบจะส่งผลทำให้ราคาของไบโอดีเซลต่ำลงด้วย [4] นอกจากนี้จากการที่น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงมากกว่าร้อยละ 90 [5] จึงส่งผลดีต่อสมบัติในด้าน

ของความต้านทานการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันมะพร้าว

ไบโอดีเซล คือ มอนอแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันโซยาว (Monoalkyl ester of long chain fatty acid) ผลิตได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) หรือแอลกอฮอล์ลิซิส (Alcoholysis) โดยใช้เบสหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และมีกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นผลพลอยได้ที่มีคุณค่าในเชิงพาณิชย์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยา อาหาร เครื่องสำอางและอุตสาหกรรมต่างๆ โดยในกระบวนการสารตั้งต้นคือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ สำหรับประเทศไทยมีการผลิตไบโอดีเซลชนิดเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้จะเป็นเมทานอล โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอลแสดงเป็นสมการเคมีได้ดังนี้ [6]



ในทางอุตสาหกรรมจะนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้สามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด แต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจะมีข้อจำกัดในเรื่องของคุณภาพของวัตถุดิบเริ่มต้นที่ใช้ ซึ่งจะต้องมีคุณภาพดี โดยต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [7-9] อย่างไรก็ตามน้ำมันที่มีคุณภาพดีเหล่านี้จะมีราคาสูงส่งผลให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีราคาสูงตามไปด้วยด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันจึงมีนักวิจัยจำนวนมากพยายามที่จะใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง แต่มีราคาถูก เช่น น้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงและน้ำมันกรดจากกระบวนการผลิตน้ำมันพืช เป็นต้น สำหรับการผลิต ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงจะไม่

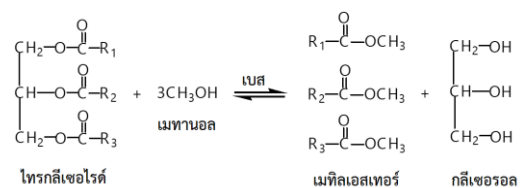
สามารถใช้กระบวนการทรานส์เอส-เทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยตรง เนื่องจากกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาเบสได้สูงเป็นผลิตภัณฑ์ โดยสบู่ที่เกิดขึ้นจะทำให้สารผสมของปฏิกิริยามีความหนืดเพิ่มขึ้นหรือทำให้เกิดเจล ซึ่งรบกวนการเกิดปฏิกิริยา โดยจะส่งผลทำให้ผลได้ (Yield) ของไบโอดีเซลลดลงหรือไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ นอกจากนี้สบู่ยังรบกวนการแยกชั้นของกลีเซอรอลกับไบโอดีเซล ทำให้ต้องใช้เวลาในการแยกนาน [6] ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงจึงต้องใช้กระบวนการแบบ 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้เหลือน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงเป็นสมการเคมีได้ดังนี้ [6]



ในขั้นตอนนี้กรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์จะทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอลได้เมทิลเอสเทอร์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 2 นำน้ำมันที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเบสที่นิยมใช้ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงเป็นสมการเคมีได้ดังนี้ [6]



ในขั้นตอนนี้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์จะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับ

เมทานอลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรอล

ในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งเป็นขั้นตอนการทำปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชัน จะมีการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในปัจจุบันกรดที่นิยมใช้คือ กรดซัลฟิวริก ซึ่งเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) อย่างไรก็ดีถึงแม้ว่ากรดซัลฟิวริกจะเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีข้อเสียหลาย ประการได้แก่ ต้องมีการกำจัดกรดซัลฟิวริกออกจาก ผลิตภัณฑ์น้ำมันภายหลังจากที่ปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ซึ่ง ต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมากในการล้าง ต้องมีขั้นตอนใน การบำบัดน้ำล้างซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด อีกทั้งกรดซัลฟิวริก ยังกัดกร่อนต่ออุปกรณ์ที่เป็นโลหะต่างๆ [10] ซึ่ง ข้อเสียเหล่านี้ทำให้เสียเวลา พลังงานและเพิ่มต้นทุน ในการผลิตไบโอดีเซล [6] จากข้อเสียของกรด ซัลฟิวริกดังกล่าวจึงทำให้มีนักวิจัยจำนวนมาก เลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalyst) ซึ่งเป็นของแข็ง สามารถแยกออกจาก ผลิตภัณฑ์หรือสารผสมของปฏิกิริยาได้ง่าย ไม่ต้องมี การใช้น้ำในการล้างผลิตภัณฑ์และไม่ต้องมีขั้นตอนใน การบำบัดน้ำล้าง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาหลายชนิด สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จาก งานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในหลายกลุ่ม ทั้งที่สังเคราะห์ขึ้นและมีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เช่น ถ่านกัมมันต์ที่แปรรูปมาจากวัสดุเหลือทิ้ง [11] เซอร์โคเนียมคาร์ไบด์ [12] Montmorillonite-based clays catalysts (KSF, KSF/O, KP10, และ K10) [13] เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่มีชื่อทางการค้าเป็นแอม เบอร์ลิสต์ 15 แอมเบอร์ลิสต์ 16 แอมเบอร์ลิสต์ 36 และแอมเบอร์ลิสต์ 70 รวมทั้งโลหะออกไซด์ชนิด ต่างๆ ที่เป็นกรด เช่น $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ta}_2\text{O}_5$, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Nb}_2\text{O}_5$ และ $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ ซึ่งในบรรดาตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง กลุ่มของตัวเร่งปฏิกิริยาเรซิน แลกเปลี่ยนไอออนมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความคงทนต่อ ความร้อน สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้หลายครั้ง อีกทั้ง ยังสามารถจัดหาได้ในปริมาณมาก [1, 10, 14]

โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีประสิทธิภาพและมีความจำเพาะกับปฏิกิริยาเอส- เทอร์ฟิเคชันแม้ในภาวะที่โมลารุนแรง โดยให้ผลผลิตเอสเทอร์ ในปริมาณสูงและสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ [14]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้เปรียบเทียบ ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ประเภทเร ซิน 4 ชนิด ได้แก่ แอมเบอร์ลิสต์ 15 (A-15) แอมเบอร์ ลิสต์ 35 (A-35) แอมเบอร์ลิสต์ 16 (A-16) และ โดวเอ็กซ์ HCR-W2 (Dowex HCR-W2) ต่อปฏิกิริยาเอ สเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมัน ประกอบอาหารที่ใช้แล้วภายใต้อุณหภูมิในช่วง 50-60 องศาเซลเซียสและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1-2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า FFA Conversion จะเพิ่ม ขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการ เกิดปฏิกิริยาและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและ ลำดับความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นดังนี้ A-15 > A-35 > A-16 > โดวเอ็กซ์ HCR-W2 [15]

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษา เกี่ยวกับการนำน้ำมันมะพร้าวที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งมี ราคาถูก แต่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมาลดปริมาณกรดไขมันอิสระ ให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้แอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะทำการหาภาวะที่ เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาพร้อมทั้งศึกษาผลของ ตัวแปรชนิดต่างๆ ที่สำคัญต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ของกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันมะพร้าว

2.วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ยี่ห้อ Lorika; ประเทศไทย) น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 30.50 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก เมทานอล (Kemaus; Australia) แอมเบอร์- ลิสต์ 15 (Supelco; เยอรมนี) เอทานอล (องค์การ สรรหา; ประเทศไทย) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Ajax finechem, Australia) ฟีนอล์ฟทาลิน (Kemaus; Australia) และโพแทสเซียมไฮโดรเจน- พทาเลต (Ajax

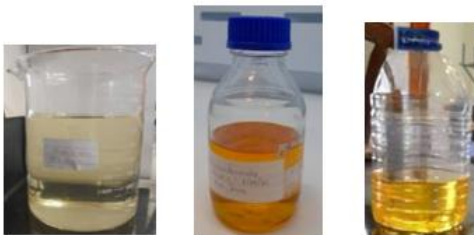
finechem; Australia) โดยสารเคมีทุกชนิดยกเว้น แอมเบอร์ลิสต์ 15 และฟีนอล์ฟทาลีนเป็นเกรดวิเคราะห์ ส่วนแอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นชนิดที่ใช้สำหรับงานวิจัยและพัฒนาและฟีนอล์ฟทาลีนเป็นเกรดห้องปฏิบัติการ โดยแอมเบอร์ลิสต์ 15 แสดงอยู่ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แอมเบอร์ลิสต์ 15

2.2 การเตรียมน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 3.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ 3.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นสารตั้งต้น ซึ่งสามารถเตรียมได้จากการนำน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ 30.50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดความชื้น และน้ำ ทำการกรองกำจัดสิ่งเจือปนของแข็งผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1) ผสมกับน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.03, 30.50 และ 3.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงอยู่ในภาพที่ 2



(ก) FFA 0.03 % (ข) FFA 30.50 % (ค) FFA 3.93 %
ภาพที่ 2 น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 0.03, 30.50 และ 3.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.3 การหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

(1) ใส่น้ำมันมะพร้าวตามปริมาณที่กำหนดลงในขวดสามคอแก้วแบนขนาด 500 มิลลิลิตรที่วางอยู่บนเครื่องกวนสารพร้อมให้ความร้อน

(2) ต่อร์ฟลักซ์คอนเดนเซอร์เข้ากับคอขวดส่วนกลาง เพื่อใช้ในการควบแน่นไอระเหยของสารให้ตกกลับลงสู่สารผสมของปฏิกิริยา คอขวดด้านข้างด้านหนึ่งต่อกับเทอร์โมมิเตอร์เพื่อใช้วัดอุณหภูมิของสารผสมและคอขวดด้านสุดท้ายซึ่งใช้สำหรับการเติมเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาปิดด้วยจุกปิดแก้ว

(3) ให้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าวพร้อมทั้งกวนตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วคงที่จนถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่อยๆ เติมเมทานอลลงไปเป็นปริมาณที่กำหนด โดยควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 60 องศาเซลเซียส

(4) เติมแอมเบอร์ลิสต์ 15 ตามปริมาณที่กำหนดลงในสารผสมของปฏิกิริยา จากนั้นจึงเริ่มจับเวลา

(5) เมื่อครบเวลาในการเกิดปฏิกิริยาให้เทสารผสมของปฏิกิริยาลงในกรวยแยกผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 และกรวยแก้วก้านสั้น เพื่อแยกแอมเบอร์ลิสต์ 15 ออกไป แล้วตั้งสารผสมของปฏิกิริยาที่อยู่ในกรวยแยกทิ้งไว้ค้างคืน เพื่อให้สารผสมแยกชั้น

(6) ไขชั้นน้ำมันซึ่งอยู่ชั้นล่างออกใส่ปิកเกอร์ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยแยกเมทานอลที่เหลือและน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา โดยเมื่อเมทานอลและน้ำระเหยไปหมดแล้ว จะไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้น

(7) ตั้งผลิตภัณฑ์น้ำมันทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ด้วยวิธีการมาตรฐาน AOAC (2000), 940.28

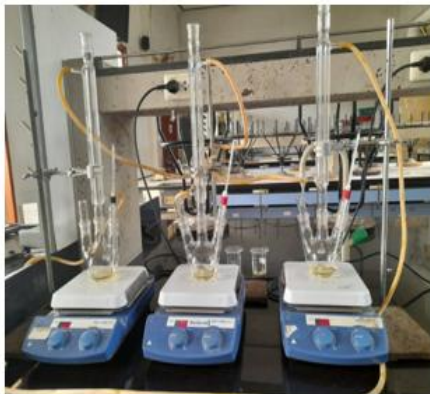
สำหรับการจัดตั้งอุปกรณ์ในการทำปฏิกิริยาสารผสมของปฏิกิริยาภายหลังการเติมแอมเบอร์ลิสต์

15 และการตั้งสารผสมของปฏิกิริยาทั้งไว้ค้างคืนในกรวยแยกแสดงอยู่ในภาพที่ 3

2.4 การศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าผลของตัวแปรชนิดต่างๆ ที่สำคัญ 4 ชนิดที่มีต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าว ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่ ปริมาณเมทานอล (5, 10, 20 และ

30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (0, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมัน) อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส) และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (0.5, 1, 1.5 และ 2 ชั่วโมง) โดยในขณะที่ทำการศึกษาค้นคว้าผลของตัวแปรแต่ละชนิดจะกำหนดให้ตัวแปรชนิดอื่นๆ มีค่าคงที่และแต่ละภาวะที่ทำการศึกษาค้นคว้าจะทำการซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง



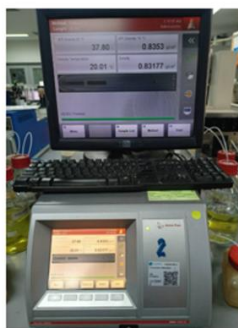
(ภาพที่ 3) การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน สารผสมของปฏิกิริยาภายหลังจากการเติมแอมเบอร์ลิสต์ 15 และการตั้งสารผสมของปฏิกิริยาในกรวยแยก

2.5 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

เมื่อได้ภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระแล้ว จะทำการสังเคราะห์น้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการด้วยวิธีการมาตรฐาน ได้แก่ ความหนืด (ASTM D 445-19a) ความหนาแน่น (ASTM D 4052-18a) และปริมาณน้ำ (ASTM E 1064) ณ ส่วนวิจัยและพัฒนา

ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงและชีวภาพ บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการหาความหนืด (Auto Viscometer; Herzog model HVM 472) ความหนาแน่น (Density Meter; Anton Paar model DMA 4500 M) และปริมาณน้ำ (Mettler Toledo Coulometric KF Titrator C20) แสดงอยู่ในภาพที่ 4



(ก) เครื่องวัดความหนืด

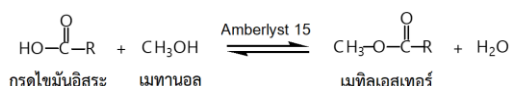
(ข) เครื่องวัดความหนาแน่น

(ค) เครื่องวัดปริมาณน้ำ

ภาพที่ 4 เครื่องมือสำหรับใช้ในการหาค่าความหนืด ความหนาแน่นและปริมาณน้ำ

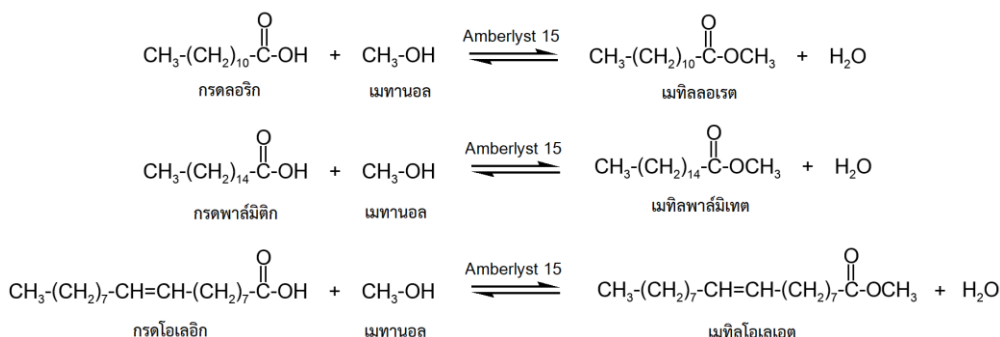
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

น้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นสารตั้งต้นมีปริมาณกรดไขมันอิสระ 3.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีลักษณะ เป็นของเหลวหนืด สีเหลือง ซึ่งเมื่อกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้แอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้เมทิลเอสเทอร์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ดังสมการ



สำหรับกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบใน ไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรด

ไขมันไม่อิ่มตัวได้แก่ กรดคาพริก (Caprylic acid; C8:0) และคาพริก (Capric acid; C10:0) กรด ลอริก (Lauric acid; C12:0) กรดไมริสติก (Myristic acid; C14:0) กรดพาล์มิติก (Palmitic acid; C16:0) กรดสเตียริก (Stearic acid; C18:0) กรดโอเลอิก (Oleic acid; C18:1) และกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid; C18:2) โดยกรดลอริกเป็นกรดไขมันที่มีเป็นจำนวนมากที่สุด [16] ดังนั้นเมื่อกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันมะพร้าวเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจึงเปลี่ยน เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันเหล่านี้ เช่น เมทิลลอเรต (Methyl laurate) เมทิลพาล์มิเตต (Methyl palmitate) และเมทิลโอเลเอต (Methyl oleate) ดังแสดงในแผนภาพที่ 1

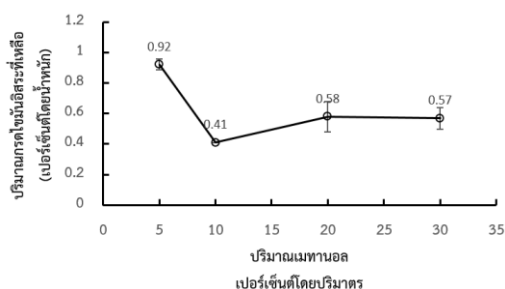


ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระกับเมทานอล

3.1 การหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระและการศึกษาผลของตัวแปรชนิดต่างๆ

3.1.1 ผลของปริมาณเมทานอล

จากการที่ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นถ้าต้องการให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้าเกิดขึ้นได้ดี ได้ผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ปริมาณเมทานอลที่มากเกินไป ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณเมทานอล 4 ค่า ได้แก่ 5, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยในขณะที่ทำการศึกษากำหนดให้ตัวแปรชนิดอื่นๆ คงที่ดังนี้ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมัน อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียสและ 2 ชั่วโมงตามลำดับ ผลที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลของปริมาณเมทานอลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

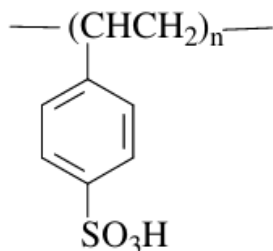
ช่วงที่ทำการศึกษา (5-30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ทำให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดี ซึ่งจะเห็นได้จากการที่ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันเหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามการใช้ปริมาณเมทานอลน้อย (5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) จะทำให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้ น้อยกว่าการใช้ปริมาณเมทานอลค่าอื่นๆ และเมื่อใช้ปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้นเป็น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปฏิกิริยาจะ เกิดได้ดีมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากการที่ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือในผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลง โดยจะลดลงเหลือเพียง 0.41

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่เมื่อใช้ปริมาณเมทานอล 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะพบว่าในผลิตภัณฑ์น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมา จากที่ปริมาณเมทานอลดังกล่าวปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดี เป็นอย่างมาก จึงทำให้มีน้ำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งของปฏิกิริยาเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปทางซ้ายได้กรดไขมันอิสระและเมทานอลกลับมา อีกสาเหตุหนึ่งที่น่าจะเกิดขึ้นคือน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) กับไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันมะพร้าวได้กรดไขมันอิสระ [10]

สำหรับปริมาณเมทานอลที่เหมาะสมนั้น ผู้วิจัยเลือก 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเนื่องจากเป็นปริมาณเมทานอลที่ทำให้เหลือปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถึงแม้ว่าปริมาณเมทานอลดังกล่าวจะไม่ใช้ปริมาณเมทานอลที่น้อยที่สุดที่ทำให้เหลือปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่ผู้วิจัยคาดหวังว่าจะสามารถลดความแรงของการใช้ตัวแปรที่เหลืออีก 3 ชนิดลงได้โดยที่ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันยังคงต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

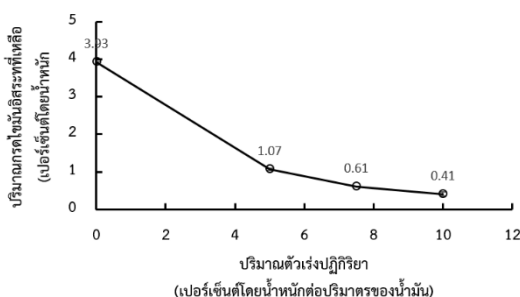
3.1.2 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นตัวแปรอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้แอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยแอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Resin) ที่มีความเป็นกรดสูง ซึ่งในโครงสร้างจะมีหมู่กรดซัลโฟนิก (Sulfonic acid group ; $-SO_3H$) ต่อยู่ที่วงแหวนเบนซีน โดยโครงสร้างของแอมเบอร์ลิสต์ 15 แสดงอยู่ในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 โครงสร้างของแอมเบอร์ลิสต์ 15 [17]

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 4 ค่า ได้แก่ 0, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมัน โดยในขณะที่ทำการศึกษากำหนดให้ตัวแปรชนิดอื่นๆ มีค่าคงที่ ดังนี้ ปริมาณเมทานอล 10 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร อุณหภูมิ ในการเกิดปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียสและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง โดยผลที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่ใช้แอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวจะไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นได้น้อยมากภายในเวลา 2 ชั่วโมง แต่เมื่อเติมแอมเบอร์ลิสต์ 15 ลงไปในสารผสมของปฏิกิริยาเพียง 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมัน จะพบว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี โดยเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงจะมีปริมาณ

กรดไขมันอิสระเหลืออยู่ในน้ำมัน 1.07 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก และเมื่อเพิ่มปริมาณแอมเบอร์ลิสต์ 15 ขึ้นไปอีก อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งเห็นได้จากการที่ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันมะพร้าวลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเหลือเพียง 0.41 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเมื่อใช้ปริมาณแอมเบอร์ลิสต์ 15 ที่ 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมัน

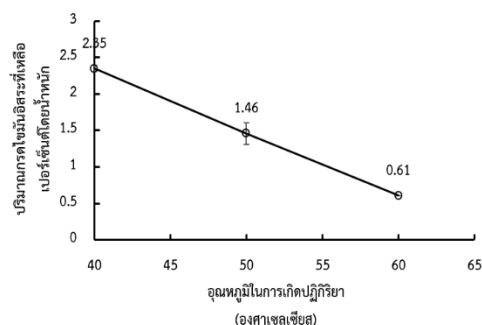
ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกปริมาณแอมเบอร์ลิสต์ 15 ที่ 7.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมัน

เป็นปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นปริมาณตัวเร่ง

ปฏิกิริยาที่น้อยที่สุดที่ทำให้เหลือปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

3.1.3 ผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา

อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเป็นตัวแปรอีกชนิดหนึ่งที่สำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 3 ค่า ได้แก่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยในขณะที่ทำการศึกษากำหนดให้ตัวแปรชนิดอื่นๆ มีค่าคงที่ดังนี้ ปริมาณเมทานอล 10 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 7.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ซึ่งผลที่ได้แสดงอยู่ในภาพที่ 8



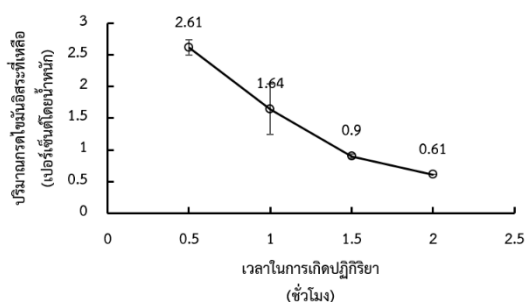
ภาพที่ 8 ผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยา
ดูดความร้อน ฉะนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยา
เกิดได้ดีมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากเมื่อใช้อุณหภูมิใน
การเกิดปฏิกิริยาที่ 40 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยา
เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ แต่เกิดขึ้นได้ไม่ดี
จึงทำให้ยังคงมีปริมาณกรดไขมันอิสระเหลืออยู่ใน
น้ำมันมะพร้าวสูง แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการเกิด
ปฏิกิริยาสูงขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีมากขึ้น ซึ่งจะเห็น
ได้จากการที่ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันลดลง
เรื่อยๆ โดยจะมีค่าต่ำสุด (0.61 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิในการ
เกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือ 60 องศาเซลเซียส
เนื่องจากทำให้ได้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน
มะพร้าวต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.1.4 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่
ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งในงาน
วิจัยนี้ได้ศึกษาผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 4 ค่า
ได้แก่ 0.5, 1, 1.5 และ 2 ชั่วโมง โดยในขณะที่กำลัง
ศึกษาจะกำหนดให้ตัวแปรชนิดอื่นมีค่าคงที่ดังนี้ ปริมาณ

เมทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ต่อปริมาตรของน้ำมันและอุณหภูมิในการ
เกิดปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส โดยผลที่ได้แสดงอยู่
ในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
ต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการ
เกิดปฏิกิริยาน้อย (0.5 ชั่วโมง) ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้
ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระเหลือ
อยู่สูงถึง 2.61 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่เมื่อใช้เวลา
ในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้
สมบูรณ์มากขึ้นเรื่อยๆ ดังจะเห็นได้จากการลดลงของ
ปริมาณกรดไขมันอิสระอย่างต่อเนื่อง โดยจะลดลงได้
มากที่สุดที่เวลา 2 ชั่วโมง ในงานวิจัยนี้จะเลือกเวลาที่
1.5 ชั่วโมงเป็นเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม
เนื่องจากเป็นเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้ปริมาณกรด
ไขมันอิสระเหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สำหรับภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณ
กรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวเป็นดังนี้คือ ปริมาณ
เมทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณตัวเร่ง
ปฏิกิริยา 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของ
น้ำมัน อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 องศา
เซลเซียสและ 1.5 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.2 สมบัติทางกายภาพของ ผลิตภัณฑ์น้ำมัน

เมื่อได้ภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณ
กรดไขมันอิสระแล้ว จะทำการสังเคราะห์น้ำมันมะพร้าว
ที่มีกรดไขมันอิสระ 0.90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักใน
ปริมาณมาก เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ
บางประการด้วยวิธีการมาตรฐาน ณ ส่วนวิจัยและ
พัฒนาผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงและชีวภาพ บริษัท บางจาก
คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) โดยผลที่ได้แสดงอยู่ใน
ตารางที่ 1

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์
น้ำมันที่ได้มีความหนืดสูงกว่าความหนืดของไบโอดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนด
ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอ
สเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2562 ประมาณ 5-7 เท่า
ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในน้ำมันยังคงมีไตรกลีเซอไรด์อยู่
เป็นจำนวนมาก ส่วนขั้นตอนการกำจัดน้ำออกจาก
ผลิตภัณฑ์น้ำมันมีประสิทธิภาพดี เนื่องจากมีน้ำ
เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์น้ำมันในปริมาณเล็กน้อย
เท่านั้น

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

สมบัติ	ผล การทดสอบ	วิธีมาตรฐานที่ ใช้ในการ ทดสอบ
ความหนืด ที่ 40 องศาเซลเซียส (เซนติสโตก)	24.74	ASTM D 445-19a
ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)	0.9237	ASTM D 4052-18a
ปริมาณน้ำ (เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก)	0.018	ASTM E 1064

ดังนั้นผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยจะไม่มีผลในเชิงลบอันเนื่องมาจากกรดไขมันอิสระและน้ำที่มีอยู่ในน้ำมัน

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอล โดยสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักภายใต้ภาวะที่ไม่รุนแรง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กรดซัลฟิวริก [16] หรือกรดไทโรฟลูออโรแอซิดิก [18] เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาดังกล่าว แอมเบอร์ลิสต์ 15 จะมีข้อดีที่เหนือกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิด คือ แอม-เบอร์ลิสต์ 15 ไม่กัดกร่อน แยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย รวมทั้งสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้และวิธีการในการนำกลับมาใช้ซ้ำไม่ยุ่งยาก สำหรับกรดซัลฟิวริกถึงแม้ว่าจะมีราคาไม่แพง แต่มีฤทธิ์กัดกร่อน ต้องมีการใช้น้ำจำนวนมากในการล้างกรดออกจากผลิตภัณฑ์น้ำมัน ต้องมีขั้นตอนการบำบัดน้ำล้างและการนำกรดซัลฟิวริกกลับมาใช้ซ้ำค่อนข้างทำได้ยาก ส่วนการใช้กรดไทโรฟลูออโรแอซิดิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถึงแม้ว่าการแยกกรดออกจากผลิตภัณฑ์น้ำมันจะทำได้ง่ายด้วยวิธี Evaporative distillation [19] แต่กรดไทโรฟลูออโรแอซิดิกมีฤทธิ์กัดกร่อน

ดังนั้นแอมเบอร์ลิสต์ 15 จึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเลือกอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพสูงสำหรับการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวให้เหลือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้แอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นสารตั้งต้นมีปริมาณกรดไขมันอิสระ 3.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระคือ ปริมาณเมทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำมัน อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 1.5 ชั่วโมง ซึ่งภายใต้ภาวะที่เหมาะสมนี้ ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันมะพร้าวลดลงเหลือเพียง 0.90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักโดยตัวแปรทั้ง 4 ชนิดคือ ปริมาณเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา มีผลในเชิงบวกต่อปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าว ยกเว้นเมื่อใช้ปริมาณเมทานอล 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรสำหรับภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นในช่วง 1-3.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักได้ โดยผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวที่ได้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลต่อด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นกระบวนการในเชิงพาณิชย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของตัวแปร 4 ชนิดต่อปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ปริมาณเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม

มีตัวแปรชนิดอื่นที่มีผลต่อปฏิกิริยาดังกล่าว ได้แก่ ตัวทำละลายและ อัตราเร็วในการกวนสารผสม ซึ่งการศึกษาผลของตัวแปรเหล่านี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจที่ผู้วิจัยจะทำการศึกษาต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือต่างๆ ในการทำงานวิจัยและขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพสำหรับทุนในการทำวิจัย

6. อ้างอิง

- [1] Hykkerud A, Marchetti JM. Esterification of oleic acid with ethanol in the presence of Amberlyst 15. *Biomass Bioenergy*. 2016; 95:340-3.
- [2] สาเหตุและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ | สหประชาชาติในประเทศไทย [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 13 เมษายน 2567]. Available from: <https://thailand.un.org/th/174652>.
- [3] ระบบสารสนเทศองค์ความรู้ด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 13 เมษายน 2567]. Available from: <https://kc.dede.go.th/knowledge-view.aspx?p=505>.
- [4] Qiu T, Guo X, Yang J, et al. The synthesis of biodiesel from coconut oil using novel Brønsted acidic ionic liquid as green catalyst. *Chem Eng J*. 2016;296:71-8.
- [5] Kappally S, Shirwaikar A, Shirwaikar A. Coconut oil—a review of potential applications. *Hygeia JD Med*. 2015;7(2):34-41.
- [6] สารเคมีจากปิโตรเลียม / ปิยนุช นาคพงศ์ [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 14 เมษายน 2567]. Available from: <https://www.car.chula.ac.th/display7.php?bib=1915904>.
- [7] Ghadge SV, Raheman H. Biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil having high free fatty acids. *Biomass Bioenergy*. 2005;28(6):601-5.
- [8] Tiwari AK, Kumar A, Raheman H. Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process. *Biomass Bioenergy*. 2007;31(8):569-75.
- [9] Berchmans HJ, Hirata S. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresour Technol*. 2008; 99(6):1716-21.
- [10] Boz N, Degirmenbasi N, Kalyon DM. Esterification and transesterification of waste cooking oil over Amberlyst 15 and modified Amberlyst 15 catalysts. *Appl Catal B Environ*. 2015; 165:723-30.
- [11] Alvear-Daza JJ, Pasquale GA, Rengifo-Herrera JA, et al. Mesoporous activated carbon from sunflower shells modified with sulfonic acid groups as solid acid catalyst for itaconic acid esterification. *Catal Today*. 2021; 372:51-8.
- [12] Felfeliani Z, Mahdavi M. A new ZrC nano powder solid acid catalyst for the esterification synthesis of ethyl acetate. *Catal Commun*. 2023; 182:106752.
- [13] Sripada S, Kastner JR. Continuous catalytic esterification using a solid acid activated carbon monolith: Comparison of granular

- and monolith forms with a commercial catalyst. Chem Eng J. 2023;476:146586.
- [14] El-Nassan HB. Amberlyst 15®: An Efficient Green Catalyst for the Synthesis of Heterocyclic Compounds. Russ J OrgChem .2021;57(7):1109-34.
- [15] Ozbay N, Oktar N, Tapan NA. Esterification of free fatty acids in waste cooking oils (WCO): Role of ion-exchange resins. Fuel. 2008;87(10-11), 1789-98.
- [16] Nakpong P, Wootthikanokkhan S. High free fatty acid coconut oil as a potential feedstock for biodiesel production in Thailand. Renewable Energy. 2010;35(8): 1682-7.
- [17] Pal R, Sarkar T, Khasnobis S. Amberlyst-15 in organic synthesis. Arkivoc. 2012; 570-609.
- [18] ไสภิตาศิริบาล, วันเพ็ญ บุญเรือง, กนกพร บุญทรง และคณะ. กรดไตรฟลูออโรแอซิดิก: ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพในขั้นตอนเอสเทอร์ิฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพ. 2567;1(2):1-8
- [19] Miao X, Li R and Yao H. Effective acid-Catalyzed transesterification for biodiesel Production. Energy onversion and Management. 2009;50(10):2680-4.