เอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

นางสาวสุธาสิน เสนานิกรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ESTERIFICATION OF METHANOL AND ETHANOL WITH COCONUT FATTY ACID DISTILLATE USING AMBERLYST BD 20 ION EXCHANGE RESIN

Miss Sutasin Senanikrom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอล กับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20
โดย	นางสาวสุธาสิน เสนานิกรม
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.เจิดศักดิ์ ไชยคุนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.เจิดศักดิ์ ไชยคุนา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์ สุทธิธารธวัช)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.นริศรา อินทรจันทร์)

สุธาสิน เสนานิกรม : เอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 (ESTERIFICATION OF METHANOL AND ETHANOL WITH COCONUT FATTY ACID DITILLATE USING AMBERLYST BD 20 ION EXCHANGE RESIN) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.เจิดศักดิ์ ไชยคุนา, 147 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์บีดี 20 ทำการทดลองโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะขนาดความจุ 2 ลิตร ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้วและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อแอลกอฮอล์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์มากกว่า 100 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นจากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลมากกว่า 1:10 ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา อีกทั้งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ ในกรณีศึกษาของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวแสดงให้เห็นว่า ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นจากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลมากกว่า 1:18 ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวขึ้นกับอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม ชนิดของแอลกอฮอล์มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5470421821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : COCOCNUT FATTY ACID DISTILLATE/ ESTERIFICATION/ ETHANOL / ION EXCHANGE RESIN

SUTASIN SENANIKROM : ESTERIFICATION OF METHANOL AND ETHANOL WITH COCONUT FATTY ACID DITILLATE USING AMBERLYST BD 20 ION EXCHANGE RESIN. ADVISOR : JIRDSAK TSCHEIKUNA, Ph.D, 147 pp.

Esterification of methanol and ethanol with coconut fatty acid distillate using Amberlyst BD 20 ion exchange resin has been investigated in this study. The experiments were conducted in a stainless steel autoclave reactor at pressure of 100 psi and the amount of catalyst of 20 %weight of coconut fatty acid distillate. The effects of speed of agitation, molar ratio of coconut fatty acid distillate to alcohol, reaction temperature and reusability of catalyst were investigated. The experimental results show that the reaction is a reversible reaction. The conversion of coconut fatty acid distillate increases with the molar ratio of coconut fatty acid distillate to methanol and reaction temperature. The speed of agitation more than 100 rpm and molar ratio of coconut fatty acid distillate to methanol higher than 1:10 do not affect the esterification reaction. The experimental result also shows that Amberlyst BD 20 exchange resin is high effective catalyst and can be reused. The kinetic model of esterification of methanol with coconut fatty acid distillate using catalyst is pseudo first order irreversible reaction during initial reaction period. In case study of esterification of ethanol with coconut fatty acid distillate shows that the speed of agitation affects the esterification reaction. At molar ratio of coconut fatty acid distillate to ethanol higher than 1:18 does not affect the esterification reaction. Reaction rate of ethanol with coconut fatty acid distillate using catalyst depends on influence of mass transfer. Type of alcohol affects the reaction.

Department : Chemical Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ฉบับนี้ สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีจากคณาจารย์และผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่าย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ดร.เจิดศักดิ์ ไชยคุนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำรวมทั้งแนวความคิดในการปฏิบัติงานและพัฒนางานวิจัยและความช่วยเหลือในอีกหลาย ๆ ด้านมาตลอดจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์ สุทธิธารธวัช และอาจารย์ ดร.นริศรา อินทรจันทร์ ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ เพื่อใช้ในการดำเนินงาน

ขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่และน้อง ๆ สำหรับความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิจัยด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ กำลังใจจากบิดามารดาและสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ป

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 อัลคิลเอสเทอร์..... 5

2.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน..... 5

2.3 ประเภทของปฏิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน 5

2.4 เรซินแลกเปลี่ยนไอออน..... 9

2.5 จลนพลศาสตร์เคมี..... 11

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 15

3 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง..... 17

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 17

3.2 ขั้นตอนการทดลอง..... 18

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 20

3.4 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 21

4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง..... 24

4.1 ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติและองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว..... 25

หน้า

4.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20..... 26
4.2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา..... 26
4.2.2 ผลกระทบของความบริสุทธิ์ของเมทานอล (ร้อยละ 98.0 และ 99.9) มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 31
4.2.3 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 32
4.2.4 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 33
4.2.5 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 35
4.2.6 ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา.. 37
4.2.7 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา..... 39
4.3 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20..... 43
4.3.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา..... 43
4.3.2 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 47
4.3.3 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 48
4.3.4 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 51
4.3.5 ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา.. 52
4.3.6 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา..... 54
4.4 ผลกระทบของชนิดของแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20..... 61

หน้า

4.4.1 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 61
4.4.2 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 61
4.4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 63
4.4.4 ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา.. 63
4.4.5 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20..... 64
5 สรุปผลการวิจัย..... 67
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 67
5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย..... 68
รายการอ้างอิง..... 69
ภาคผนวก..... 73
ภาคผนวก ก..... 74
ภาคผนวก ข..... 79
ภาคผนวก ค..... 87
ภาคผนวก ง..... 90
ภาคผนวก จ..... 94
ภาคผนวก ฉ..... 101
ภาคผนวก ช..... 124
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 147

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	สภาวะของการทดลอง.....	20
3.2	ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง.....	22
3.3	ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	23
4.1	คุณสมบัติต่างๆ ของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว.....	25
4.2	องค์ประกอบต่างๆ ของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว.....	26
4.3	การเปรียบเทียบค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 120 นาที.....	30
4.4	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลต่างๆ.....	35
4.5	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ.....	37
4.6	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่.....	38
4.7	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	41
4.8	การเปรียบเทียบค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 120 นาที.....	47
4.9	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลต่างๆ.....	50

ตารางที่ หน้า

4.10 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ..... 52

4.11 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่..... 53

4.12 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ)..... 56

4.13 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์)..... 59

4.14 การเปรียบเทียบผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอลและเอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยตัวเร่งปฏิกิริยา ที่สภาวะเดียวกัน..... 62

4.15 การเปรียบเทียบค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา..... 65

ก-1 ปริมาณสารตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรทเพื่อใช้ในการหาค่าความเป็นกรด..... 75

ข-1 สภาวะคอลัมน์ของเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี..... 79

ข-2 องค์ประกอบของสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐาน..... 80

ข-3 แสดงองค์ประกอบของเมทิสเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว..... 81

ข-4 องค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันะพร้าว..... 82

ตารางที่ หน้า

ฉ-1.1 ผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส..... 101

ฉ-1.2 ผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส..... 102

ฉ-2.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.0 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที..... 103

ฉ-2.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที..... 104

ตารางที่ หน้า

ฉ-3.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 50 รอบต่อนาที..... 105

ฉ-3.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 100 รอบต่อนาที..... 106

ฉ-3.3 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 200 รอบต่อนาที..... 107

ฉ-3.4 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที..... 108

ตารางที่ หน้า

ฉ-3.5 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 600 รอบต่อนาที..... 109

ฉ-4.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:1..... 110

ฉ-4.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:2..... 111

ฉ-4.3 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:4..... 112

ตารางที่ หน้า

ฉ-4.4 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8..... 113

ฉ-4.5 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10..... 114

ฉ-4.6 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:12..... 115

ฉ-5.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส..... 116

ตารางที่ หน้า

ฉ-5.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส..... 117

ฉ-5.3 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 80 องศาเซลเซียส..... 118

ฉ-5.4 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส..... 119

ฉ-6.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที เมื่อมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นครั้งแรก..... 120

ตารางที่ หน้า

ฉ-6.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1..... 121

ฉ-6.3 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2..... 122

ฉ-6.4 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3..... 123

ช-1.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วนโดยโมล ของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส..... 124

ตารางที่ หน้า

ช-1.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วนโดยโมล ของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส..... 125

ช-2.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 50 รอบต่อนาที..... 126

ช-2.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 100 รอบต่อนาที..... 127

ช-2.3 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 200 รอบต่อนาที..... 128

ช-2.4 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที..... 129

ตารางที่ หน้า

ช-2.5 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 600 รอบต่อนาที..... 130

ช-3.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:1..... 131

ช-3.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:2..... 132

ช-3.3 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:4..... 133

ตารางที่ หน้า

ช-3.4 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8..... 134

ช-3.5 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:12..... 135

ช-3.6 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:16..... 136

ช-3.7 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18..... 137

ตารางที่ หน้า

ช-3.8 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:20..... 138

ช-4.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส..... 139

ช-4.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส..... 140

ช-4.3 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 80 องศาเซลเซียส..... 141

ตารางที่ หน้า

ช-4.4 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส..... 142

ช-5.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18, อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีเมื่อมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นครั้งแรก..... 143

ช-5.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18, อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1..... 144

ช-5.3 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18, อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2..... 145

ตารางที่ หน้า

ช-5.4 ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18, อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3..... 146

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	เครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ใช้ในการทดลอง.....	17
4.1	โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ที่อยู่ในสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง.....	27
4.2	ผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	28
4.3	ผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	29
4.4	การเปรียบเทียบผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	30
4.5	ผลกระทบของความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	31
4.6	ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	32
4.7	ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	34
4.8	ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	36
4.9	ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	38
4.10	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	41
4.11	แสดงค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	42

รูปที่		หน้า
4.12	โครมาโตแกรมของเอทิลเอสเทอร์ที่อยู่ในสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง.....	43
4.13	ผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	44
4.14	ผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	45
4.15	การเปรียบเทียบผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา....	46
4.16	ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	48
4.17	ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	49
4.18	ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	51
4.19	ผลกระทบของของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	53
4.20	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเอทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ).....	56
4.21	ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิริยาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยตัวเร่งปฏิกิริยา (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ).....	57
4.22	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเอทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์).....	59

รูปที่		หน้า
4.23	ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์).....	60
4.24	การเปรียบเทียบผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอลและเอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่สภาวะเดียวกัน.....	62
ง-1	ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานภายใน (เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน).....	90
ง-2	ผลการวิเคราะห์เมทานอล.....	91
ง-3	ผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์อย่างสมบูรณ์.....	92
จ-1	ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานภายใน (เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน).....	94
จ-2	ผลการวิเคราะห์เอทานอล.....	95
จ-3	ผลการวิเคราะห์เอทิลลอเรต.....	96
จ-4	ผลการวิเคราะห์เอทิลไมริสเตท.....	97
จ-5	ผลการวิเคราะห์เอทิลสเตียเรต.....	98
จ-6	ผลการวิเคราะห์เอทิลเอสเทอร์อย่างสมบูรณ์.....	99

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อัลคิลเอสเทอร์ (Alkyl esters) ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) และเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl esters) เป็นสารประกอบเอสเทอร์ผลิตได้โดยกระบวนการปฏิกิริยาทางเคมี โดยเมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) และเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl esters) ที่ผลิตได้ สามารถนำไปใช้เป็นไบโอดีเซล (Biodiesel) หรือใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ได้ เช่น เมทิลไมริสเตท เอทิลลอเรต เอทิลปาล์มิเตท เอทิลสเตียเรตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ เมทิลปาร์มิเตทสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เอทิลโอลิเอตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น [1]

วิธีการผลิตอัลคิลเอสเทอร์ที่นิยมใช้มี 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน อย่างไรก็ตาม การผลิตอัลคิลเอสเทอร์โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน มีข้อเสีย คือ ปฏิกิริยานี้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาการผลิตอัลคิลเอสเทอร์โดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่นำเอากรดไขมันและแอลกอฮอล์มาทำปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์ คือ อัลคิลเอสเทอร์และได้ผลิตภัณฑ์ร่วม คือ น้ำ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถเกิดได้ในสภาวะความดันและอุณหภูมิสูง [1, 2] หรือในสภาวะเหนือวิกฤต [3, 4, 5] ปฏิกิริยานี้มีข้อเสียคือ ต้องใช้พลังงานในการทำปฏิกิริยาสูงมาก เนื่องจากทำปฏิกิริยาที่ความดันและอุณหภูมิสูง จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูง

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์และโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ [6, 7, 8] มีข้อจำกัดของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา และต้นทุนการผลิตสูง

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ [9] ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ กรดซัลฟิวริก [10, 11, 12] ปฏิกิริยานี้มีข้อเสีย คือ เกิดการกัดกร่อนที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม มีขั้นตอนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและขั้นตอนการทำให้

ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์ซึ่งสามารถทำได้ยาก เนื่องจากเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่สามารถนำกลับมาใหม่ได้

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดของแข็ง [13, 14, 15] และปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ที่มีจุดเด่นที่สุด คือ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออน [16, 17] เนื่องจากมีข้อดี คือ สามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ไม่ต้องมีกระบวนการกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ไม่เปลืองพลังงานเนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำและสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้จึงเป็นการลดต้นทุนในการผลิต โดย Sanz และคณะ [18] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดแลกติกกับเมทานอลโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออน 4 ชนิด ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนโดแวกซ์ 50 ดับเบิลยู 8 เอกซ์ โดแวกซ์ 50 ดับเบิลยู 2 เอกซ์ แอมเบอร์ลิสต์ 36 แอมเบอร์ลิสต์ 15 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดสำหรับปฏิกิริยานี้ ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะสมดุลเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของกรดแลกติกต่อเมทานอลและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น Jiang และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันชีวภาพกับเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดแก่ 2 ชนิด ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน 732 (แอมเบอร์ลิสต์ 15) NKC-9 (แอมเบอร์ไลท์ ไออาร์เอ 120) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนทั้ง 2 ชนิด เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันชีวภาพ Ozbay และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันใช้แล้วโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนหลายชนิด ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 15 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 35 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 16 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนโดเวกซ์ เอชซีอาร์ ดับบลิว 2 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 15 มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดอื่นและมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้ใกล้เคียงกับการใช้กรดซัลฟิวริก โดยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสมและนิยมใช้กับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 Park และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณสูงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออน 2 ชนิด คือ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 15 และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 มีความสามารถในการเร่ง

ปฏิกิริยาที่ดีกว่าแอมเบอร์ลิสต์ 15 และความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แอมเบอร์ลิสต์แอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ไม่ลดลงเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณสูง

อีกทั้งเมื่อทำการศึกษาผลกระทบของชนิดของแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันแสดงให้เห็นว่า ชนิดของแอลกอฮอล์มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา Marchetti และ Errazu [22] ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์และแอลกอฮอล์หลายชนิดที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดโอเลอิก ได้แก่ เอทานอลที่ไม่มีน้ำปนอยู่ 1-โพรพานอล 2-โพรพานอล บิวทานอล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ผลกระทบของความยาวของสายโซ่คาร์บอนและตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของแอลกอฮอล์มีผลต่อปฏิกิริยา เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่ดีที่สุดสำหรับใช้ในปฏิกิริยาเอสทอร์ริฟิเคชันของกรดโอเลอิกและค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระสุดท้ายของ 1-โพรพานอลสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ 2-โพรพานอล Jong และคณะ [23] ได้ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไมริสติกกับไอโซโพรพานอลและนอร์มัลโพรพานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดพาราโทลูอีนซัลโฟนิก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไมริสติกกับนอรมัลโพรพานอลเร็วกว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของไอโซโพรพานอล Caetano และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันเพื่อใช้เป็นไบโอดีเซลโดยใช้โพลิเมอร์กลุ่มของกรดซัลโฟนิก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ผลกระทบของความยาวของสายโซ่คาร์บอนของแอลกอฮอล์มีผลต่อปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดปาล์มิติกกับเอทานอลให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาของเมทานอล Hanh และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดโอเลอิกกับแอลกอฮอล์ที่มีความยาวสายโซ่สั้นหลายชนิด ได้แก่ เอทานอล 1-โพรพานอล 2-โพรพานอล 1-บิวทานอลและ 2-บิวทานอล ภายใต้สภาวะการฉายรังสีอุลตราโซนิก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลกระทบของชนิดของแอลกอฮอล์มีผลต่อปฏิกิริยา โดยเอทานอลให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของเอสเทอร์มากที่สุดและแอลกอฮอล์ที่มีความยาวสายโซ่ตรงให้ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูงกว่าแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ

จากข้อมูลต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาเบื้องต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 โดยทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อแอลกอฮอล์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สารตั้งต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ กรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.0 และ 99.9 และเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

3. ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

4. ทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากนน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ได้แก่

4.1 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง 50, 100, 200, 400 และ 600 รอบต่อนาที ตามลำดับ

4.2 อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อแอลกอฮอล์

4.2.1 อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล ได้แก่ 1:1 1:2 1:4 1:8 1:10 และ 1:12 ตามลำดับ

4.2.2 อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล ได้แก่ 1:1 1:2 1:4 1:8 1:12 1:16 1:18 และ 1:20 ตามลำดับ

4.3 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส

4.4 การนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่

5. ความดันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

6. เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถทราบข้อมูลและนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอื่นๆ ได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อัลคิลเอสเทอร์

อัลคิลเอสเทอร์ จัดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่มีสูตรโมเลกุล คือ RCOOR' โดย R' เป็นหมู่อัลคิลที่ขึ้นอยู่กับประเภทของกรดไขมันนำมาใช้ในการทำปฏิกิริยา วิธีการผลิตอัลคิลเอสเทอร์นั้นมี 2 ปฏิกิริยา คือปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันและปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันอาจเกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาวิธีการผลิตอัลคิลเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยอาศัยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน

2.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาที่มีการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันและแอลกอฮอล์โดยมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ อัลคิลเอสเทอร์และผลิตภัณฑ์ร่วม คือ น้ำ ซึ่งสามารเขียนสมการเคมีแสดงดังสมการ (2.1)

$$\underset{\text{กรด}}{ROOH} + \underset{\text{แอลกอฮอล์}}{R'OH} \xleftrightarrow{acid} \underset{\text{เอสเทอร์}}{RCOOR'} + \underset{\text{น้ำ}}{H_2O} \qquad (2.1)$$

เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันจัดเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้นจึงนิยมใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินพอ หรือทำการกำจัดน้ำออกเพื่อทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้า มีผลทำให้ได้ผลได้ของอัลคิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น

2.3 ประเภทของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน

โดยทั่วไป ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน สามารถแบ่งเป็น 2 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและปฏิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันนั้นสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยต้องทำปฏิกิริยาที่ความดันและอุณหภูมิสูงในสภาวะเหนือวิกฤต [3, 4, 5] ปฏิกิริยาประเภทนี้มีข้อดี คือ ปฏิกิริยานี้ไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในขณะเกิดปฏิกิริยา ทำให้ไม่มีการเจือปนระหว่างการเกิดปฏิกิริยาสามารถเกิด

ผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังลดขั้นตอนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ให้มีความบริสุทธิ์อีกด้วย

กำแหงเดชพล [1] ได้ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดลอริกและกรดสเตียริกกับเอทานอลแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการทดลองภายในถังปฏิกรณ์แบบกะ ที่ความดัน 700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150-300 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโดยโมลของกรดลอริกและกรดสเตียริกต่อเอทานอล 1:1-1:10 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดลอริกและกรดสเตียริกสามารถเกิดได้โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาตามหลักมวลสารสัมพันธ์ ณ ช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับสองแบบไม่ผันกลับ พลังงานกระตุ้นของกรดลอริกและกรดสเตียริกมีค่าเท่ากับ 33.40 และ 40.39 กิโลจูลต่อโมล นอกจากนี้ความยาวสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันยังมีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

สมทราย [2] ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบกะ ที่ความดัน 500 และ 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 60-300 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันปาล์มที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระร้อยละ 90.05 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นต่อเมทานอล 1:1-1:10 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 300 นาที จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ การเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นในช่วง 90 นาทีแรก และ ณ เวลาประมาณ 100 นาที ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลของปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม อัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับความดัน พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 31.5 กิโลจูลต่อโมล

อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีข้อเสีย คือ ต้องใช้พลังงานในการทำปฏิกิริยาสูงมาก เนื่องจากทำปฏิกิริยาที่ความดันและอุณหภูมิที่สูง จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูง

2.3.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์และโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์

2.3.2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ที่นิยมใช้มากกันคือ ไลเปซ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า

ไตรเอซิลกลีเซอรอลไฮโดรเลส (Triacylglycerol acylhdrolases) ตาม The international Union of Biochemistry (IUB) system มีรหัสเป็น EC.3.1.1.3 เป็นเอนไซม์กลุ่มหนึ่งในเอสเทอเรส [6,7] ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ คือ สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำ มีคุณสมบัติที่มีความคงทนต่อค่าความเป็นกรด–ด่าง อุณหภูมิที่สูงและมีความจำเพาะต่อซับสเตรทหลายชนิด มีความไวต่อปฏิกิริยามากแม้มีเอนไซม์ในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถเร่งปฏิกิริยาได้

Trubiano และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดโอเลอิกกับเอทานอลโดยใช้เอนไซม์ไลเปสชนิด *a Candida Antarctic* เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลต่อน้ำมัน 1:10 และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ให้ร้อยละผลได้มากกว่า 65

อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ มีข้อเสีย คือ มีข้อจำกัดในการใช้อุณหภูมิ ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน และต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง

2.3.2.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ [9]

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด ได้แก่ กรดซัลฟิวริก

Liu และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำภายในกรดซัลฟิวริกที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดอะซิติกกับเมทานอลที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของน้ำที่อยู่ในกรดซัลฟิวริกส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยรูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาในช่วงแรกลดลง เมื่อความเข้มข้นของน้ำในกรดซัลฟิวริกสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า น้ำที่ปนอยู่ในกรดซัลฟิวริกเป็นตัวยับยั้งการเกิดสารประกอบเอสเทอร์

Berrios และคณะ [11] ได้ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันดอกทานตะวันกับเมทานอล ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่มีระบบการกวน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดโอเลอิกต่อเมทานอล 1:10 ถึง 1:80 และใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า รูปแบบจลนพลศาสตร์สภาวะที่ใช้ในการศึกษาของปฏิกิริยาของกรดไขมันอิสระในน้ำมันดอกทานตะวันกับเมทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดโอเลอิกต่อเมทานอล 1:60 และกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีรูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาไปข้างหน้าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และเป็นปฏิกิริยาอันดับสองสำหรับปฏิกิริยาผันกลับ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จากสมการ

อาร์เรเนียส นอกจากนี้เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลและค่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ค่าคงที่ปฏิกิริยาของปฏิกิริยาไปข้างหน้ามีค่ามากขึ้น อย่างไรก็ตามค่าคงที่ปฏิกิริยาของปฏิกิริยาผันกลับมีค่าน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานก่อกัมมันต์สำหรับปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะลดลงจาก 50,745 เป็น 44,559 จูลต่อโมล สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้จนเหลือเพียงน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของน้ำมัน ภายในเวลา 120 นาที

Lucena และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดโอเลอิกกับเอทานอลโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้สภาวะที่มีการกำจัดน้ำออก โดยทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีระบบการดูดซับน้ำออกจากระบบที่มีการติดตั้งหอกลั่นทำให้สามารถนำเอทานอลกับมาใช้ใหม่ได้ ที่อุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดโอเลอิกต่อเอทานอลระหว่าง 1:3-1:9 และมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 0.5-1.0 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของสารตั้งต้น จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ระบบการดูดซับน้ำออกจากระบบส่งผลทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลและไปข้างหน้า และร้อยละผลได้จากการผลิตเอทิลเอสเทอร์อยู่ระหว่างร้อยละ 90.0-99.9 ภายหลังจากทำปฏิกิริยาแล้ว 60 นาที โดยสภาวะในการผลิตที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของกรดโอเลอิกต่อเอทานอลเท่ากับ 1:3 และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของสารตั้งต้น ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์มีข้อเสีย คือ เกิดการกัดกร่อนและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และกระบวนการในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ออกจากผลิตภัณฑ์ที่ยุ่งยาก และไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.3.2.3 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดของแข็งและปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

2.3.2.3.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดของแข็ง

Aafaqi และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดปาล์มิติกกับไอโซโพรพานอลโดยใช้กรดพาราทลูโลอีน ซัลฟิวริกและซิงค์ เอทาโนเอตมารองรับด้วยซิลิกาเจลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองในเครื่องแก้ว ที่อุณหภูมิ 373-443 เคลวิน (100-170 องศาเซลเซียส) ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเริ่มต้น 1-5 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 1–5 กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อลิตร และความเข้มข้นของน้ำที่ป้อนร้อยละ 1-15 โดย

ปริมาตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาข้างต้นเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดปาล์มิติกขึ้นกับอัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่สภาวะสมดุลเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น

Rattanaphra และคณะ [15] ได้ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟเคชันของกรดไมริสติกกับเมทานอลในไตรกลีเซอร์ไรด์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟตเซอร์โคเนีย โดยทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 393-443 เคลวิน (120-170 องศาเซลเซียส) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1-3 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลระหว่าง 1:4-1:20 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาข้างต้นเป็นปฏิกิริยาเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันอันดับสอง และค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 22.51 กิโลจูลต่อโมล

2.3.2.3.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดแลกเปลี่ยนไอออน มีจุดเด่นมากที่สุด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออน เนื่องจากมีข้อดีคือ ไม่ต้องมีกระบวนการกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ไม่เกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียง ไม่เปลืองพลังงาน เนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ และสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้

2.4 เรซินแลกเปลี่ยนไอออน [26]

โดยทั่วไป เรซินแลกเปลี่ยนไอออนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange resin) เป็นเรซินที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน เช่น –OH, -COOH, $-PO(OH)_2$ และ $-SO_3H$ เป็นต้น โดยทั่วไป เรซินชนิดนี้สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนบวกที่อยู่ใกล้เคียงในสารละลายได้ และสามารถเขียนปฏิกิริยาทั่วไปแสดงดังสมการ (2.2)

$$R^-A^+ + B^+ \rightleftharpoons R^-B^+ + A^+ \quad (2.2)$$

เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวก ไอออนบวกที่อยู่ในสารละลาย เรซินเมื่อแลกเปลี่ยนไอออนแล้ว ไอออนบวกที่เรซินปล่อยออกมา

นอกจากนี้ เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange resin) สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

2.4.1.1 เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกแบบกรดแก่ (Strong acid cation

exchanger) เป็นเรซินที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นกรดแก่ เช่น ซัลโฟนิก (SO_3H) ฟอสโฟนิก (H_2PO_4) อยู่ในโพลิเมอร์ เมื่อมีการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนจะหลุดออกจากเฟสของแข็งและเข้าไปอยู่ในเฟสของเหลว ในขณะเดียวกันไอออนที่อยู่ในเฟสของเหลวก็จะมาติดอยู่กับเฟสของแข็ง เรซินชนิดนี้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกแบบกรดอ่อน แต่การรีเจนเนอเรตจะทำได้ยากกว่า

Chan และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดเอดิพิกกับเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดแก่ ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 35 ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 313.2 - 343.2 เคลวิน ที่ความดันบรรยากาศ ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดโอเลอิกของการป้อนสารต่อเมทานอล เท่ากับ 15 และ 20 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น และค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดเอดิพิกเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของกรดโอเลอิกของการป้อนสารต่อเมทานอลสูงขึ้น

Tsai และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริเคชันของกรดโพรไพโอนิกกับเมทานอลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกแบบกรดแก่ ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 36 ทำการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดโพรไพโอนิกต่อเมทานอลที่สายป้อน 1-5 และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 313.15-333.15 เคลวิน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดโพรไพโอนิกเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น

2.4.1.2 เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกแบบกรดอ่อน (Weak acid cation exchanger) เป็นเรซินที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นกรดอ่อน เช่น หมู่คาร์บอกซิล (COOH) ติดอยู่กับพอลิเมอร์ เรซินชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมนำไปใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนมากเท่าเรซินชนิดกรดแก่ เนื่องจากมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำกว่า แต่มีข้อดีคือ สามารถทำการรีเจนเนอเรตได้ง่ายกว่า

2.4.2 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion – exchange resin) คือ เรซินที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน เช่น หมู่อะมิโน (- NH2) ทั้งปฐมภูมิ (Primary, 1°) ทุติยภูมิ (Secondary, 2°) และตติยภูมิ (Tertiary, 3°) และหมู่ ควอเทอร์นารี่แอมโมเนี่ยม (Quaternary ammonium group) ซึ่งสามารถจะทำปฏิกิริยากับไอออนลบจากสาร ละลายที่อยู่ใกล้เคียงได้เขียนปฏิกิริยาทั่วไปแสดงดังสมการ (2.3)

$$R^+A^- + B^- \rightleftharpoons R^+B^- + A^- \quad (2.3)$$

R^+A^-		B^-		R^+B^-		A^-
เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบ		ไอออนลบที่อยู่ในสารละลาย		เรซินเมื่อแลกเปลี่ยนไอออนแล้ว		ไอออนลบที่เรซินปล่อยออกมา

นอกจากนี้ เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion – exchange resin) สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

2.4.2.1 เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบแบบเบสแก่ (Strong basic anion exchanger) เป็นเรซินที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นเบสแก่ เช่น ควอเทอร์นารี่ เอมีน

Marchetti และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดปริมาณกรดไขมันอิสระกับเอทานอลโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบเบสแก่ 2 ชนิด ได้แก่ โดแวกซ์ โมโนสเฟียร์ 550 เอ (Dowex monosphere 550A) และ โดแวกซ์ อับคอร์ โมโน เอ-625 (Dowex upcore Mono A-625) โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเอทานอล ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและปริมาณกรดไขมันที่ป้อนร่วมกับน้ำมัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบเบสแก่ชนิด โดแวกซ์ โมโนสเฟียร์ 550 เอ ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยามากกว่า โดแวกซ์ อับคอร์ โมโน เอ-625 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิและอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเอทานอลสูงขึ้น ขณะที่การเพิ่มปริมาณของเรซินไม่มีผลกระทบต่อระบบมาก อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันเริ่มต้นมีปริมาณมากขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น นอกจากนี้การนำเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบกรดแก่ชนิด โดแวกซ์ โมโน สเฟียร์ 550 เอ มาใช้เร่งปฏิกิริยาใหม่ จำเป็นต้องผ่านการรีเจนเนอเรชันก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่

2.4.2.2 เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบแบบเบสอ่อน (Weak basic anion exchanger) เป็นเรซินที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นเบสอ่อน เช่น ไพรมารี่ เอมีน ($CH_2NH_2(CH3)^+$), เซเคิลดารี่ เอมีน ($CH_2NH(CH3)_2^+$) และเทอร์เชียรี่ เอมีน ($CH_2N(CH3)_3^+$) เป็นต้น

2.5 จลนพลศาสตร์ทางเคมี

หนังสือของ Levenspiel [28] กล่าวว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ โดยได้ผลิตภัณฑ์ คืออัลคิลเอสเทอร์และน้ำ โดยสามารเขียนอธิบายสมการทางเคมีได้ดังสมการ (2.4)

$$C_A + C_B \rightleftharpoons C_C + C_D \qquad (2.4)$$

โดยที่ C_A คือความเข้มข้นของกรดไขมัน, หน่วยเป็นโมลต่อลิตร

C_B คือความเข้มข้นของแอลกอฮอล์, หน่วยเป็นโมลต่อลิตร

C_c คือความเข้มข้นของอัลคิลเอสเทอร์, หน่วยเป็นโมลต่อลิตร

C_D คือความเข้มข้นของน้ำ, หน่วยเป็นโมลต่อลิตร

จลนพลศาสตร์ทางเคมีเป็นการศึกษากลไกและอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงโมลของสารตั้งต้นที่ถูกใช้ไปในปฏิกิริยาหรือจำนวณโมลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นต่อหน่วยเวลา สามารถเขียนอัตราเกิดปฏิริยาแสดงดังสมการ (2.5), (2.6)

กรณีปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์

$$r_A = \left(\frac{1}{V}\right)\frac{dN_A}{dt} = \left(\frac{1}{V}\right)d\frac{(CV)}{dt} = \frac{dC_A}{dt} \qquad (2.5)$$

กรณีปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง

$$r_A = \left(\frac{1}{W}\right)\frac{dN_A}{dt} = \left(\frac{1}{W}\right)d\frac{(CV)}{dt} = \left(\frac{V}{W}\right)\frac{dC_A}{dt} \qquad (2.6)$$

รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน

รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถแบ่งได้เป็น 4 รูปแบบดังนี้

- ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ
- ปฏิกิริยาอันดับสองแบบไม่ผันกลับ
- ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบผันกลับได้
- ปฏิกิริยาอันดับสองแบบผันกลับได้

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ

- ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์และเป็นปฏิกิริยาไม่ผันกลับ เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นน้อย จนถือว่าปฏิกิริยาเดินไปข้างหน้าเท่านั้น
- เนื่องจากมีการใช้เมทานอลในปริมาณที่มากเกินพอ จนกระทั่งถือว่าปริมาณเมทานอลไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแล้ว ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันขึ้นกับความเข้มข้นของกรดไขมันเท่านั้น ดังนั้นจึงถือว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

จาก

$$\underset{(A)}{\text{กรดไขมัน}} + \underset{(B)}{\text{เมทานอล}} \leftrightarrow \underset{(C)}{\text{เมทิลเอสเทอร์}} + \underset{(D)}{\text{น้ำ}} \qquad (2.7)$$

และ

$$-r_A = -\frac{dN_A}{dt}$$

ดังนั้น,

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A C_B - k_2 C_C C_D \qquad (2.8)$$

จากการสมมุติฐานข้างต้น, จะได้อัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

$$\ln\left(\frac{C_{A0}}{C_A}\right) = k_1 t \qquad (2.9)$$

ทำการหาค่า k_1 จากสมการ (2.9)

ปฏิกิริยาอันดับสองแบบไม่ผันกลับ

สมทราย [2] ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันปาล์มแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบกะ ที่อุณหภูมิต่างๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับสองแบบไม่ผันกลับ โดยมีการตั้งสมมุติฐาน ดังนี้

- ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์และเป็นปฏิกิริยาไม่ผันกลับ เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นน้อย จนถือว่าปฏิกิริยาเดินไปข้างหน้าเท่านั้น
- เนื่องจากเมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยาปฏิกิริยานี้ยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล ดังนั้น ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันขึ้นกับความเข้มข้นของกรดไขมันปาล์มและความเข้มข้นของเมทานอล ดังนั้นจึงถือว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง

จาก กรดไขมัน + เมทานอล $\leftrightarrow$ เมทิลเอสเทอร์ + น้ำ (2.10)

(A) (B) (C) (D)

และ $$-r_A = -\frac{dN_A}{dt}$$

ดังนั้น, $$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A C_B - k_2 C_C C_D \quad (2.11)$$

จากการสมมุติฐานข้างต้น, จะได้อัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A C_B \quad (2.12)$$

ทำการหาค่า k_1 จาก สมการ (2.13), (2.14)

เมื่อ $C_{A0} = C_B$ $$\ln\left(\frac{C_{A0}}{C_A}\right) = k_1 t \quad (2.13)$$

หรือ เมื่อ $C_{A0} \neq C_B$ $$\ln\left(\frac{M - x_A}{M(1 - x_A)}\right) = k_1 C_{A0}(m-1)t \quad (2.14)$$

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบผันกลับได้

- ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์และเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมาก จนถือว่าปฏิกิริยาสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้
- เนื่องจากมีการใช้เมทานอลในปริมาณที่มากเกินพอ จนกระทั่งถือว่าปริมาณเมทานอลไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแล้ว ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันขึ้นกับความเข้มข้นของกรดไขมันเท่านั้น ดังนั้นจึงถือว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

จาก กรดไขมัน + เมทานอล ↔ เมทิลเอสเทอร์ + น้ำ (2.15)

(A) (B) (C) (D)

และ $$-r_A = -\frac{dN_A}{dt}$$

ดังนั้น, $$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A C_B - k_2 C_C C_D \quad (2.16)$$

จากการสมมุติฐานข้างต้น, จะได้อัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A C_B - k_2 C_C C_D$$

ที่สภาวะสมดุล; $$-\frac{dC_A}{dt} = 0$$

$$-\frac{dC_A}{dt} = 0 = k_1 C_{Ae} - k_2 C_{Ce} C_{De} \quad (2.17)$$

ทำการหาค่า k_{eq} จาก $$k_{eq} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{C_{Ce} C_{De}}{C_{Ae}}$$

ทำการหาค่า k_1 จากสมการ (2.18)

$$-\ln\left[1-\left(\frac{x_A}{x_{Ae}}\right)\right] = -\ln\frac{\left(C_A - C_{Ae}\right)}{\left(C_{A0} - C_{Ae}\right)} = \left[\frac{(M+1)}{\left(M + x_{Ae}\right)}\right] k_1 t \quad (2.18)$$

ปฏิกิริยาอันดับสองแบบผันกลับได้

- ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์และเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมาก จนถือว่าปฏิกิริยาสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน ขึ้นกับความเข้มข้นของกรดไขมันและเมทานอลเท่านั้น ดังนั้นจึงถือว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง

จาก กรดไขมัน + เมทานอล ↔ เมทิลเอสเทอร์ + น้ำ (2.19)

(A) (B) (C) (D)

และ $$-r_A = -\frac{dN_A}{dt}\text{t}$$

ดังนั้น, $$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A C_B - k_2 C_C C_D \quad (2.20)$$

จากการสมมุติฐานข้างต้น, จะได้อัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_{Ae} C_{Be} - k_2 C_{Ce} C_{De} \qquad (2.21)$$

ที่สภาวะสมดุล;

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = 0$$

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = 0 = k_1 C_{Ae} C_{Be} - k_2 C_{Ce} C_{De} \qquad (2.22)$$

หาค่า k_{eq} จาก

$$k_{eq} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{C_{Ce} C_{De}}{C_{Ae} C_{Be}} \qquad (2.23)$$

หาค่า k_1 จาก

$$-\ln\left\{\frac{\left[x_{Ae} - \left(2x_{Ae} - 1\right)x_{Ae}\right]}{\left[x_{Ae} - x_A\right]}\right\} = 2k_1\left(\frac{w}{v}\right)\left[\left(\frac{1}{x_{Ae}}\right) - 1\right]C_{A0}t \qquad (2.24)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kamarudin และคณะ [29] ได้ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดปาล์มิติกในเมทานอลปริมาณมากเกินพอโดยใช้ไทโอนิวคลอไรด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.3-2.0 โดยน้ำหนักของกรดไขมัน อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 40-80 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันอันดับหนึ่ง ค่าคงที่ของปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของระบบนี้ มีค่าเท่ากับ 35.81 กิโลจูลต่อโมล

Tesser และคณะ [30] ได้ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดโอเลอิกกับเมทานอลในไตรกลีเซอไรด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออนโพลิเมอร์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาข้างต้นเป็นปฏิกิริยาเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันอันดับสอง

Alime และ Halit [31] ได้ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของการสังเคราะห์ไอโซบิวทิลโพรไพโอเนตโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 15 ทำการศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่อุณหภูมิ 318-348 เคลวิน (45-75 องศาเซลเซียส) โดยทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการสังเคราะห์ไอโซบิวทิลโพรไพโอเนต ได้แก่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าความ

ต้านทานการถ่ายเทมวลสารภายนอกระหว่างของแข็งกับของเหลวไม่มีผลต่อปฏิกิริยา เมื่อความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้น รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาเป็นปฏิกิริยาเสมือนเป็นเนื้อเดียวกัน ค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่สภาวะสมดุลในช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 318-348 เคลวิน (45-75 องศาเซลเซียส) มีค่าเท่ากับ 5.19 ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของการสังเคราะห์ไอโซบิวทิลโพรไพโอเนตโดยใช้ตัวเร่งเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 15 มีค่าเท่ากับ 52.03 กิโลจูลต่อโมล

Zubir และ Chin [32] ได้ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดโอเลอิกกับเอทานอลโดยใช้ทังสเตน เซอร์โคเนียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการศึกษาตัวแปรที่มีต่อปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่าง 0.5-1.5 กรัม อัตราส่วนโดยโมลของกรดโอเลอิกต่อเอทานอลระหว่าง 1:1- 1:5 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 30-50 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิกขึ้นกับอัตราส่วนโดยโมลของกรดโอเลอิกต่อเอทานอลและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิกเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของกรดโอเลอิกต่อเอทานอลและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาข้างต้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่างๆ อย่างละเอียด สามารถสรุปสภาวะการทดลองที่นำมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 60-90 องศาเซลเซียส โดยมีแนวทางการวิจัยจากผลงานวิจัยของ Park และคณะ [21]

บทที่ 3
อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

1. สารเคมี

1.1 กรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

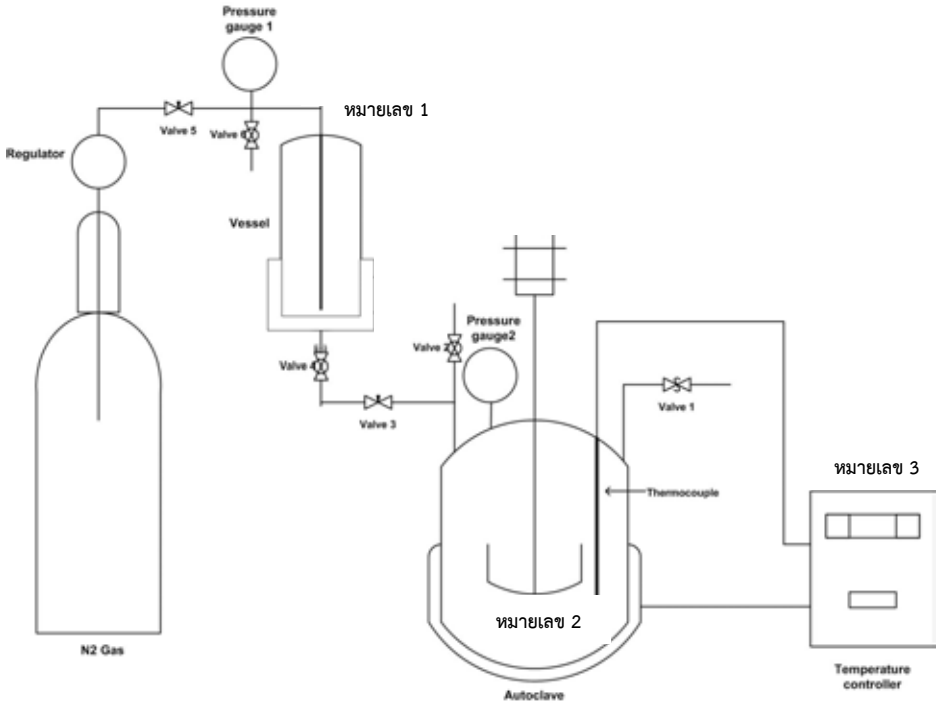
1.2 เมทานอล ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.0 และ 99.9

1.3 เอทานอล ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9

1.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

2. อุปกรณ์

2.1 ถังปฏิกรณ์แบบกะปริมาตร 2 ลิตร ทำจากสแตนเลสมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีหลายชนิด สามารถทนความดันได้สูงสุด 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วและทนอุณหภูมิได้สูงสุด 400 องศาเซลเซียส มีการเชื่อมต่อกับชุดป้อนแอลกอฮอล์ (หมายเลข 1) เข้าสู่ถังปฏิกรณ์แบบกะ (หมายเลข 2) และชุดควบคุมอุณหภูมิ (หมายเลข 3) เพื่อทำหน้าที่ปรับและควบคุมอุณหภูมิแก่เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ใช้ในการทดลอง [1]

ขั้นตอนวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. สารเคมี

1.1 เฮกเซน ที่มีความบริสุทธิ์เทียบเท่ากับระดับอุตสาหกรรม

1.2 เมททิลไอโซบิวทิวคีโตน ที่มีความบริสุทธิ์เทียบเท่ากับระดับห้องปฏิบัติการ

1.3 เมทานอล ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.0

1.4 เอทานอล ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9

1.5 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

1.6 กรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน ความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 โมลาร์

1.7 ฟีนอล์ฟทาลีน

1.8 ทูโลอีน

1.9 ไอโซโพรพานอล

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องมือแก๊สโครมาโตรกราฟ

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์บีดี 20

3.2.1.1 ชั่งน้ำหนักเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์คิดเป็น ร้อยละ 20 ของน้ำหนักกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

3.2.1.2 ปรับค่าพีเอช (pH) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ด้วยการแช่ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ในน้ำที่ไม่มีไอออน (Deionized Water) แล้วทำการวัดค่าพีเอช (pH) ของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20ทำซ้ำจนกระทั่งค่าพีเอช (pH) มีค่าคงที่ประมาณ 5

3.2.1.3 นำตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ผ่านการปรับค่าพีเอช (pH) แล้ว ลงในขวดที่บรรจุเมทานอลหรือเอทานอล เพื่อให้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 พร้อมสำหรับการใช้งาน

3.2.2 ขั้นตอนการทำการทดลอง

3.2.2.1 ชั่งกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว และแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนที่ต้องการ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 จากนั้นทำการให้ความร้อนแก่กรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว เพื่อให้มีสถานะเป็นของเหลวพร้อมสำหรับทำการทดลอง

3.2.2.2 บรรจุตะกร้าสแตนเลสที่มีเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 บรรจุอยู่ภายในลงในถังปฏิกรณ์แบบกะ (หมายเลข 2)

3.2.2.3 เทกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เตรียมไว้ลงในถังปฏิกรณ์แบบกะ จากนั้นทำการอัดความดันประมาณ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อไล่อากาศทั้งหมดออกจากเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

3.2.2.4 เทแอลกอฮอล์ที่เตรียมไว้ลงในถังเก็บแอลกออฮอล์ (หมายเลข 1) และทำการอัดความดันประมาณ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อไล่อากาศทั้งหมดออกจากระบบ จากนั้นทำการอัดความดันประมาณ 120 ปอนด์ต่อตารางนิ้วลงในถังเก็บแอลกอฮอล์อีกครั้ง

3.2.2.5 ทำการตั้งค่าต่างๆ ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ได้แก่ อุณหภูมิและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ ตามสภาวะการทดลองต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.2.2.6 เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ตรงตามสภาวะที่ใช้ในการทดลอง (หมายเลข 3) แล้วทำการเปิดวาว์ลเพื่อป้อนแอลกอฮอล์ทั้งหมดลงในเครื่องปฏิกรณ์ และทำการปรับความดันเครื่องปฏิกรณ์ให้ได้ค่า 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

3.2.2.7. ทำการเก็บสารตัวอย่างในนาทีที่ 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 360, 420 และ 480 ตามลำดับ โดยเก็บสารตัวอย่าง ครั้งละประมาณ 4 มิลลิลิตร และทำการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างทุกครั้ง และก่อนการเก็บตัวอย่างทุกครั้งต้องทำการเก็บสารตัวอย่างทิ้ง ครั้งละประมาณ 5 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดปัญหาสารสะสมที่ค้างอยู่ภายในท่อ โดยมีปริมาตรของสารตั้งต้นในถังปฏิกรณ์ 1000 มิลลิลิตร

3.2.2.8 นำสารตัวอย่างที่ได้มาทำวิเคราะห์โดยวิธีการต่างๆ ดังนี้

3.3.2.8.1 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เหลืออยู่ในสารตัวอย่างโดยวิธีการไตเตรท ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Cd 3D-63

3.2.2.8.2 ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลองที่บางสภาวะ โดยเทคนิคแก๊สโครมาโตรกราฟฟี (GC)

3.2.2.8.3 ทำการวิเคราะห์หาน้ำที่เกิดขึ้นของสารตัวอย่างได้จากการทดลองที่บางสภาวะ โดยวิธีการไตเตรทแบบคาร์ล ฟิชเชอร์ (Karl Fischer Titration)

3.2.2.9 ทำการแปรผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะการทดลอง

สภาวะการทดลอง	
สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง	
- ชนิดของกรดไขมัน	กรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
- ขนิดของแอลกอฮอล์	เมทานอลและเอทานอล
ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20
ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง (ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว)	20
ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ (รอบต่อนาที)	50, 100, 200, 400 และ 600
อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันต่อแอลกอฮอล์	
- กรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล	1:1 1:2 1:4 1:8 1:10 และ 1:12
- กรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล	1:1 1:2 1:4 1:8 1:12 1:14 1:16 1:18 และ 1:20
อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	60 70 80 และ 90
ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	100
เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	480

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.3.1 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติและองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

3.3.1.1 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานต่างๆ ดังนี้

- ค่าความเป็นกรด (Acid Value) วิเคราะห์หาค่าได้โดยวิธีการไตเตรท ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Cd 3d-63 ดังแสดงในภาคผนวก ก
- ค่าสปอนนิฟิเคชัน (Saponification Value) วิเคราะห์หาค่าได้โดยวิธีการไตเตรท ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Cd 3b-76 ดังแสดงในภาคผนวก ก

- มวลโมเลกุลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดและค่าสปอนนิฟิเคชัน ดังแสดงในภาคผนวก ก

- ความหนาแน่น วิเคราะห์โดยใช้ขวดความถ่วงจำเพาะแบบ Gray lussac pycnometer

3.3.1.2 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยเทคนิคแก๊สโครโมโตรกราฟฟี (GC) ดังแสดงในภาคผนวก ข

3.3.2 การวิเคราะห์หาสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง

3.3.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในสารตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เหลือจากทำปฏิกิริยาในสารตัวอย่างโดยวิธีการไตเตรท ตามวิธีมาตรฐาน AOCS Cd 3D-63 โดยแสดงในรูปค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยมีวิธีการคำนวณและผลการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ค, ฉ และ ช

3.3.2.2 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลองที่บางสภาวะ โดยเทคนิคแก๊สโครโมโตรกราฟฟี (GC) ดังแสดงในภาคผนวก ง, จ

3.4 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Experimental Error and Analysis Error)

3.4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง (Experimental Error)

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง (Experimental Error) คือ ค่าที่บ่งบอกความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของการทำการทดลองในแต่ละครั้ง

การหาค่าคลาดเคลื่อนจากการทดลอง สามารถหาค่าได้จากการคำนวณหาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยตามสมการ (3.1), (3.2)

ค่าเฉลี่ย, $$\bar{X} = \sum \frac{\bar{X}}{n} \qquad (3.1)$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย, $$= \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} \qquad (3.2)$$

โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นนำข้อมูลการทดลองที่ได้แทนลงในสมการ (3.1), (3.2)

งานวิจัยนี้เลือกทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว, อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบของเครื่องปฏิกรณ์ 100 รอบต่อนาที ผลการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

เวลา (นาที)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว					
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย
0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	1.99
5	4.9	5.2	6.2	5.44	0.59	
10	7.2	8.7	11.5	9.13	1.76	
15	18.4	11.0	14.0	14.46	3.04	
30	24.7	17.3	22.6	21.56	3.11	
45	31.5	26.6	29.4	29.13	1.99	
60	38.4	36.7	39.0	38.05	0.98	
120	54.7	50.3	54.6	53.19	2.05	
180	74.5	76.0	71.9	74.13	1.71	
240	82.7	85.0	79.1	82.27	2.41	
300	85.3	87.8	82.5	85.22	2.20	
360	91.6	94.4	87.7	91.24	2.72	
420	94.5	92.3	85.9	90.89	3.66	
480	92.9	96.2	92.6	93.90	1.63	

ผลของค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองสูงสุดและค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 3.66 และร้อยละ 1.99 ตามลำดับ

3.4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Analysis Error)

การหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง มีขั้นตอนการคำนวณเช่นเดียว

กับค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง โดยทำการไตเตรทซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นนำข้อมูลการทดลองที่ได้แทนลงในสมการ (3.1), (3.2)

งานวิจัยนี้เลือกทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารานิ้ว, อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที ผลการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เวลา (นาที)	**ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว**					
	การไตเตรท ครั้งที่ 1	**การไตเตรท ครั้งที่ 2**	**การไตเตรท ครั้งที่ 3**	**ค่าเฉลี่ย**	**ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	**ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย**
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70
5	11.97	6.58	9.73	9.43	2.21	
10	11.81	11.35	14.88	12.68	1.57	
15	13.57	18.09	17.82	16.49	2.07	
30	28.07	20.67	30.65	26.46	4.23	
45	37.23	34.97	49.03	40.41	6.16	
60	49.72	52.10	51.68	51.17	1.04	
120	71.62	72.42	72.61	72.21	0.43	
180	80.17	84.48	85.55	83.40	2.32	
240	88.10	90.28	90.57	89.65	1.11	
300	93.85	96.57	94.06	94.83	1.24	
360	97.54	94.77	95.40	95.91	1.19	
420	97.67	97.36	97.63	97.55	0.13	
480	97.58	97.71	97.63	97.64	0.06	

ผลของค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ผลการทดลองสูงสุดและค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ผลการทดลองเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 6.16 และ ร้อยละ 1.70 ตามลำดับ

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ทำการทดลองตามสภาวะการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1 เพื่อทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันและศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยละเอียด ดังแสดงในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติและองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

4.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

4.2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.2 ผลกระทบของความบริสุทธิ์ของเมทานอล (ร้อยละ 98.0 และ 99.9) มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.2.3 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.2.4 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.2.5 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.2.6 ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.2.7 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

4.3.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3.2 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.3.3 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อ

เอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.3.4 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.3.5 ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.3.6 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.4 ผลกระทบของชนิดของแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

4.4.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.4.1 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.4.2 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.4.4 ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

4.4.5 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิต์ บีดี 20

4.1 ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติและองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

การวิเคราะห์คุณสมบัติของกรดไขมันที่กลั่นจากน้ำมันมะพร้าว สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติต่างๆ ของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

คุณสมบัติของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว	
ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมของโพแทสเซียมต่อกรัมของสารตัวอย่าง)	269.78
ค่าสปอนนิฟิเคชัน (มิลลิกรัมของโพแทสเซียมต่อกรัมของสารตัวอย่าง)	271.21
มวลโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	206.82
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.7814

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวอาศัยเทคนิคแก๊สโครมาโตรกราฟฟี (GC) ดังแสดงในภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว ดังแสดงในตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า สารตั้งต้นที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นเป็นสารผสม โดยมีจำนวนคาร์บอนอะตอมของกรดไขมันในช่วงระหว่าง 8 - 18 อะตอม

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบต่างๆ ของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

องค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว	**จำนวนคาร์บอนอะตอม**	**ร้อยละขององค์ประกอบ**
กรดคาร์ไพริก	8:0	0.49
กรดคาร์พริก	10:0	2.88
กรดลอริก	12:0	56.48
กรดไมริสติก	14:0	22.84
กรดปาล์มิติก	16:0	10.25
กรดสเตียริก	18:0	2.24
กรดโอเลอิก	18:1	4.45
กรดลิโนเลอิก	18:2	0.37

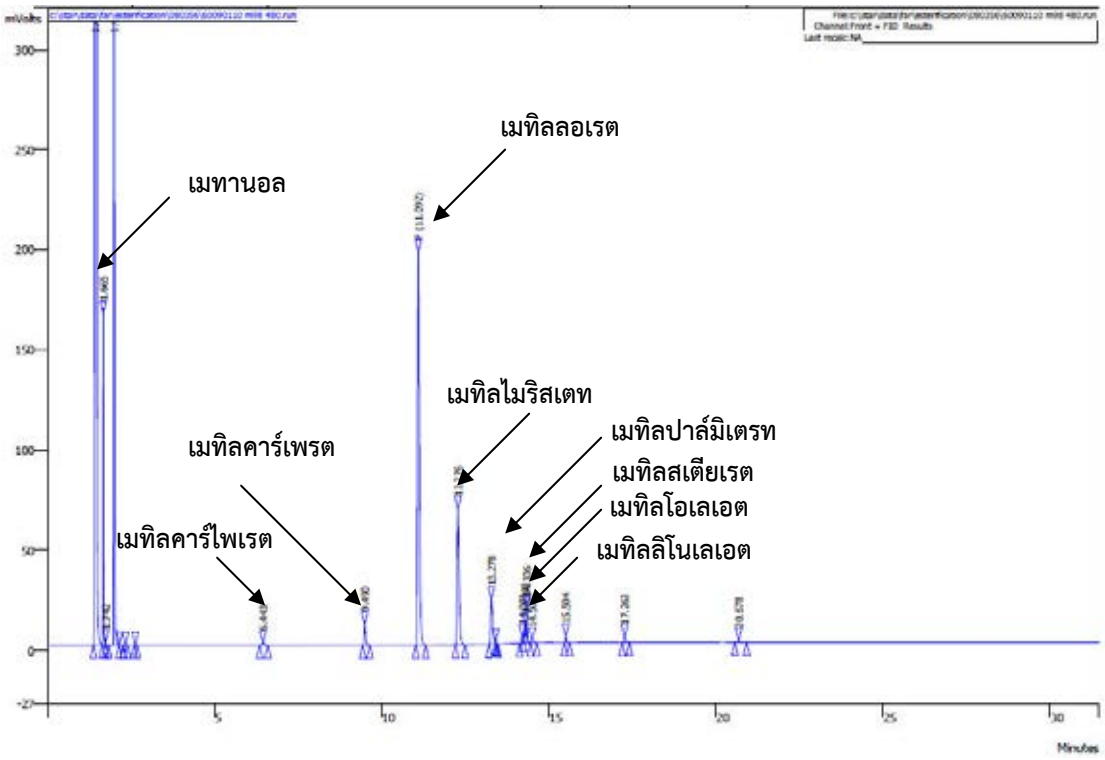
4.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

4.2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที และทำการเก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาสารที่เกิดขึ้นในสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง โดยอาศัยเทคนิคแก๊สโครมาโตรกราฟฟี (Gas Chromatography) ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่าง โดยวิธีการไตเตรทแบบคาร์ล ฟิชเชอร์ (Karl Fischer Titration) และทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่

เหลืออยู่ในสารตัวอย่าง โดยวิธีการไตเตรทตามวิธีมาตรฐาน Cd-3d-63 ตามลำดับ

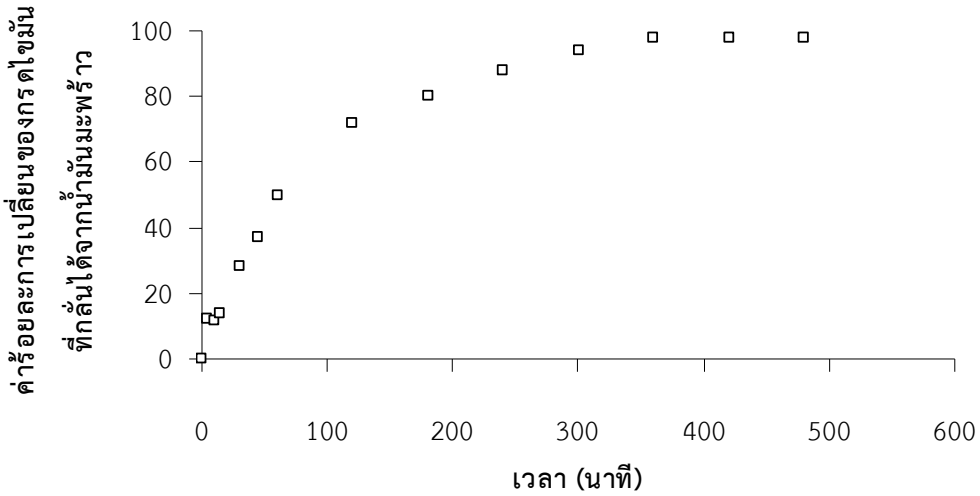
เมื่อทำการวิเคราะห์หาสารที่เกิดขึ้นในสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลองโดยอาศัยเทคนิคแก๊สโครมาโตรกราฟฟี (Gas Chromatography) ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ที่อยู่ในสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า สารที่พบในปฏิกิริยานี้ คือ เมทานอลและเมทิลเอสเทอร์โดยไม่พบสารชนิดอื่นเกิดขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างโดยวิธีการไตเตรทแบบคาร์ล ฟิชเชอร์ (Karl Fischer Titration) ผลการการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า มีน้ำเกิดขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาที่ทำการศึกษานี้ไม่มีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้น

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เหลืออยู่ในสารตัวอย่าง โดยวิธีการไตเตรทตามวิธีมาตรฐาน Cd-3d-63 ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรกปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยสังเกตได้จากค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และที่เวลา 300 นาทีเป็นต้นไป ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวค่อนข้างคงที่และมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 100 แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวเข้าสู่สภาวะสมดุล และเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา ปริมาณของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวยังคงเหลืออยู่ในระบบ จึงสามารถสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยสามารถเขียนรูปแบบสมการทางเคมีแสดงได้ดังสมการ (4.1)

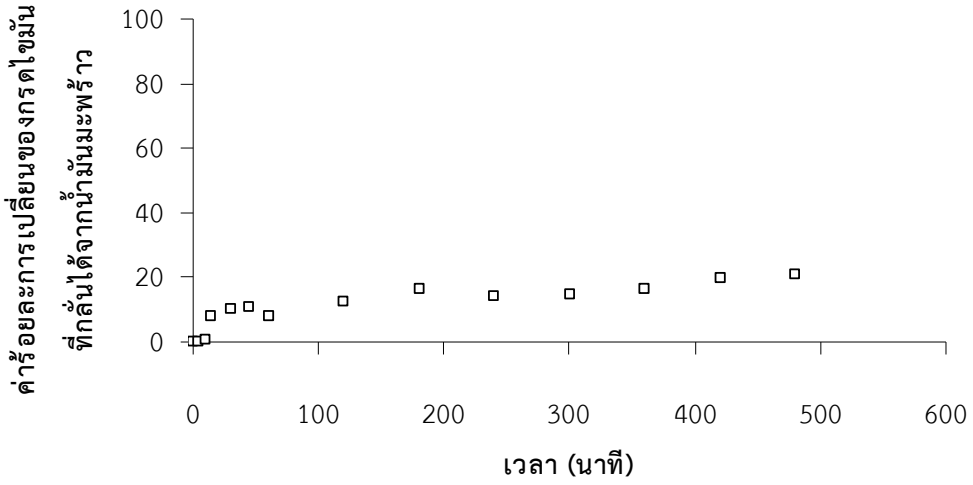
Coconut Fatty acid distillate + Methanol ↔ Methyl Ester + water (4.1)

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Berrios และคณะ [11] ที่ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของกรดไขมันอิสระในน้ำมันทานตะวันกับเมทานอลโดยใช้กรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาประเภทนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ และ Tesser และคณะ [29] ที่ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดโอเลอิกกับเมทานอล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาประเภทนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้อันดับหนึ่ง

นอกจากนี้เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่า ปฏิกิริยานี้เกิดได้ดีเมื่อมีการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 จึงทำการศึกษาผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลสิต์ บีดี

20 และโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

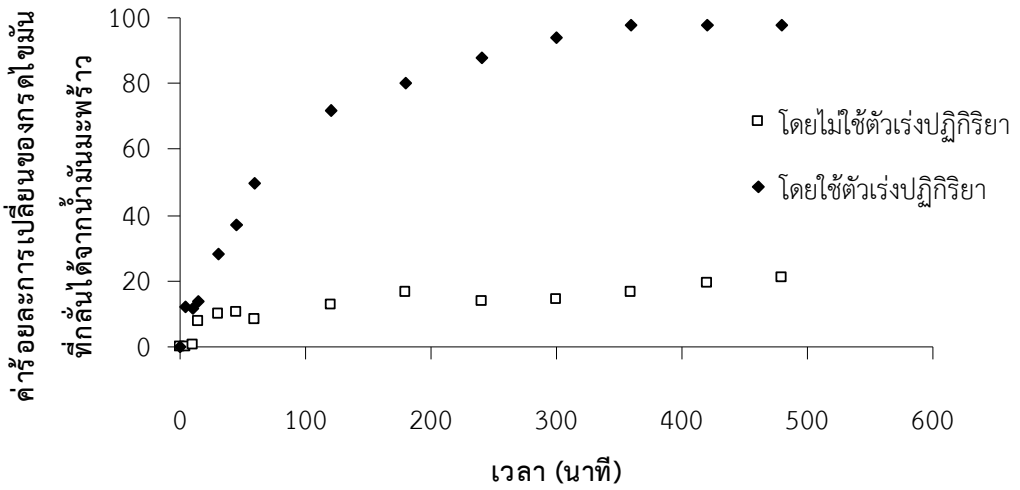
การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เลือกทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอลเกิดได้แม้ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาเกิดได้ในปริมาณน้อย โดยสังเกตได้จากค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เวลา 120 นาที มีค่าเท่ากับ 12.44

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดได้ดีกว่าปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างมีนัยสำคัญ โดยให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวของปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 120 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 120 นาที

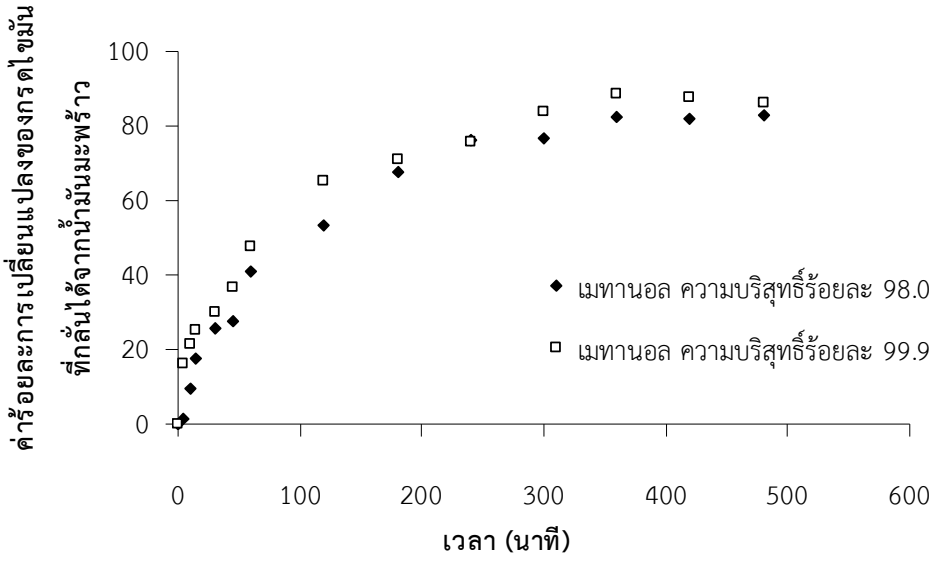
ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอล	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เวลา 120 นาที
โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	71.62
โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	12.44

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดได้ดีกว่าปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูง

และเหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

4.2.2 ผลกระทบของความบริสุทธิ์ของเมทานอล (ร้อยละ 98.0 และ 99.9) ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ผลกระทบของความบริสุทธิ์ของเมทานอลจึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษาผลกระทบของความบริสุทธิ์ของเมทานอล (ร้อยละ 98.0 และ 99.9) โดยเลือกทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 600 รอบต่อนาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5

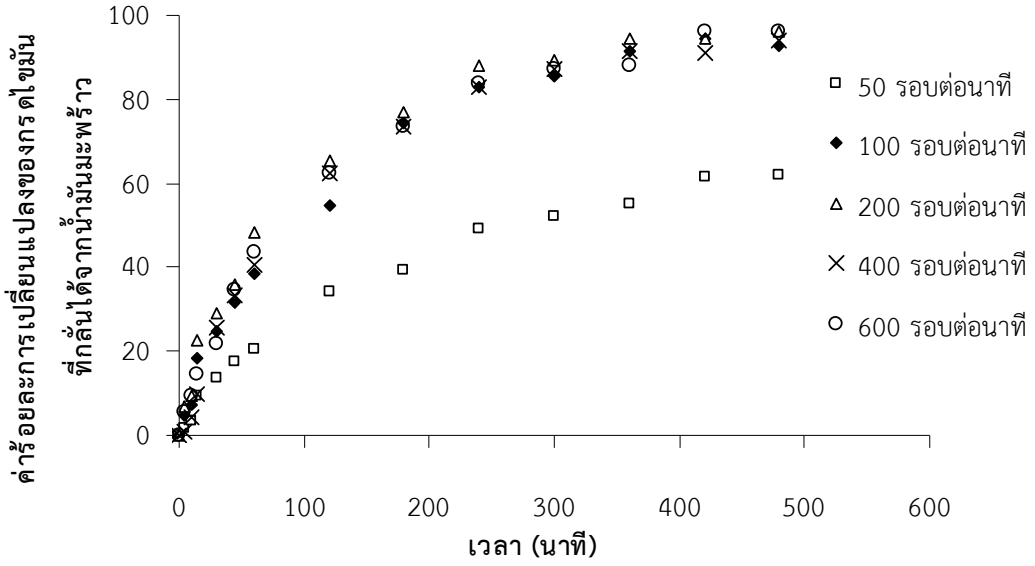


รูปที่ 4.5 ผลกระทบของความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ผลกระทบของความบริสุทธิ์ของเมทานอลไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยสังเกตจากค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.0 เพื่อใช้สำหรับการศึกษาผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองถัดไป

4.2.3 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ทำการศึกษานี้จึงขึ้นกับอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกและปฏิกิริยาทางเคมี ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์จึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากความเร็วรอบในการกวนของปฏิกิรณ์มีผลกระทบต่ออิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอก และการเพิ่มความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์สามารถลดอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกได้ และมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาน้อยมากจนสามารถละอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกได้ ทำให้สารในระบบสามารถไหลผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาได้มากขึ้น มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเป็นขั้นควบคุมปฏิกิริยาของปฏิกิริยา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษาผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ โดยเลือกทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง 50-600 รอบต่อนาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6



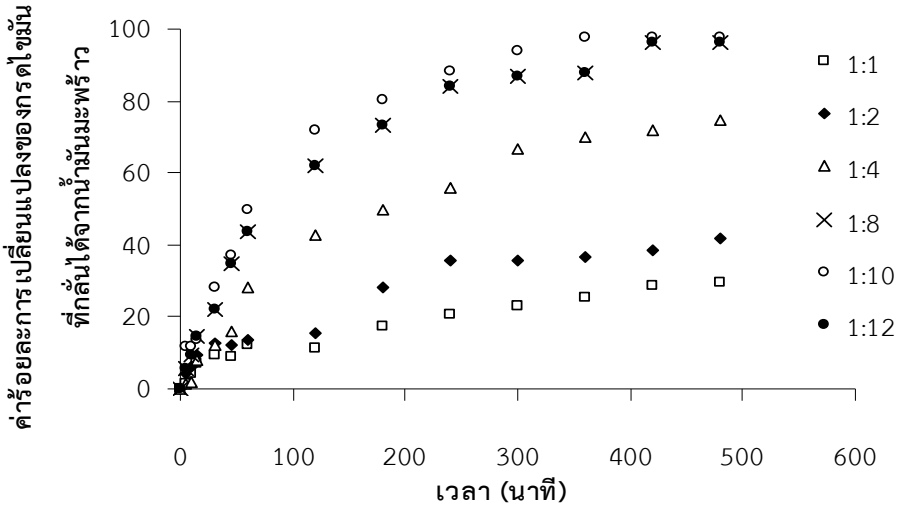
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ที่ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 50 รอบต่อนาที ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่ำกว่าที่ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์อื่นๆ และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์มากกว่า100 รอบต่อนาทีเป็นต้นไป ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวมีค่าใกล้เคียงกัน ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวขึ้นกับความเร็วรอบในการกวนของปฏิกิริยา ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบในการกวนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์มากกว่า 100 รอบต่อนาที ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ไม่มีผลต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว แสดงให้เห็นว่า ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าว สามารถลดอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกได้ เนื่องจากค่าความต้านทานของการถ่ายเทมวลสารไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับปฏิกิริยาทางเคมีเป็นหลัก (อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเป็นขั้นควบคุมปฏิกิริยาของปฏิกิริยา) ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับ Delgado และคณะ [33] ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์มากกว่า 185 รอบต่อนาทีเป็นความเร็วรอบที่ทำให้ค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลสารมีค่าน้อยมากจนไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีเพื่อใช้สำหรับการศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองถัดไป

4.2.4 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

ผลการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังแสดงในหัวข้อ 4.2.1 แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาที่ทำการศึกษานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลจึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล โดยเลือกทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล ได้แก่ 1:1 1:2 1:4 1:8 1:10 และ 1:12 ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7 และตารางที่

4.4



รูปที่ 4.7 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรกปฏิกิริยาเกิดได้ดี โดยสังเกตได้จากค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวมีการเปลี่ยนแปลงอย่างอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเวลาผ่านไปค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวค่อนข้างคงที่ ณ เวลาหนึ่ง ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวขึ้นกับอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล โดยค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลมีผลต่อสภาวะสมดุลของปฏิกิริยา ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลต่างๆ

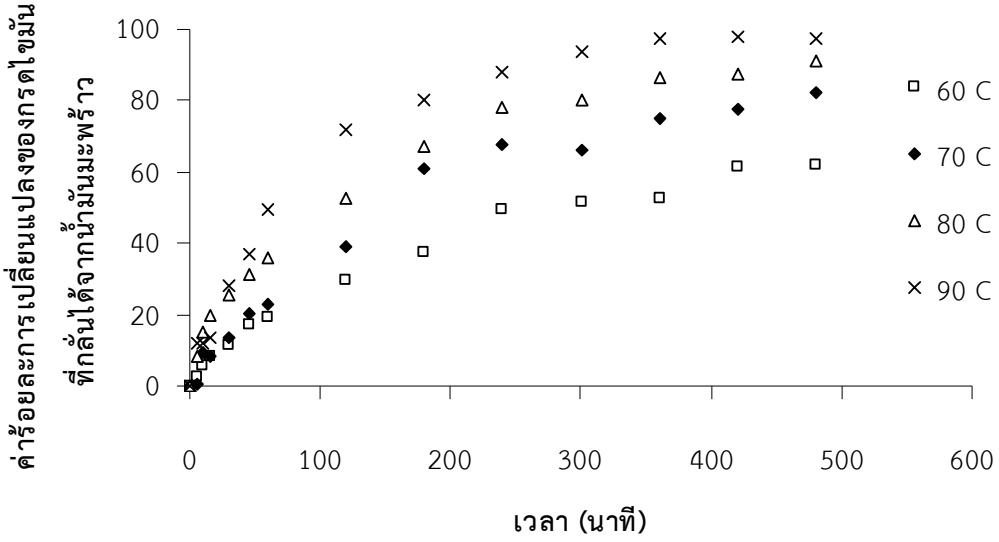
อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยา
1:1	29.39
1:2	41.57
1:4	74.72
1:8	96.24
1:10	97.58
1:12	95.61

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลเพิ่มขึ้น การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวสูงขึ้นมีผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดดีขึ้น เนื่องจากปริมาณของเมทานอลที่มากเกินพอเป็นการผลักปฏิกิริยาไปข้างหน้า ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นจากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลมากกว่า 1:10 ปริมาณของเมทานอลไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับ Sanz และคณะ [18] ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดแลกติกกับเมทานอลโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออน 4 ชนิดและศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์รฟิเคชัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล1:10 เพื่อใช้สำหรับการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองถัดไป

4.2.5 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้

ในการทำปฏิกิริยาจึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรกของปฏิกิริยาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไปค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา หลังจากนั้นค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวค่อนข้างคงที่ ณ เวลาหนึ่ง แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวเข้าสู่สภาวะสมดุล ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่ทำการศึกษานี้เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับความรู้เชิงทฤษฎี

นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยายังส่งผลต่อสภาวะสมดุลของปฏิกิริยา โดยสังเกตจากค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยา ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

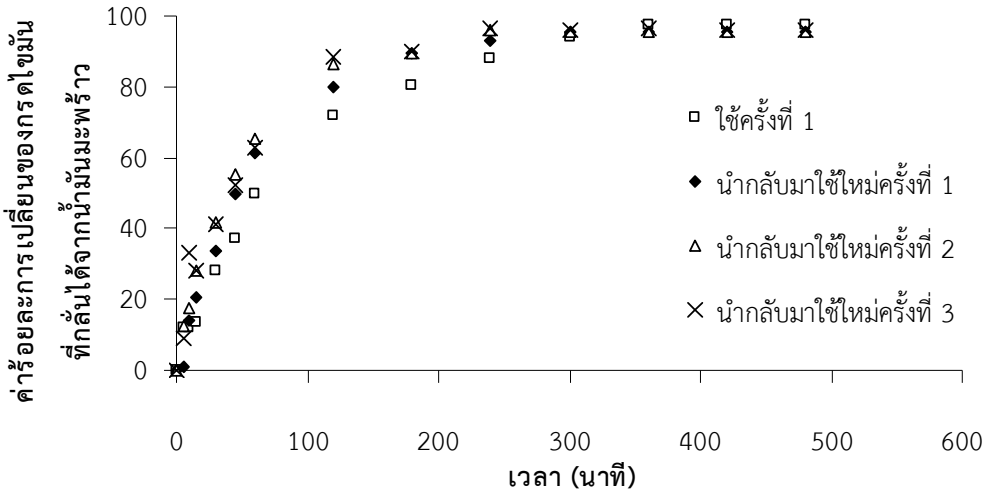
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยา
60	62.15
70	82.32
80	91.24
90	97.58

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาสามารถเกิดดีขึ้น

เมื่อทำการพิจาณาค่าความชันในช่วงแรกของกราฟในรูปที่ 4.8 พบว่า ค่าความชันในช่วงแรกของปฏิกิริยามากขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาเกิดเร็วยิ่งขึ้น

4.2.6 ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

ผลการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว แสดงให้เห็นว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสำหรับปฏิกิริยาที่ทำการศึกษานี้ ดังแสดงอยู่ในหัวข้อ 4.2.1 และมีจุดเด่นคือสามารถแยกออกจากระบบง่ายและนำมากลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นจึงมีความสนใจศึกษาผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ โดยทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.9 ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เวลาต่างๆ ค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่ามีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง โดยสังเกตได้จากค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยา ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่

การนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่	**ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยา**
ใช้ครั้งแรก	97.58
การนำกลับมาใช้ใหม่ ครั้งที่ 1	95.37
การนำกลับมาใช้ใหม่ ครั้งที่ 2	95.53
การนำกลับมาใช้ใหม่ ครั้งที่ 3	96.04

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ถึงแม้ว่ามีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะกับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Park และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณสูงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์แอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาสูง และความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาลดลงเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 และ Feng และคณะ [34] ได้ทำการศึกษาการการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก 3 ชนิด ได้แก่ เอนเคซี 9 001×7 และ ดี 61 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา เอนเคซี 9 มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ และสามาถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง

4.2.7 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

4.2.7.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate constant)

ผลการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ข้างต้นดังแสดงในหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.5 แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้และดูดความร้อน

งานวิจัยนี้เลือกทำการศึกษารูปแบบจลพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ในช่วงแรกของปฏิกิริยา โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ที่สภาวะความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที โดยปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาสามารถเขียนรูปแบบสมการทางเคมีของปฏิกิริยา แสดงได้ดังสมการ (4.1)

$$\underset{(A)}{\text{Coconut Fatty acid distillate}} + \underset{(B)}{\text{Methanol}} \leftrightarrow \underset{(C)}{\text{Methyl Ester}} + \underset{(D)}{\text{water}} \qquad (4.1)$$

และสามารถเขียนสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา (Levenspiel, 1999) แสดงได้ดังสมการ (4.2)

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k_1\left(\frac{W}{V}\right)C_A C_B - k_2\left(\frac{W}{V}\right)C_C C_D \qquad (4.2)$$

ในการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยานี้ ทำการพิจารณาเฉพาะช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากในช่วงแรกของปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นในปริมาณน้อยมาก (ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว ประมาณร้อยละ 30) จนถือได้ว่า ไม่มีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเลย มีเพียงสารตั้งต้นอยู่ในระบบเท่านั้น ดังนั้นจึงตั้งสมมุติฐานได้ว่า ปฏิกิริยาที่ทำการศึกษานี้เป็นปฏิกิริยาแบบไม่ผันกลับ และสามารถเขียนสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา แสดงได้ดังสมการ (4.3)

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k'\left(\frac{W}{V}\right)C_A C_B \qquad (4.3)$$

และเนื่องจากในการทดลอง มีการใช้เมทานอลในปริมาณที่มากเกินพอ จนกระทั่งปริมาณของเมทานอลไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา (เพื่อทำให้ปฏิกิริยาผลักไปข้างหน้า) ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงขึ้นกับค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเท่านั้น โดยสามารถลดรูปค่าความเข้มข้นของเมทานอลให้กลายเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งได้ และนำค่าความเข้มข้นของเมทานอลสามารถรวมเข้ากับค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) จะได้ค่าคงที่ของปฏิกิริยาใหม่ $\left(k'\right)$ และสามารถเขียนสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา แสดงได้ดังสมการ (4.4)

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k'\left(\frac{W}{V}\right)C_A \qquad (4.4)$$

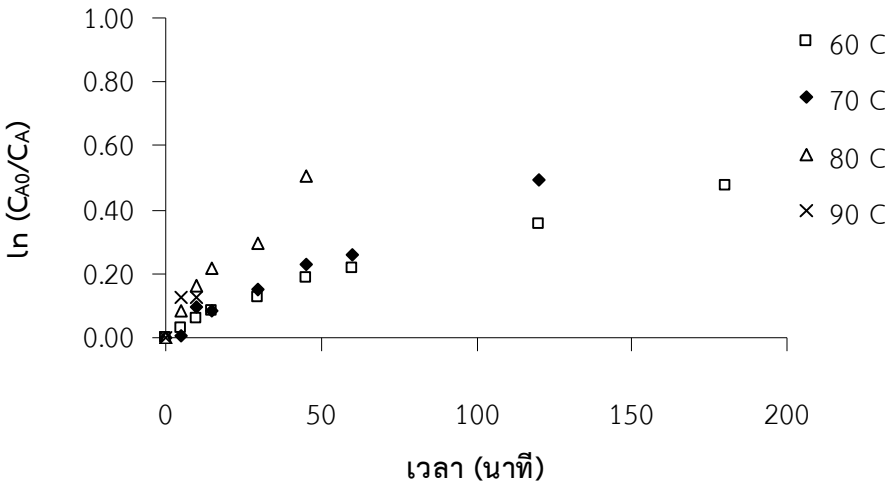
ผลการศึกษาข้างต้น จะได้ว่า รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ

4.2.7.2 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Rate Constant)

ค่าคงที่ของปฏิกิริยา $\left(k'\right)$ สามารถคำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยทำการอินทิเกรตสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา จะได้รูปแบบสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาแสดงได้ดังสมการ (4.5)

$$\ln\left(\frac{C_{Ao}}{C_A}\right) = k'\left(\frac{W}{V}\right)t \qquad (4.5)$$

หลังจากนั้น ทำการสร้างกราฟเส้นตรงเพื่อใช้สำหรับหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา โดยอาศัยค่าความชันของกราฟเส้นตรงข้างต้น ผลการคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.10 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.7 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	**ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k')**
60	0.042
70	0.063
80	0.126
90	0.159

ผลการคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าค่าคงที่ของปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยค่าคงที่ของปฏิกิริยาสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่ทำการศึกษาสามารถเกิดได้เร็วขึ้น และผลการทดลองในหัวข้อนี้มีความสอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.5 แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่ทำการศึกษาเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับความรู้เชิงทฤษฎี และ Alime และ Halit [31] ได้ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของการสังเคราะห์ไอโซบิวทิลโพรไพโอเนตโดยใช้ตัวเร่งเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 15 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าคงที่ของปฏิกิริยาแปรผันตามอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

4.2.7.3 ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Activation Energy)

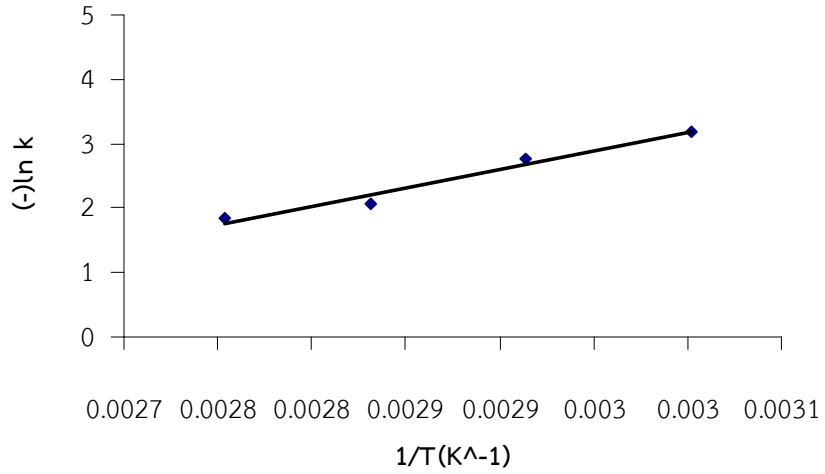
ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาสามารถหาค่าได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของสมการอาร์ริเนียส แสดงได้ดังสมการ (4.6)

$$k = Ae^{-\frac{E_A}{RT}} \tag{4.6}$$

และทำการอินทิเกรตสมการอาร์ริเนียสข้างต้น จะได้รูปแบบสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาแสดงได้ดังสมการ (4.7)

$$\ln k = \ln A - \frac{E_A}{RT} \tag{4.7}$$

หลังจากนั้น ทำการสร้างกราฟเส้นตรงเพื่อใช้สำหรับหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา โดยใช้ค่าความชันของกราฟเส้นตรง ผลการคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

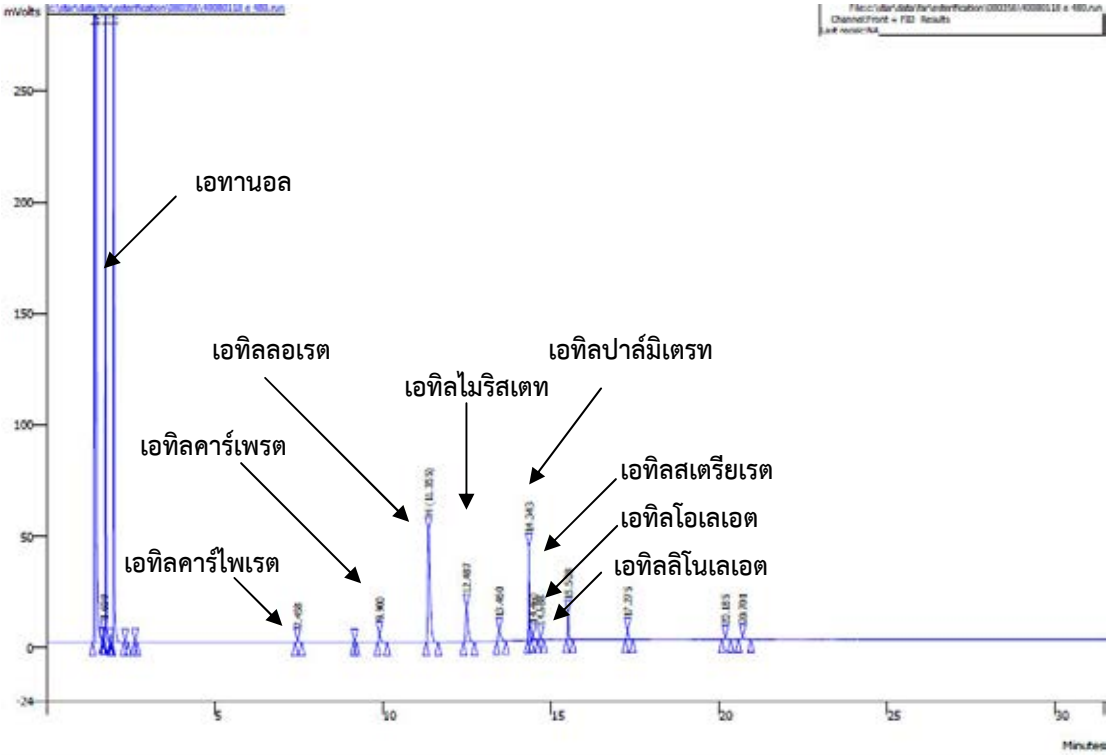
ผลการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าเท่ากับ 47.49 กิโลจูลต่อโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว ผลการทดลองสอดคล้องกับ Alime และ Halit [31] ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของการสังเคราะห์ไอโซบิวทิลโพรไพโอเนตโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ 15 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 52.03 กิโลจูลต่อโมล

4.3 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

4.3.1 ปฏิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ในกรณีศึกษาของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเอทานอลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เลือกทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที และเก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาสารที่เกิดขึ้นในสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง ทำการวิเคราะห์หาน้ำภายในสารตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เหลืออยู่ในสารตัวอย่าง โดยอาศัยเทคนิคเดียวกับการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ได้จากการทดลองของปฏิกิริยาของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

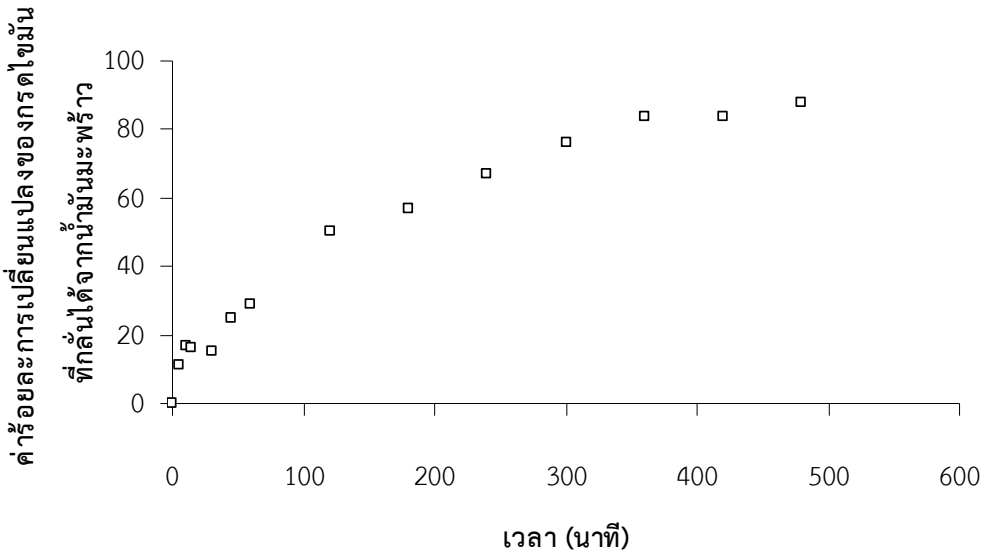
เมื่อทำการวิเคราะห์หาสารที่เกิดขึ้นในสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลองโดยอาศัยเทคนิคแก๊สโครมาโตรกราฟฟี (Gas Chromatography) ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 โครมาโตแกรมของเอทิลเอสเทอร์ที่อยู่ในสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า สารที่พบในปฏิกิริยาดังกล่าว ได้แก่ เอทานอลและเอทิลเอสเทอร์ เมื่อทำการวิเคราะห์สารตัวอย่าง โดยอาศัยเทคนิคเดียวกับการวิเคราะห์ผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว ผลการการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า มีน้ำเกิดขึ้น ผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี แสดงให้เห็นว่า สารที่พบในปฏิกิริยานี้ คือ เอทานอล เอทิลเอสเทอร์และน้ำ โดยไม่พบสารชนิดอื่นเกิดขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาที่ทำการศึกษานี้เป็นปฏิกิริยาเดียวและไม่มีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้น

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เหลืออยู่ในสารตัวอย่าง โดยวิธีการไตเตรทตามวิธีมาตรฐาน Cd-3d-63 ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

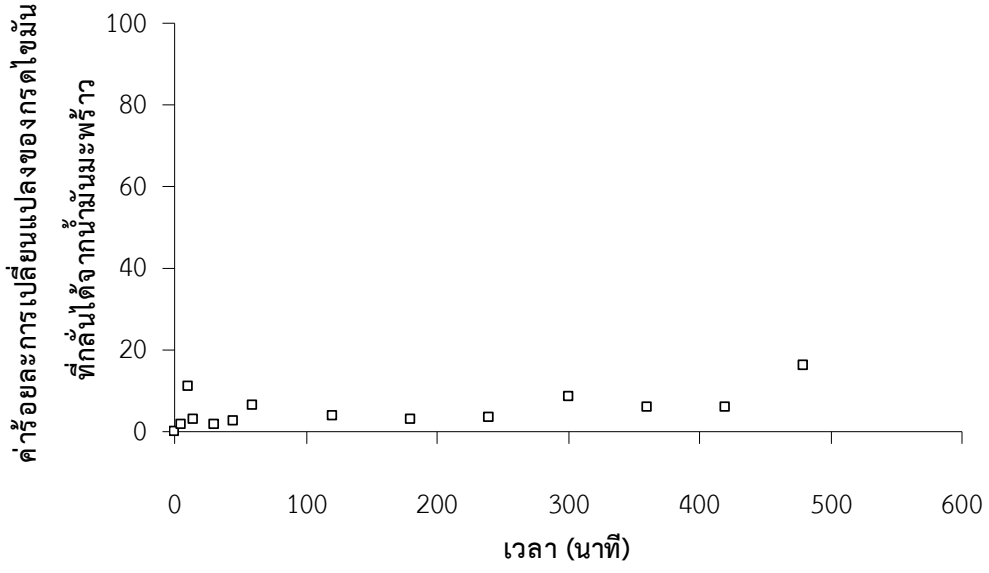
ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และที่เวลา 360 นาทีเป็นต้นไป ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวค่อนข้างคงที่และมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 100 นอกจากนี้เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา ปริมาณกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวยังคงเหลืออยู่ในระบบ แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยานี้เข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเอทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยสามารถเขียนรูปแบบสมการทางเคมี แสดงได้ดังสมการ (4.8)

Coconut Fatty acid distillate + Ethanol ↔ Ethyl Ester + water (4.8)

ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับ Berrios และคณะ [11] ทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันทานตะวันกับเมทานอลโดยใช้กรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาประเภทนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้

นอกจากนี้เพื่อเป็นการยืนยันว่าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบิร์ลิสต์ บีดี 20 และโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

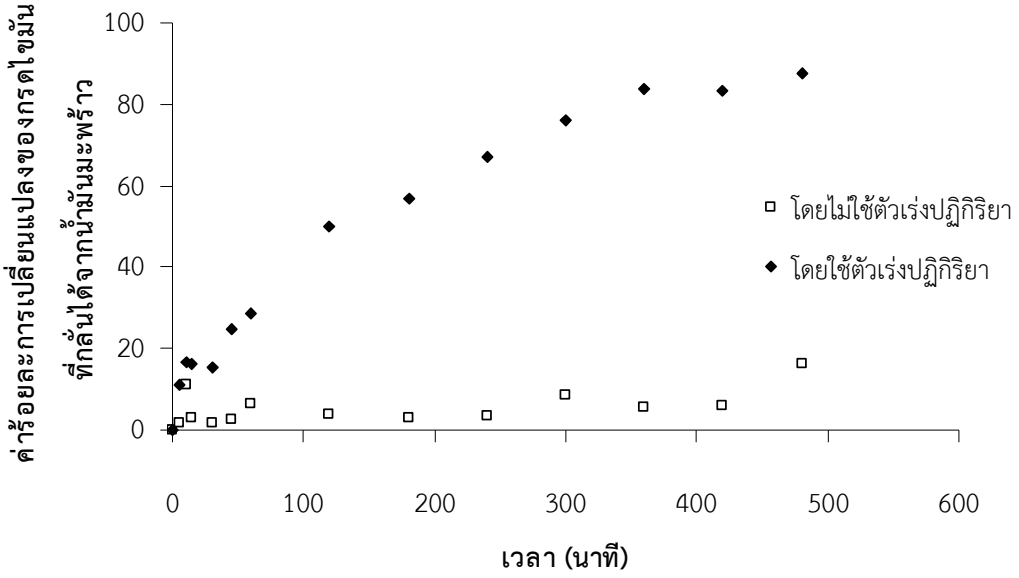
การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เลือกทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเกิดขึ้นได้แม้ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสังเกตได้จากค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 120 นาที

นอกจากนี้ เมื่อนำผลการทดลองทั้ง 2 สภาวะ ทำการเปรียบเทียบผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบผลกระทบของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่า การใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดได้ดีกว่าปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างเห็นได้ชัด สังเกตได้จากค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดขันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 120 นาที ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.8

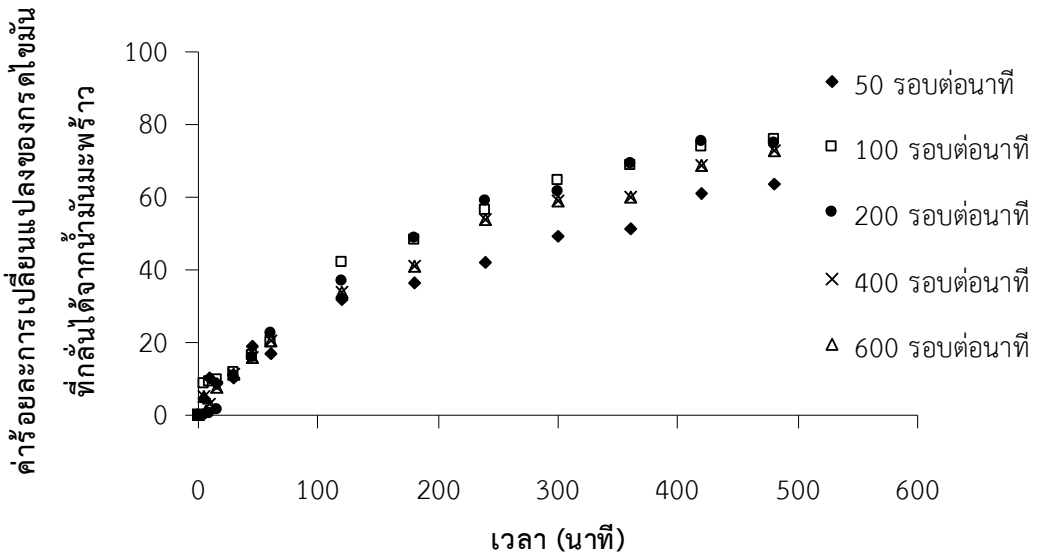
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 120 นาที

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเอทานอล	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เวลา 120 นาที
โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	50.01
โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	3.70

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดได้ดีกว่าปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

4.3.2 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยา

ในกรณีศึกษาของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ ดังนั้นผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์จึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์มีผลกระทบต่ออิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอก การเพิ่มความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์สามารถลดอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกได้และมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาน้อย ทำให้สารในระบบสามารถไหลผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาได้มากขึ้น มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเป็นขั้นควบคุมปฏิกิริยา ดังนั้นจึงสนใจทำการศึกษาผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏกรณ์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา เลือกทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 50 100 200 400 และ 600 รอบต่อนาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.16



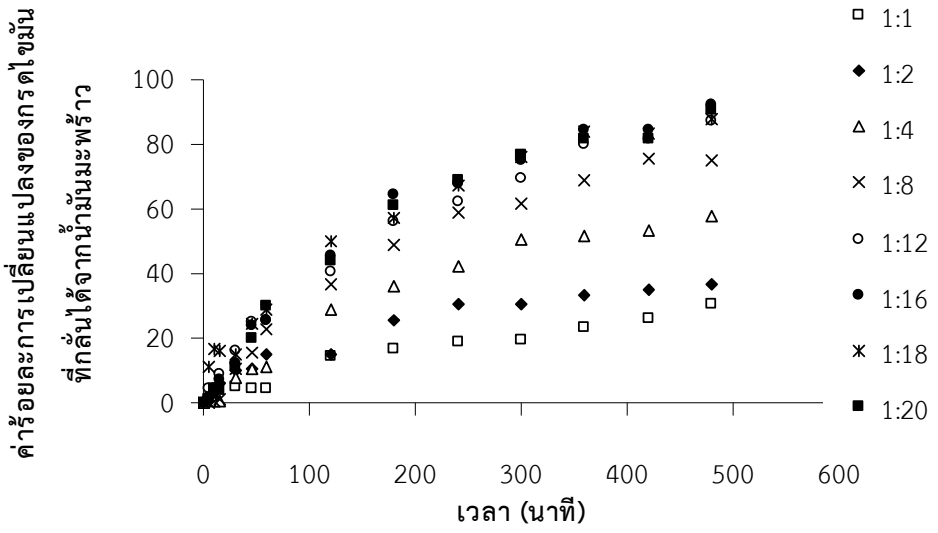
รูปที่ 4.16 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวมีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่ามีการเพิ่มความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์มากขึ้น แสดงให้เห็นว่า ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาและอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกยังคงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า อิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา เมื่อมีการใช้ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง 50-600 รอบต่อนาที ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับ Tesser และคณะ [35] ทำการศึกษารูปแบบและแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของการถ่ายเทมวลสาร (ปรากฏการ์การแพร่ภายนอก) มีผลต่อรูปแบบจลนพลศาสตร์ เมื่อมีการใช้ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง 500-1200 รอบต่อนาที อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้เลือกใช้ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที เพื่อใช้สำหรับการศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองถัดไป

4.3.3 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

ผลการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมัน

มะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังแสดงหัวข้อ 4.3.1 ดังนั้นผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล โดยทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล ได้แก่ 1:1 1:2 1:4 1:8 1:12 1:16 1:18 และ 1:20 ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.17 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรกของปฏิกิริยา ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่มีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่าการทำปฏิกิริยาของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว เมื่อเทียบกับปฏิกิริยาของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว และเมื่อเวลาผ่านไป 360 ค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่และมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 100 (ประมาณร้อยละ 87-92) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จาก

น้ำมันมะพร้าวขึ้นกับอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของเอทานอลที่มากเกินพอเป็นการผลักปฏิกิริยาไปข้างหน้าส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลมากกว่า 1:18 ปริมาณเอทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลมีผลต่อสภาวะสมดุลของปฏิกิริยา ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9

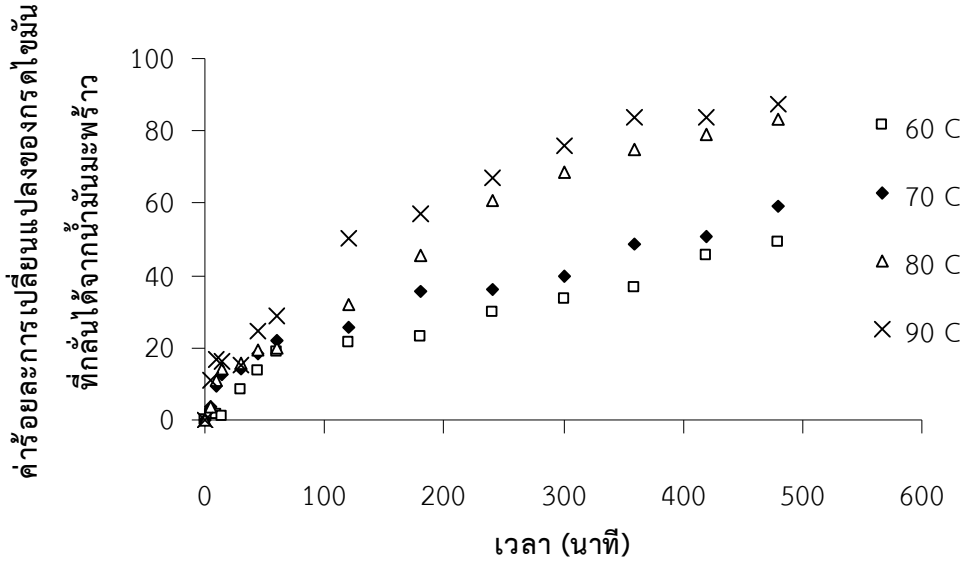
ตารางที่ 4.9 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลต่างๆ

อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล	**ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยา**
1:1	30.82
1:2	36.77
1:4	57.58
1:8	74.77
1:12	87.05
1:16	92.26
1:18	87.68
1:20	90.74

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลมีผลต่อสภาวะสมดุลของปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้น้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลสูงขึ้น ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลสูงขึ้น อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลมากกว่า 1:18 ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 เพื่อใช้สำหรับการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองถัดไป

4.3.4 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.18 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

รูปที่ 4.18 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา สังเกตได้จากค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวใกล้เคียงกัน เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อทำการพิจารณาค่าความชันของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่า ค่าความชันในช่วงแรกของปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาที่ทำการศึกษา อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยายังมีผลต่อสภาวะสมดุลของปฏิกิริยา ดังแสดงในตารางที่ 4.10

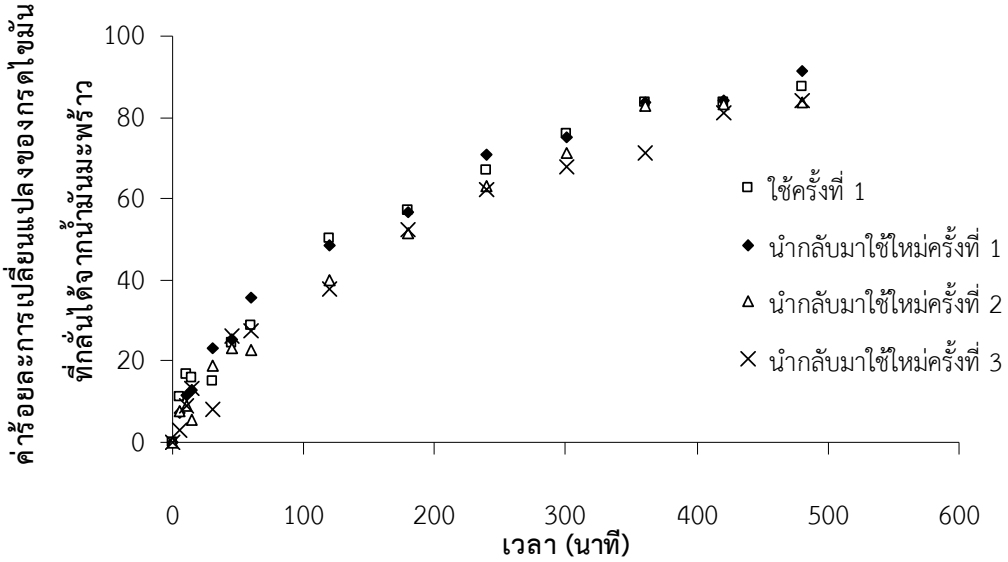
ตารางที่ 4.10 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	**ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยา**
60	49.10
70	58.90
80	83.39
90	87.68

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อสภาวะสมดุลของปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลเพิ่มขึ้น

4.3.5 ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มีข้อดีคือ สามารถแยกออกจากระบบง่ายและนำมากลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นเพื่อทราบประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 จึงศึกษาผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ โดยทำการทดลองที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.19 ผลกระทบของของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวค่อนข้างคงที่ เมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นจึงสามารถนำเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 กลับมาใช้ใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง โดยสังเกตได้จากค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยา ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่

การนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่	**ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยา**
ใช้ครั้งแรก	87.7
การนำกลับมาใช้ใหม่ ครั้งที่ 1	91.5
การนำกลับมาใช้ใหม่ ครั้งที่ 2	83.3
การนำกลับมาใช้ใหม่ ครั้งที่ 3	81.3

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่ามีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง โดยปรากฏการณ์การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเอทานอลโดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหมือนกับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอลโดยตัวเร่งปฏิกิริยา ได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อ 4.2.6 ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับง Park และคณะ [21] ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพที่สูงและเหมาะกับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเช่นกัน

4.3.6 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

4.3.6.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate constant)

ผลการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ข้างต้นดังแสดงในหัวข้อ 4.3.1 แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ งานวิจัยนี้เลือกทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ในช่วงแรกของปฏิกิริยา โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที สามารถเขียนสมการทางเคมีของปฏิกิริยานี้ แสดงได้ดังสมการ (4.8)

$$\underset{(A)}{\text{Coconut Fatty acid distillate}} + \underset{(B)}{\text{Ethanol}} \leftrightarrow \underset{(C)}{\text{Ethyl Ester}} + \underset{(D)}{\text{water}} \qquad (4.8)$$

และเขียนสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา แสดงได้ดังสมการ (4.9)

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k_1\left(\frac{W}{V}\right)C_A C_B - k_2\left(\frac{W}{V}\right)C_C C_D \qquad (4.9)$$

ในการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยานี้ ทำการพิจารณาเฉพาะช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากในช่วงแรกของปฏิกิริยา ที่เวลา 0 ถึง 30 นาที ผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นในปริมาณน้อยมาก จนถือได้ว่าไม่มีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเลย มีเพียงสารตั้งต้นอยู่ในระบบเท่านั้น ดังนั้นจึงตั้ง

สมมุติฐานได้ว่า ปฏิกิริยาที่ทำการศึกษานี้เป็นปฏิกิริยาแบบไม่ผันกลับ และสามารถเขียนสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา แสดงได้ดังสมการ (4.10)

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k_1\left(\frac{W}{V}\right)C_A C_B \qquad (4.10)$$

และเนื่องจากในการทดลอง มีการใช้เอทานอลในปริมาณที่มากเกินพอ จนกระทั่งปริมาณของเอทานอลไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา (เพื่อทำให้ปฏิกิริยาผลักไปข้างหน้า) ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงขึ้นกับค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเท่านั้น โดยสามารถลดรูปค่าความเข้มข้นของเอทานอลให้กลายเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งได้ และนำค่าความเข้มข้นของเอทานอลสามารถรวมเข้ากับค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) จะได้ค่าคงที่ของปฏิกิริยาใหม่ $\left(k'\right)$ และสามารถเขียนสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา แสดงได้ดังสมการ (4.11)

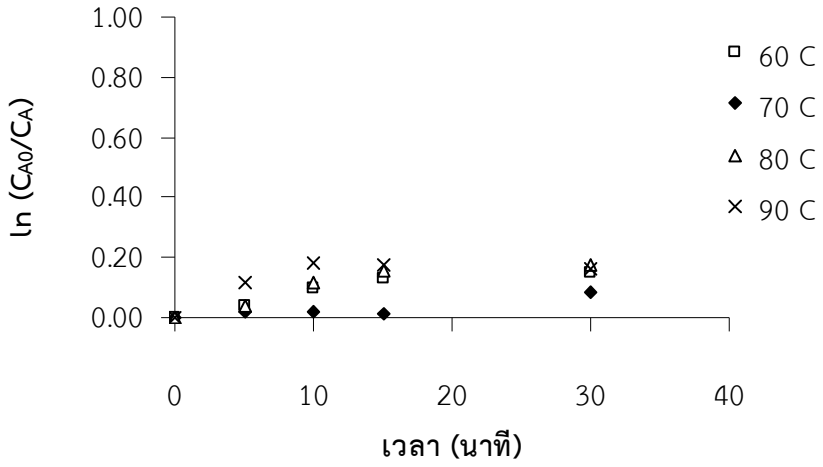
$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k'\left(\frac{W}{V}\right)C_A \qquad (4.11)$$

4.3.6.2 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Rate Constant)

ค่าคงที่ของปฏิกิริยา $\left(k'\right)$ สามารถคำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยทำการอินทิเกรตสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา จะได้รูปแบบสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา แสดงได้ดังสมการ (4.12)

$$\ln\left(\frac{C_{Ao}}{C_A}\right) = k'\left(\frac{W}{V}\right)t \qquad (4.12)$$

หลังจากนั้น ทำการสร้างกราฟเส้นตรงเพื่อใช้สำหรับหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา โดยอาศัยค่าความชันของกราฟเส้นตรงข้างต้น ผลการคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.12



รูปที่ 4.20 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเอทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ)

ผลการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่า ค่าความชันของกราฟมีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่ามีการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา สังเกตจากค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	**ค่าคงที่ของปฏิกิริยา** (k')
60	0.159
70	0.084
80	0.150
90	0.137

ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไม่ส่งผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่ทำการศึกษา ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับปฏิกิริยาทางเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกเป็นหลัก

4.3.6.3 ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Activation Energy)

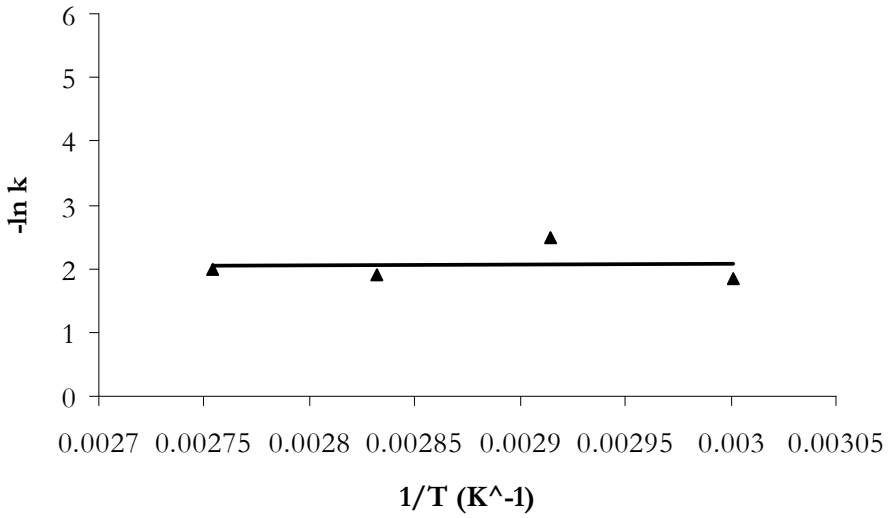
ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาสามารถหาค่าได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของสมการอาร์ริเนียสแสดงได้ดังสมการ (4.13)

$$k = Ae^{-\frac{E_A}{RT}} \tag{4.13}$$

หลังจากนั้น ทำการสร้างกราฟเส้นตรงเพื่อใช้สำหรับหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา โดยใช้ค่าความชันของกราฟเส้นตรง แสดงได้ดังสมการ (4.14)

$$\ln k = \ln A - \frac{E_A}{RT} \tag{4.14}$$

ผลการคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยตัวเร่งปฏิกิริยา (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ)

ผลการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา แสดงให้เห็นว่า ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกเป็นหลัก

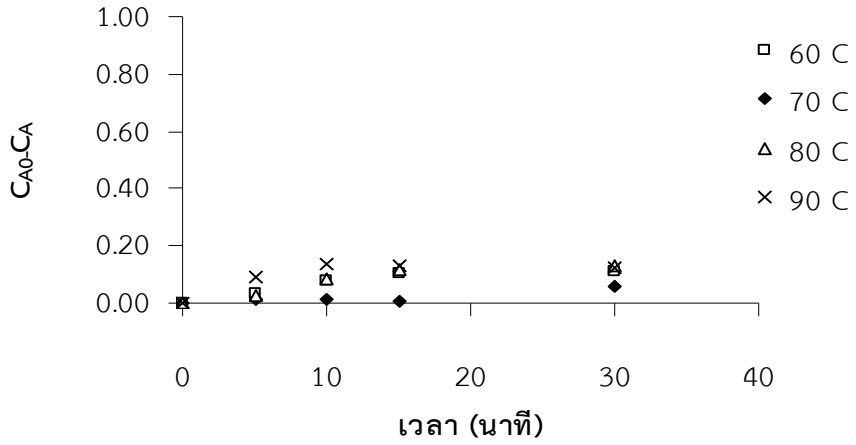
นอกจากนี้เพื่อเป็นการยืนยันข้อพิสูจน์ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอิทธิพลของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการถ่ายเทมวลสารภายนอกเป็นหลัก จึงทำการศึกษารูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ และเขียนสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังสมการ (4.15)

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k\left(\frac{W}{V}\right) \tag{4.15}$$

หลังจากนั้นทำการหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่ทำการศึกษา ได้จากความสัมพันธ์ของสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยทำการอินทิเกรตสมการข้างต้น จะได้รูปแบบสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา แสดงดังสมการ (4.16)

$$C_{A0} - C_A = k\left(\frac{W}{V}\right)t \tag{4.16}$$

และทำการสร้างกราฟเส้นตรงเพื่อใช้สำหรับการหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา ผลการคำนวณหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.22 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเอทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์)

ผลการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่า ค่าคงที่ของปฏิกิริยามีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น สังเกตจากค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.13

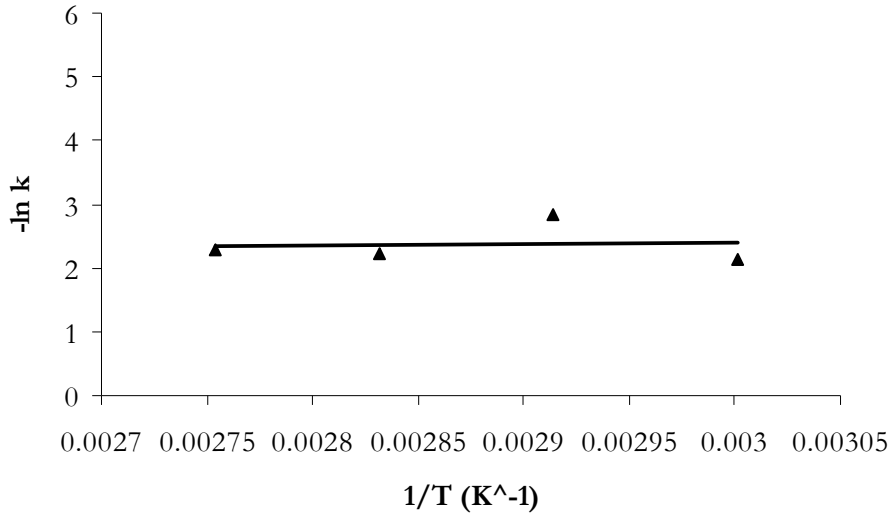
ตารางที่ 4.13 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	**ค่าคงที่ของปฏิกิริยา** (k')
60	0.118
70	0.059
80	0.109
90	0.102

ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับปฏิกิริยาทางเคมี อย่างไรก็ตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกเป็นหลัก

นอกจากนี้ เมื่อทำการหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาสามารถหาค่าได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ของสมการอาร์ริเนียสแสดงได้ดังสมการ (4.13) และ (4.14) ผลการคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยตัวเร่งปฏิกิริยา (รูปแบบจลนพลศาสตร์ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์)

ผลการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าคงที่ของปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ถึงแม้ว่ามีการตั้งสมมุติฐานว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกเป็นหลัก (อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการถ่ายเทมวลสารเป็นขั้นควบคุมปฏิกิริยา)

4.4 ผลกระทบของชนิดของแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

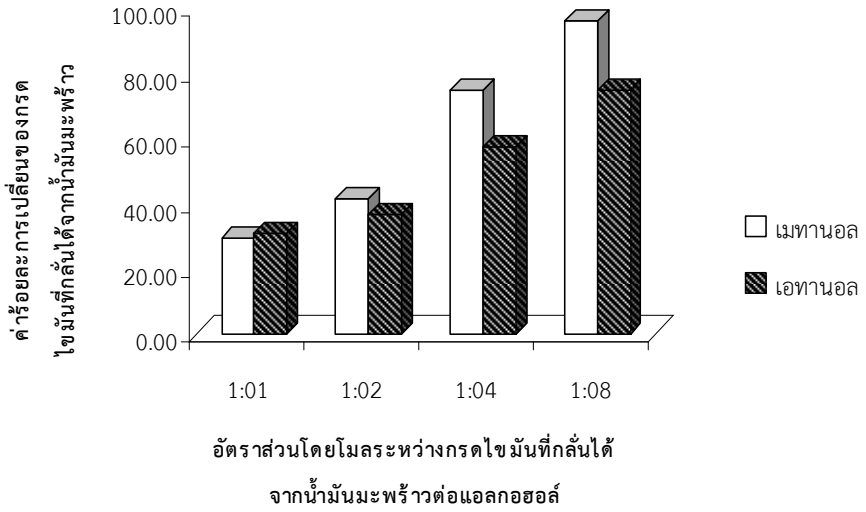
4.4.1 ผลกระทบของความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยา

การเปรียบเทียบผลกระทบของความเร็วในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 แสดงให้เห็นว่า ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ความเร็วในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์มากกว่า 100 รอบต่อนาทีขึ้นไป

ในขณะที่ปฏิกิริยาของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง 50-600 รอบต่อนาที มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกิรณ์ดังกล่าวมีผลกระทบต่ออิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า อิทธิพลของความต้านทานการถ่ายเทมวลสารมีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.4.2 ผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

การเปรียบเทียบผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอลและเอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ผลการทดลองดังแสดงในหัวข้อ 4.2.4 และ 4.3.3 แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาทั้ง 2 ประเภทเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ เนื่องจากการใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินพอ ทำให้เกิดปฏิกิริยาผลักไปข้างหน้าส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดได้มากขึ้น และที่สภาวะเดียวกัน ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยตัวเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.14



รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอลและเอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะเดียวกัน

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบผลกระทบของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอลและเอทานอลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะเดียวกัน

อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อแอลกอฮอล์	**ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยา**	
	เมทานอล	**เอทานอล**
1:1	29.39	30.82
1:2	41.57	36.77
1:4	74.72	57.58
1:8	96.24	74.77

ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่า ที่สภาวะเดียวกัน ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวสูงกว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของ

เอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลและเอทานอลที่ไม่มีต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 1:10 และ 1:18 ปริมาณของแอลกอฮอล์ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ผลการเปรียบเทียบข้างต้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเกิดขึ้นดีกว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว เนื่องจากชนิดของแอลกอฮอล์มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา เมื่อความยาวของสายโซ่คาร์บอนในแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวลดลง ดังนั้นจึงมีผลทำให้ต้องใช้เอทานอลในปริมาณที่มากกว่าเมทานอลเพื่อทำให้ได้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่สูงเช่นเดียวกัน ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lilja และคณะ [36] ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดโพรพาโนอิกกับแอลกอฮอล์หลายชนิด อาทิเช่น เอทานอล 1-โพรพานอล และบิวทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ไฟเบอร์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดโพรพาโนอิกลดลง เมื่อความยาวของสายโซ่ของคาร์บอนมากขึ้น

4.4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

การเปรียบเทียบผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ผลการทดลองดังแสดงในหัวข้อ 4.2.5 และ 4.3.4 แสดงให้เห็นว่า ผลการทดลองของทั้งสองปฏิกิริยามีแนวโน้มแตกต่างกัน

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อสภาวะสมดุลของปฏิกิริยา ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

ในขณะที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.4.4 ผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

การเปรียบเทียบผลกระทบของการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ผลการทดลองดังแสดงในหัวข้อ 4.2.6 และ 4.3.5 แสดงให้เห็นว่า ทั้งสองปฏิกิริยามีผลการทดลองเป็นแนวโน้มเดียวกัน เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ไม่ต่ำกว่า 4 ครั้ง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีและเหมาะสำหรับปฏิกิริยา

เอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

4.4.5 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

4.4.5.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

การเปรียบเทียบผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 แสดงให้เห็นว่า ทั้งสองปฏิกิริยามีการตั้งสมมุติฐานแตกต่างกัน

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เลือกพิจารณาเฉพาะช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา (ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว ประมาณร้อยละ 30) ซึ่งมีปริมาณของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นน้อยมาก จนกระทั่งตั้งสมมุติฐานได้ว่าไม่มีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยานี้จึงเป็นแบบไม่ผันกลับ และมีการใช้เมทานอลที่มากเกินพอ และสามารถลดรูปค่าความเข้มข้นของเมทานอลให้กลายเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งได้ โดยค่าความเข้มข้นของเมทานอลรวมเข้ากับค่าคงที่ของของปฏิกิริยา เช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ได้รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เป็นปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งไม่ผันกลับ

ในขณะที่ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถระบุประเภทของรูปแบบทางจลนพลศาสตร์ได้ เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาข้างต้นขึ้นกับอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกเป็นหลัก (อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการถ่ายเทมวลสารเป็นขั้นควบคุมปฏิกิริยา)

4.4.5.2 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

การเปรียบเทียบค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ดังแสดงในตารางที่ 4.7 4.12 และ 4.13 แสดงให้เห็นว่า ผลการทดลองของทั้ง 2 ปฏิกิริยามีแนวโน้มแตกต่างกัน

ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน

ที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น ส่งมีผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีและเร็วมากขึ้น ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี

ในขณะที่ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ถึงแม้ว่ามีการตั้งสมมุติฐานว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาเสมือนกันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับและปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกเป็นหลัก (อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการถ่ายเทมวลสารเป็นขั้นควบคุมปฏิกิริยา)

4.4.5.3 ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยตัวเร่งปฏิกิริยา

การเปรียบเทียบค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ผลการเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน	ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา
กรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันต่อเมทานอล 1:10	ขึ้นกับอุณหภูมิ
กรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันต่อเอทานอล 1:18	ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ในขณะที่ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ผลการทดลองข้างต้น จึงสามารถสรุปได้ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพียงแปรเดียว (อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเป็นขั้นควบคุมปฏิกิริยา) ในขณะที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอล

กับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นกับอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกเป็นหลัก (อัตราการเกิดปฏิกิริยาของการถ่ายเทมวลสารเป็นขั้นควบคุมปฏิกิริยา)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปลผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 แสดงดังนี้

- ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเกิดขึ้นได้โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์บีดี 20

- ความบริสุทธิ์ของเมทานอลไม่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

- ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 100 รอบต่อนาทีขึ้นไป ในขณะที่ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง 50-600 รอบต่อนาทีมีผลต่อการปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

- อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อแอลกอฮอล์มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลและเอทานอลที่ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 1:10 และ 1:18 ตามลำดับ

- อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

- การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

- ชนิดของแอลกอฮอล์มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของแอลกอฮอล์กับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ขึ้นกับความยาวของสายโซ่คาร์บอนในแอลกอฮอล์ที่เข้าทำปฏิกิริยา ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น เมื่อความยาวของสายโซ่คาร์บอนในแอลกอฮอล์น้อยลง

- รูปแบบจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ในช่วงแรกของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งแบบไม่ผันกลับ ในขณะที่ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถระบุประเภทของรูปแบบจลนพลศาสตร์ได้ เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาข้างต้นขึ้นกับอิทธิพลของการถ่ายเทมวลสารภายนอกเป็นหลัก

- ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ในขณะที่ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเบื้องต้นสำหรับการศึกษาผลกระทบของชนิดของแอลกอฮอล์ ดังนั้นเพื่อให้มีความเข้าใจในงานนี้มากขึ้นควรมีการวิจัยเชิงลึกให้มากขึ้น อาทิเช่น การออกแบบการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีชนาดใหญ่มากขึ้น เพื่อสามารถนำไปปรับใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไปได้

รายการอ้างอิง

[1] ตติยา กำแหงเดชพล. จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดลอริกและกรดสเตียริกกับเอทานอลโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2554.

[2] สิทธิชัย สมทราย. จลพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของกรดไขมันจากน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.

[3] Petchmala, A.; Yujaroen, D.; Shotipruk, A.; Goto, M.; and Sasaki, M. Production methyl ester from Palm Fatty Acids in Supercritical Methanol. Chiang Mai J. Sci. 35(1) (2008): 23-28.

[4] Pinnarat, T.; Savage, E. P. Noncatalytic esterification of oleic acid in ethanol. J. of Supercritical Fluids 53 (2010): 53–59.

[5] Alenezi, R.; Leeke, G. A.; Winterbottom, J. M.; Santos, R. C. D.; Khan, A. R. Esterification of kinetics of free fatty acids with supercritical methanol for biodiesel Production. Energy Conversion and Management 51 (2010): 1055-1059.

[6] ณกัญภัทร จินดา. เอนไซม์ไลเปส 1: แหล่งและประโยชร์ระดับอุตสาหกรรม. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 24 (กันยายน –ธันวาคม 2547): 1-30.

[7] Vieira, A. P.; Silva, M. A. P.; Langone, M. A. P. Biodiesel production via esterification reactions catalyzed by lipase. Lat. Am. Appl. Res. 36 (2006).

[8] Trubiano G.; Borio D.; Errazu. Influence of the operating conditions and the external mass transfer limitations on the synthesis of fatty acid esters using a Candida Antarctica lipase. Enzyme and Microbial Technology. 40(4) (2007): 716-722.

[9] Marchetti, J. M.; Errazu, A. F. Esterification of free fatty acids using sulfuric acid as catalyst in the presense of triglycerides. Biomass and bioenergy. 32 (2008): 892-895.

[10] Liu, Y.; Lotero, E.; Goodwin Jr., J. G. Effect of water on sulfuric acid catalyzed esterification. J. of Molecular Catalysis A: Chemical 245 (2006): 132-140.

[11] Berrios, M.; Siles J.; Martin M. A.; Martin A. A Kinetic Study of the esterification of free Fatty Acids (FFA) in sunflower oil. Fuel. 86 (2007): 2383–2388.

[12] Lucena, I. L.; Saboya R. M. A.; Oliveira J. F. G.; Rodrigues, M.L.; Torres, A. E. B.; Cavalcante, C. L.; Parente Jr., E. J. S.; Silva, G. F.; Fernandes, F. A. N. Oleic acid esterification with ethanol under continuous water removal conditions. Fuel. 90 (2011): 902-904.

[13] Aafaqi, R.; Mohamed, A. R.; Bhatia, S. Kinetics of esterification of palmitic acid with isopropanol using p-toluene sulfonic acid andzinc ethanoate supported over silica gel as catalysts. J. Chem Technol Biotechnol. 79 (2004): 1127–1134.

[14] Chung, K. H.; Chang, D. R.; Park, B. G. Removal of free fatty acid in waste frying oil by esterification with methanol on zeolite catalysts. Bioresource Technology. 99 (2008): 7438–7443.

[15] Rattanaphra, D.; Harvey, A. P.; Thanapimmetha, A.; Srinophakun, P. Kinetic of myristic acid esterification with methanol in the presence of triglycerides over sulfated zirconia. Renewable Energy. 36 (2011): 2679-2686.

[16] Chan, K. W.; Tsai, Y. T.; Lin, H. M.; Lee, M. J. Esterification of adipic Acid with methanol over Amberlyst 35. J. of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 41 (2010): 414–420

[17] Tsai, Y.; Lin, H. M.; Lee, M. J. Kinetics of Catalytic Esterification of Propanoic Acid with Methanol over Amberlyst 36. Ind. Eng. Res. 50 (2011): 1171-1176.

[18] Sanz, M. T.; Murga ,R.; S. Beltra´ n.; Cabeza, J. L. Autocatalyzed and Ion-Exchange- Resin- Catalyzed EsterificationKinetics of Lactic Acid with Methanol. Ind. Eng. Chem. Res. 41 (2002): 512-517.

[19] Jiang, W. J.; Jie, C.; Juan, F. Catalytic esterification of bio-oil by ion exchange resins. J. of fuel chem and technol. 38(5) (2010): 560-564.

[20] Ozbay, N.; Oktar, N.; Tapan, N. A. Esterification of free fatty acids in waste cooking oils (WCO): Role of ion-exchange resins. Fuel. 87 (2008): 1789-1798.

[21] Park, J. Y.; Kim, D. K.; Lee, J. S. Esterification of free fatty acids using water-tolerable Amberlyst as a heterogeneous catalyst. Bioresource Technology. 101 (2010): S62-S65.

[22] Marchetti, J. M.; Errazu, A. F. Comparision of different heterogeneous catalysts and different alcohols for the esterification reaction of oleic acid. Fuel. 87 (2008): 3477-3480.

[23] Jong, M. C.; Feijt, R.; Zondervan, E.; Nijhuis, T. A.; Haan, A. B. Reaction kinetics of the esterification of myristic acid with isopropanol and n-propanol using p-toluene sulphonic acid as catalyst. Applied Catalysis:General 365 (2009): 141-147.

[24] Caetano, C. S.; Guerreiro, L.; Fonseca, I. M.; Ramos, A. M.; Vital, J.; Castanheiro, J. E. Esterification of fatty acids to biodiesel over polymers with sulfonic acid Groups. . Applied Catalysis:General 359 (2009): 41-46.

[25] Hanh, H. D.; Dong, N. T.; Okitsu, K.; Nishimura, R.; Maeda, Yasuaki. Biodiesel production by esterification of oleic acid with short-chain alcohols under ultrasonic irradiation condition. Renewable Energy. 34 (2009): 780-783.

[26] พอตา ประสานนาม. การกำจัดโลหะออกจากสารละลายโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ผลิตจาก HYDROXYETHYL CELLULOSE. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2547.

[27] Marchetti, J. M.; Miguel, V. U.; Errazu, A. F. Heterogeneous esterification of oil with high amount of free fatty acids. Fuel. 86 (2007): 906-910.

[28] Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons,1999.

[29] Kamarudin, R. A.; Nordin, N. A. M.; Buang, N. A.; Ahmad, S. A Kinetic Study on the Esterification of Palmitic Acid in Methanol. Pertanika J. Sci. & Technol. 6 (1) (1998): 71-79.

[30] Tesser, R.; Serio, M. D.; Guida, M.; Nastasi, M.; Santacesaria, E. Kinetics of Oleic Acid Esterification with Methanol in the presence of Triglycerides. Ind. Eng. Chem. Res. 44 (2005): 7978-7982

[31] Alime, I.; Halit, L. H. Kinetics of Synthesis of Isobutyl Propionate over Amberlyst-15. Turk J. Chem. *31* (2007): 493–499.

[32] Zubir, M. I.; Chin, S. Y. Kinetics of Modified Zirconia-catalyzed Heterogeneous Esterification Reaction for Biodiesel production. J. of Applied Sciences. 10 (21) (2010): 2584-2589.

[33] Delgado, P.; Sanz, M. T.; Berltran, S. Kinetic study for esterification of lactic acid with ethanol lactate using an ion-exchange resin catalyst. Chemical Engineering Journal. 126 (2007): 111-118.

[34] Feng, Y.; He, B.; Cao, Y.; Li, J.; Yan, F.; Liang, X. Biodiesel production using cation-exchange resin as heterogeneous catalyst. Bioresource Technology. 101 (2010): 1518-1521.

[35] Tesser, R.; Casale, L.; Verde, D.; Serio, D. M.; Santacesaria, E. Kinetics and Modeling of fatty acids esterification on acid exchange resins. Chemical Engineering Journal. 157 (2010): 539–550.

[36] Lilja, J.; Warna, J.; Salmi, T.; Pettersson, L. J.; Ahlkvist, J.; Grenman, H.; Ronnholm, M.; Murzin, D. Y. Esterification of propanoic acid with ethanol 1-propanol and butanol over a heterogeneous fiber catalyst. Chemical Engineering Journal. 115 (2005): 1-12.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆ ของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

ก การวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆ ของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการทดลอง สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานต่างๆ ได้แก่

ก-1.ค่าความเป็นกรด (Acid Value) วิเคราะห์หาค่าได้ตามวิธีมาตรฐาน Cd-3d-63

ค่าความเป็นกรด คือ ปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในหน่วยมิลลิกรัม ที่ทำให้กรดในสารตัวอย่างปริมาณ 1 กรัมมีคุณสมบัติเป็นกลาง

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
2. บิวเรตปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. ปิเปตปริมาตร 25 มิลลิลิตร
4. จุกยาง

สารเคมี

1. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 นอร์มอล
2. สารละลายระหว่างทูโลอีนและไอโซโพรพานอลในปริมาณเท่ากัน
3. สารละลายฟินอล์ฟทาลีน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในเอทานอล

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งกรดไขมันลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ ก-1
2. เติมสารละลายทูโลอีนและไอโซโพรพานอลที่เตรียมไว้ลงในขวดรูปชมพู่
3. หยดฟินอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตรลงในชวดรูปชมพู่ หลังจากนั้นเขย่าขวดรูปชมพู่พร้อมทั้งทำการไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างเป็นสีชมพูนานประมาณ 30 วินาที หลังจากนั้นทำการบันทึกปริมาณของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกใช้ในการไตเตรท

ตารางที่ ก-1 แสดงปริมาณสารตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรทเพื่อใช้ในการหาค่าความเป็นกรด

ค่าความเป็นกรด	น้ำหนักของสารตัวอย่าง (±10%), กรัม	ค่าความแม่นยำ, ± กรัม
0-1	20	0.05
1-4	10	0.02
4-15	2.5	0.01
15-75	0.5	0.001
75 ขึ้นไป	0.1	0.0002

วิธีการคำนวณหาค่าความเป็นกรด (Acid Value)

จากสูตรค่าความเป็นกรด, มิลลิกรัมของโพแทสเซียมต่อกรัมของสารตัวอย่าง

$$\text{Acid Value} = \frac{(\boldsymbol{A} \times \boldsymbol{B}) \times \boldsymbol{N} \times 56.1}{\boldsymbol{W}} \qquad \text{(ก.1)}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรทสารตัวอย่าง, หน่วยเป็นมิลลิลิตร

B = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรทสารเปรียบเทียบ, หน่วยเป็นมิลลิลิตร

N = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, หน่วยเป็นนอร์มอล

W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง, หน่วยเป็นกรัม

ก-2 ค่าสปอนนิฟิเคชัน (Saponification Value) วิเคราะห์หาค่าได้ตามวิธีมาตรฐาน AOC Cd 3b-76

ค่าสปอนนิฟิเคชัน คือ ปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในหน่วยมิลลิกรัม ที่ทำให้สารตัวอย่างปริมาณ 1 กรัมกลายเป็นสบู่

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ที่มีข้อต่อ 24/29 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ
2. คอนเดนเซอร์ ความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร มีข้อต่อ 24/29 จำนวน 1 อัน
3. อ่างน้ำและชุดควบคุมอุณหภูมิ
4. บิวเรตปริมาตร 50 มิลลิลิตร
5. ปิเปตปริมาตร 25 มิลลิลิตร
6. จุกยาง
7. ลูกแก้วเพิ่มการเดือด

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 นอร์มอล
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 นอร์มอล
3. สารละลายฟินอล์ฟทาลีน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในเอทานอล

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งกรดไขมันประมาณ 2 กรัม ± 0.1 มิลลิกรัม ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายทูโลอีนประมาณ 25 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ เพื่อทำให้สารละลายกลายเป็นเนื้อเดียว
3. เติมสารละลายโพแทสซียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอล โดยวิธีการปิเปต ปริมาณ 50 มิลลิลิตร
4. ทำการเตรียมตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกรดไขมัน โดยทำการทดลองซ้ำในข้อ 2-3 เพื่อใช้เป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบผลการทดลอง
5. เติมลูกแก้วเพิ่มการเดือด หลังจากนั้นทำการต่อกับคอนเดนเซอร์และให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จนกระทั่งสารตัวอย่างกลายเป็นสบู่อย่างสมบูรณ์
6. นำขวดรูปชมพู่ออกจากคอนเดนเซอร์ และทำการหยดฟินอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตรลงในชวดรูปชมพู่ หลังจากนั้นเขย่าขวดรูปชมพู่พร้อมทั้งทำการไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 นอร์มอลใน

ขณะที่สารตัวอย่างยังร้อน จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างมีลักษณะใส นาน ประมาณ 30 วินาที หลังจากนั้นทำการบันทึกปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ถูกใช้ในการไตเตรท

วิธีการคำนวณหาค่าสปอนนิฟิเคชัน (Saponification Value Determination)

จากสูตรค่าสปอนนิฟิเคชัน,

$$\text{Saponification Value} = \frac{(\boldsymbol{B}-\boldsymbol{S})\times \boldsymbol{N}}{\boldsymbol{W}} \times 56.1 \qquad \text{(ก.2)}$$

เมื่อ B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 นอร์มอลที่ใช้ในการไตเตรทสารเปรียบเทียบ, หน่วยเป็นมิลลิลิตร

S = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 นอร์มอลที่ใช้ในการไตเตรทสารตัวอย่าง, หน่วยเป็นมิลลิลิตร

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, หน่วยเป็นนอร์มอล

W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง, หน่วยเป็นกรัม

ก-3 ค่ามวลโมเลกุลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดและค่าสปอนนิฟิเคชัน

วิธีการคำนวณหาค่ามวลโมเลกุลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (Molecular weight of Fatty Acid distillate Determination)

จากสูตรค่ามวลโมเลกุลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว,

$$\boldsymbol{M} = \frac{56108 - 12.67\left(\boldsymbol{SV} - \boldsymbol{AV}\right)}{\boldsymbol{SV}} \qquad \text{(ก.3)}$$

เมื่อ SV = ค่าสปอนนิฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

AV = ค่าความเป็นกรดของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

$$\boldsymbol{M} = \frac{56108}{\boldsymbol{SV}}$$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่ามวลโมเลกุลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

ค่าสปอนนิฟิเคชันของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว เท่ากับ 271.21 และทำการค่าดังกล่าวแทนลงในสมการ (ก.3)

$$M = \frac{56108}{SV} = \frac{56108}{271.21} = 206.82$$

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

ข-1 การหาองค์ประกอบของสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐาน

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐาน สามารถหาได้โดยอาศัยเทคนิคแก๊สโครมาโตรกราฟฟี โดยนำสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างผสมกับสารละลายมาตรฐานภายใน (เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน) และเฮกเซนในอัตราส่วนที่กำหนด และนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟ ยี่ห้อแวเรียน (Varian) รุ่น 3800 ที่มีการตรวจวัดสารแบบเฟรมไอออนไนซ์ (Flame Ionization Detector) และใช้คอลัมน์รุ่น อินโนแว็กซ์ (Innowax 19091 N-113) ที่มีความยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.32 มิลลิเมตรและความหนาของชั้นฟิลม์ 0.25 ไมโครเมตร โดยทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ภายในสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐานที่สภาวะคอลัมน์ของเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี ดังแสดงในตารางที่ ข-1

ตารางที่ ข-1 สภาวะคอลัมน์ของเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี

สภาวะคอลัมน์ของเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี	
ปริมาณสารที่ใช้ในการตรวจวัดสาร (ไมโครลิตร)	1
อัตราส่วนในการแบ่งสารที่ไม่ใช้ต่อที่ใช้	100:1
อุณหภูมิบริเวณหัวฉีดสาร (องศาเซลเซียส)	250
อุณหภูมิบริเวณตรวจวัดสาร (องศาเซลเซียส)	250
สภาวะภายในเตาอบ	
- อุณหภูมิเริ่มต้นคงที่ (องศาเซลเซียส)	50
- อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 50-80 องศาเซลเซียส (องศาเซลเซียสต่อนาที)	20
- อุณหภูมิคงที่ที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา(นาที)	5
- อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 80-230 องศาเซลเซียส (องศาเซลเซียสต่อนาที)	20
- อุณหภูมิคงที่ที่ 230 องศาเซลเซียส ระยะเวลา (นาที)	17.5

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ ข-2

ตารางที่ ข-2 องค์ประกอบของสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐาน

องค์ประกอบของเมทิสเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐาน	**จำนวนคาร์บอนอะตอม**	**ตำแหน่งเวลา (Retention time), นาที**
เฮกเซน		1.472
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน		1.990
เมทิลคาร์ไพเรต	8:0	6.497
เมทิลคาร์เพรต	10:0	9.549
เมทิลลอเรต	12:0	11.069
เมทิลไมริสเตรต	14:0	12.252
เมทิลปาล์มิเตรต	16:0	13.267
เมทิลปาล์มิโตเอต	16:1	13.378
เมทิลสเตียเรต	18:0	14.182
เมทิลโอเลเอต	18:1	14.274
เมทิลลิโนเลเอต	18:2	14.492
เมทิลลิโนเลเนต	18:3	14.825
เมทิลอะแลกซิเดต	20:0	15.260
เมทิลโบฮิเนต	22:0	16.836
เมทิลอีราเอต	22:1	17.039
เมทิลลิโนซีเรต	24:0	19.335

ข-2 การหาองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวสามารถหาได้โดยนำกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์อย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นนำเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์ผสมกับสารละลายมาตรฐานภายใน (เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน) และเฮกเซนในอัตราส่วนที่กำหนด และนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟ ที่สภาวะเดียวกับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารเมทิลเอสเทอร์ภายในสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ แสดงให้เห็นว่า มีเมทิลเอสเทอร์หลายชนิดเป็นองค์ประกอบ โดยองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดให้ค่าตำแหน่งเวลา (Retention time) แตกต่างกัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบตำแหน่งเวลา (Retention time) ที่เวลาต่างๆ ของสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐาน ทำให้ทราบองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวและทราบชนิดของกรดไขมันที่อยู่ในกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว ดังแสดงในตารางที่ ข-3 และ ข-4 ตามลำดับ

ตารางที่ ข-3 องค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

องค์ประกอบของเมทิสเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว	**จำนวนคาร์บอนอะตอม**	**ตำแหน่งเวลา (Retention time), นาที**
เฮกเซน		1.421
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน		1.995
เมทิลคาร์ไพเรต	8:0	6.459
เมทิลคาร์เพรต	10:0	9.500
เมทิลลอเรต	12:0	11.112
เมทิลไมริสเตท	14:0	12.290
เมทิลปาล์มิเตท	16:0	13.294
เมทิลสเตียเรต	18:0	14.216
เมทิลโอเลเอต	18:1	14.297
เมทิลไลโนเลเอต	18:2	14.512

ตารางที่ ข-4 องค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันะพร้าว

องค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว	**จำนวนคาร์บอนอะตอม**
กรดคาร์ไพริก	8:0
กรดคาร์พริก	10:0
กรดลอริก	12:0
กรดไมริสติก	14:0
กรดปาล์มิติก	16:0
กรดสเตรียริก	18:0
กรดโอเลอิก	18:1
กรดลิโนเลอิก	18:2

ข-3 การคำนวณหาปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว ต้องทำการวิเคราะห์หาค่าแฟคเตอร์ตอบสนองขององค์ประกอบของสารเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐาน เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวในขั้นตอนต่อไป โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

- การคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ตอบสนอง (Respond Factor)

สูตรการคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ตอบสนอง (Respond Factor),

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลเอสเทอร์

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลเอสเทอร์} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

<u>ตัวอย่าง</u> วิธีการคำนวณหาแฟคเตอร์ตอบสนองขององค์ประกอบของสารเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในสารเมทิลเอสเทอร์ตัวอย่างมาตรฐาน

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลคาร์ไพเรต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลคาร์ไพเรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลคาร์เพรต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลคาร์เพรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลคาร์ลอเรต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลคาร์ลอเรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลไมริสเตรต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลไมริสเตรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลปาล์มิเตรต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลปาล์มิเตรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลปาล์มิโตเอต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลปาล์มิโตเอต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลสเตียเรต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลสเตียเรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลโอเลเอต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลโอเลเอต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลลิโนเลเอต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลลิโนเลเอต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลลิโนเลเนต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลลิโนเลเอต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลอะแลกซิเดต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลอะแลกซิเดต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลโบฮิเนต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลโบฮิเนต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลอิราเอต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลอิราเอต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

ค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลลิโนซีเรต

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลลิโนซีเรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์(กรัม)}}$$

- การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์

นำค่าแฟคเตอร์ตอบสนองของเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในสารตัวอย่างมาตรฐานที่ทราบ แทนลงในสูตรหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์ เพื่อหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่แท้จริง

สูตรการคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์,

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์(กรัม)

$$= \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลเอสเทอร์} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{แฟคเตอร์ตอบสนอง}}$$

<u>ตัวอย่าง</u> วิธีการคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบของสารเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในสารเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์

$$\text{ปริมาณของเมทิลคาร์ไพเรต} = \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลคาร์ไพเรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{แฟคเตอร์ตอบสนอง}}$$

$$\text{ปริมาณของเมทิลคาร์เพรต} = \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลคาร์เพรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{แฟคเตอร์ตอบสนอง}}$$

$$\text{ปริมาณของเมทิลคาร์ลอเรต} = \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลคาร์ลอเรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{แฟคเตอร์ตอบสนอง}}$$

$$\text{ปริมาณของเมทิลคาร์ไมริสเตรต} = \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลคาร์ไมริสเตรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{แฟคเตอร์ตอบสนอง}}$$

$$\text{ปริมาณของเมทิลปาล์มิเตรต} = \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลปาล์มิเตรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{แฟคเตอร์ตอบสนอง}}$$

$$\text{ปริมาณของเมทิลสเตียเรต} = \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลสเตียเรต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{แฟคเตอร์ตอบสนอง}}$$

$$\text{ปริมาณของเมทิลโอเลเอต} = \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลโลเอต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{แฟคเตอร์ตอบสนอง}}$$

$$\text{ปริมาณของเมทิลลิโนเลเอต} = \frac{\text{พื้นที่ของเมทิลลิโนเลเอต} \times \text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)}}{\text{พื้นที่ของสารตัวอย่าง} \times \text{แฟคเตอร์ตอบสนอง}}$$

- การคำนวณหาค่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์

สูตรการคำนวณหาค่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์,

$$\text{ค่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์} = \frac{\text{ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์}}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง}} \times 100$$

$$\therefore \text{ผลรวมร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์} = \text{ผลรวมของค่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดภายในเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์}$$

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์หาปริมาณของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในสารตัวอย่าง

ค. การวิเคราะห์หาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยวิธีการไตเตรท

การวิเคราะห์หาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในสารตัวอย่าง มีขั้นตอนในการคำนวณ ดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้สูตร

ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

$$= \frac{C_{KOH} \times (V_{KOH,\text{titrated sample}} - V_{KOH,\text{titrated blank}}) \times m_{sample}}{V_{sample} \times m_{\text{titrate sample}}}$$

โดย C_{KOH} = ค่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, หน่วยเป็นโมลาร์

$V_{KOH,\text{titrated sample}}$ = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรทสารตัวอย่าง, หน่วยเป็นมิลลิลิตร

$V_{KOH,\text{titrated blank}}$ = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรทที่ไม่มีสารตัวอย่าง, หน่วยเป็นมิลลิลิตร

m_{sample} = น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง, หน่วยเป็นกรัม

V_{sample} = ปริมาตรของสารตัวอย่าง, หน่วยเป็นมิลลิลิตร

$m_{\text{titrate sample}}$ = น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรท, หน่วยเป็นกรัม

2. คำนวณหาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้สูตร

ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

$$= \frac{C_{\text{sample at t}=0} - C_{\text{sample at t}}}{C_{\text{sample at t}=0}} \times 100$$

โดย $C_{sample\ at\ t=0}$ = ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เวลาเริ่มต้น, หน่วยเป็นโมลต่อลิตร

$C_{sample\ at\ t}$ = ค่าความเข้มของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เวลาใดๆ, หน่วยเป็นโมลต่อลิตร

$$= \frac{C_{sample\ at\ t=0} - C_{sample\ at\ t}}{C_{sample\ at\ t=0}} \times 100$$

<u>ตัวอย่าง</u> วิธีการคำนวณหาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่มีอยู่ในตัวอย่าง

การคำนวณหาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่มีอยู่ในตัวอย่าง ที่สภาวะการทดลอง คือ ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล เท่ากับ 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่สภาวะการทดลองข้างต้น โดยวิธีการไตเตรท ตามวิธีมาตรฐาน สำหรับสารตัวอย่างนาทีที่เวลาเริ่มต้น (นาทีที่ 0)

แสดงให้เห็นว่า สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.08 โมลาร์
ปริมาตรของสารละลายไฮดรอกไซด์ในการไตเตรทสารตัวอย่างเท่ากับ 2.1 มิลลิลิตร
ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท
เท่ากับ 0.2 มิลลิลิตร
ปริมาตรของสารตัวอย่างเท่ากับ 5.4 มิลลิลิตร
น้ำหนักของสารตัวอย่างเท่ากับ 4.3 กรัม
น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรทเท่ากับ 0.1047 กรัม

จะได้ ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

$$= \frac{0.08 \times (2.1 - 0.2) \times 4.3}{5.4 \times 0.1047} = 1.28 \quad \text{โมลาร์}$$

และที่สภาวะการทดลองเดียวกัน สำหรับสารตัวอย่างนาทีที่ 120

แสดงให้เห็นว่า สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.08 โมลาร์
ปริมาตรของสารละลายไฮดรอกไซด์ในการไตเตรทเท่ากับ 0.6 มิลลิลิตร
ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท
เท่ากับ 0.2 มิลลิลิตร

ปริมาตรของสารตัวอย่างเท่ากับ 5.1 มิลลิลิตร

น้ำหนักของสารตัวอย่างเท่ากับ 4.2 กรัม

น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรทเท่ากับ 0.1090 กรัม

จะได้ ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว

$$= \frac{0.08 \times (0.6 - 0.2) \times 4.2}{5.1 \times 0.1090} = 0.36 \text{ โมลาร์}$$

นำค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากนั้นมะพร้าวที่เวลาเริ่มต้น (นาทีที่ 0) และค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวที่เวลานาทีที่ 120 ที่คำนวณได้ แทนลงในสมการ จะได้ว่า

$$= \frac{1.28 - 0.36}{1.28} \times 100 = 71.62$$

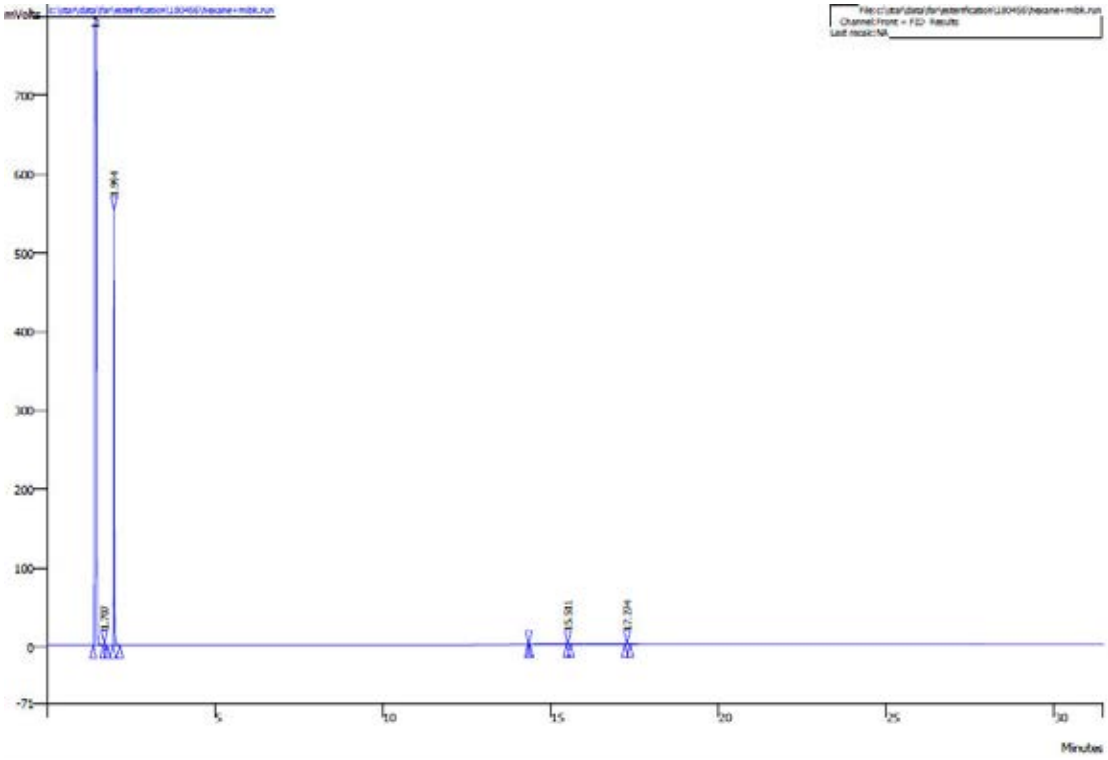
เพราะฉะนั้น จะได้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 71.62

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง (เมทิลเอสเทอร์)

ที่ได้จากการทดลองโดยอาศัยเทคนิคแก๊สโครมาโตรกราฟฟี

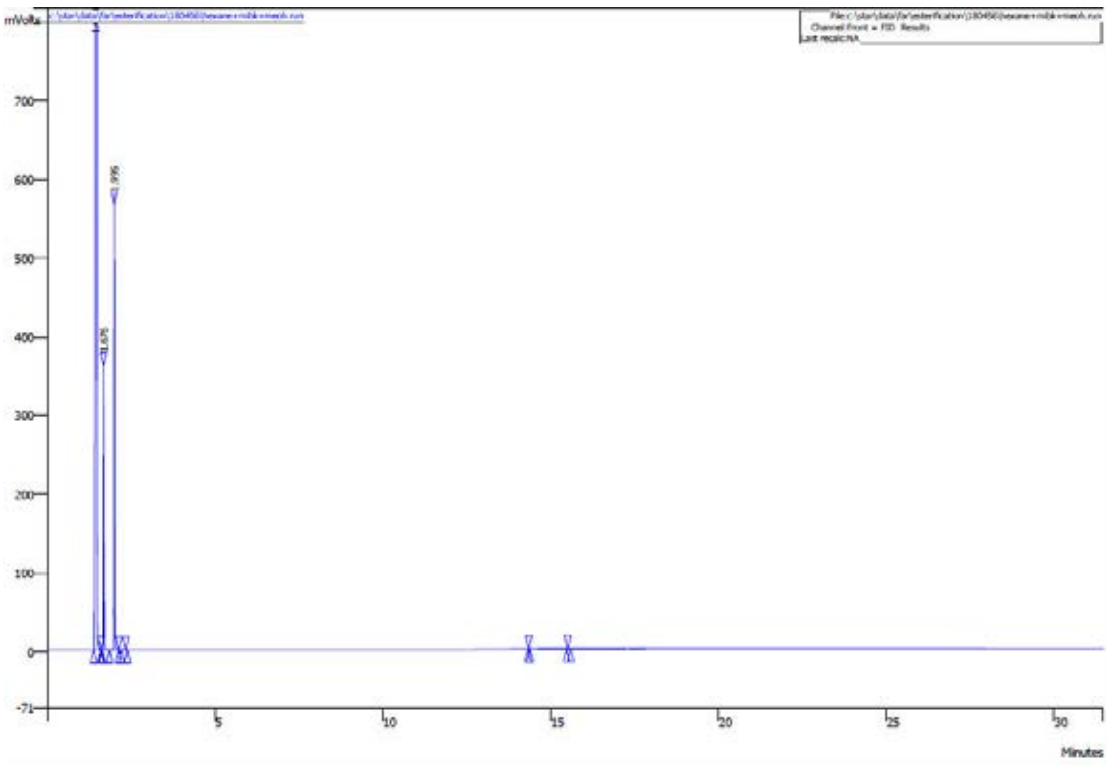
ง-1 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานภายใน (เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน)



Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)
1		96.3362	1.431	0.000	16280350
2		0.0168	1.707	0.000	2835
3		3.6311	1.994	0.000	613632
4		0.0059	15.511	0.000	1001
5		0.0100	17.274	0.000	1695

ชนิดของสาร	Retention Time (นาที)
เฮกเซน	1.431
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน	1.994

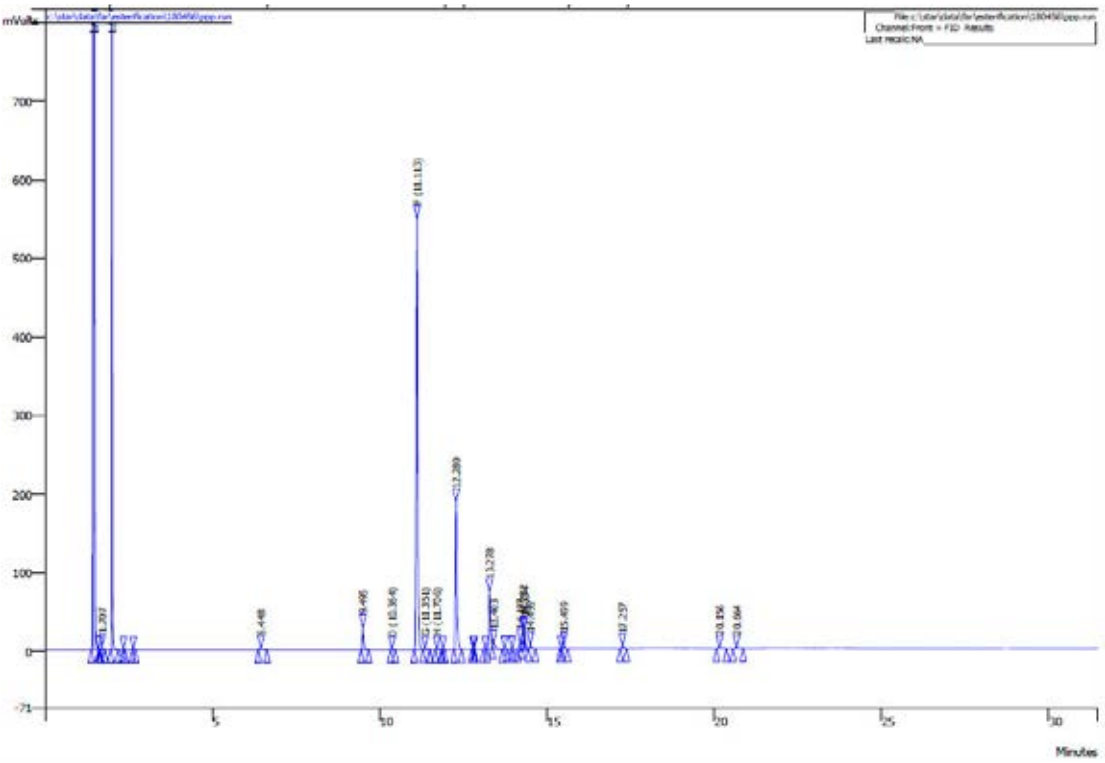
ง-2 แสดงผลการวิเคราะห์เมทานอล



Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)
1		93.2967	1.433	0.000	14800995
2		2.7090	1.676	0.000	429765
3		3.9944	1.995	0.000	633682

ชนิดของสาร	Retention Time (นาที)
เฮกเซน	1.433
เมทานอล	1.676
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน	1.995

ง-3 แสดงผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์อย่างสมบูรณ์



Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)
1		77.0519	1.431	0.000	25942552
2		10.6361	1.459	0.000	3581077
3		0.0141	1.707	0.000	4731
4		3.2859	1.997	0.000	1106334
5		0.0292	6.448	0.000	9827
6		0.2268	9.495	0.000	76371
7	D	0.0037	10.364	0.099	1250
8	F	5.3527	11.113	0.022	1802187
9	G	0.0117	11.351	0.111	3930
10	H	0.0057	11.706	0.234	1919
11		1.9143	12.280	0.000	644528
12		0.7567	13.278	0.000	254790
13		0.1189	13.403	0.000	40020
14		0.0928	14.197	0.000	31239
15		0.2255	14.282	0.000	75913
16		0.1402	14.334	0.000	47200
17		0.0505	14.499	0.000	17007
18		0.0300	15.499	0.000	10112
19		0.0341	17.257	0.000	11479
20		0.0082	20.156	0.000	2775
21		0.0110	20.664	0.000	3699

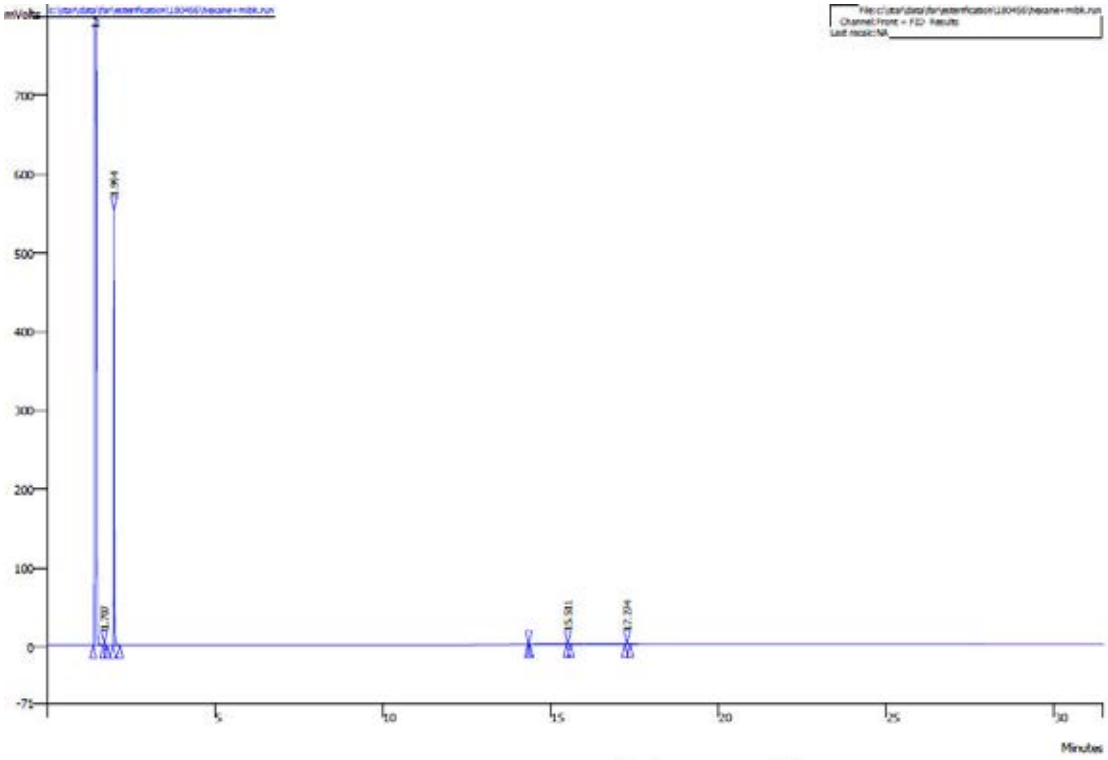
ชนิดของสาร		Retention time (นาที)
เฮกเซน		1.431
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน		1.997
เมทิลคาร์ไพเรต	C8:0	6.448
เมทิลคาร์เพรต	C10:0	9.495
เมทิลลอเรต	C12:0	11.113
เมทิลไมริสเตท	C14:0	12.280
เมทิลปาล์มิเตท	C16:0	13.278
เมทิลสเตียเรต	C18:0	14.282
เมทิลโอเลเอต	C18:1	14.334
เมทิลไลโนเลเอต	C18:2	14.499

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง (เอทิลเอสเทอร์)

ที่ได้จากการทดลองโดยอาศัยเทคนิคแก๊สโครมาโตรกราฟฟี

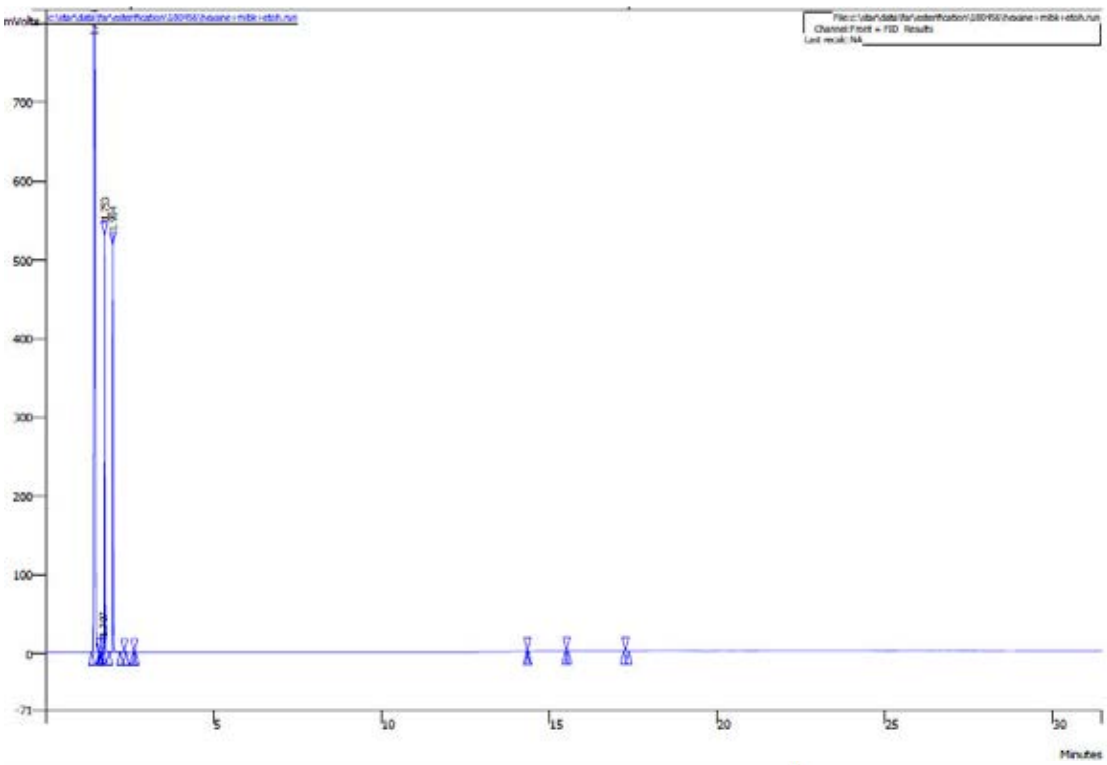
จ-1 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานภายใน (เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน)



Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)
1		96.3362	1.431	0.000	16280350
2		0.0168	1.707	0.000	2835
3		3.6311	1.994	0.000	613632
4		0.0059	15.511	0.000	1001
5		0.0100	17.274	0.000	1695

ชนิดของสาร	Retention Time (นาที)
เฮกเซน	1.431
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน	1.994

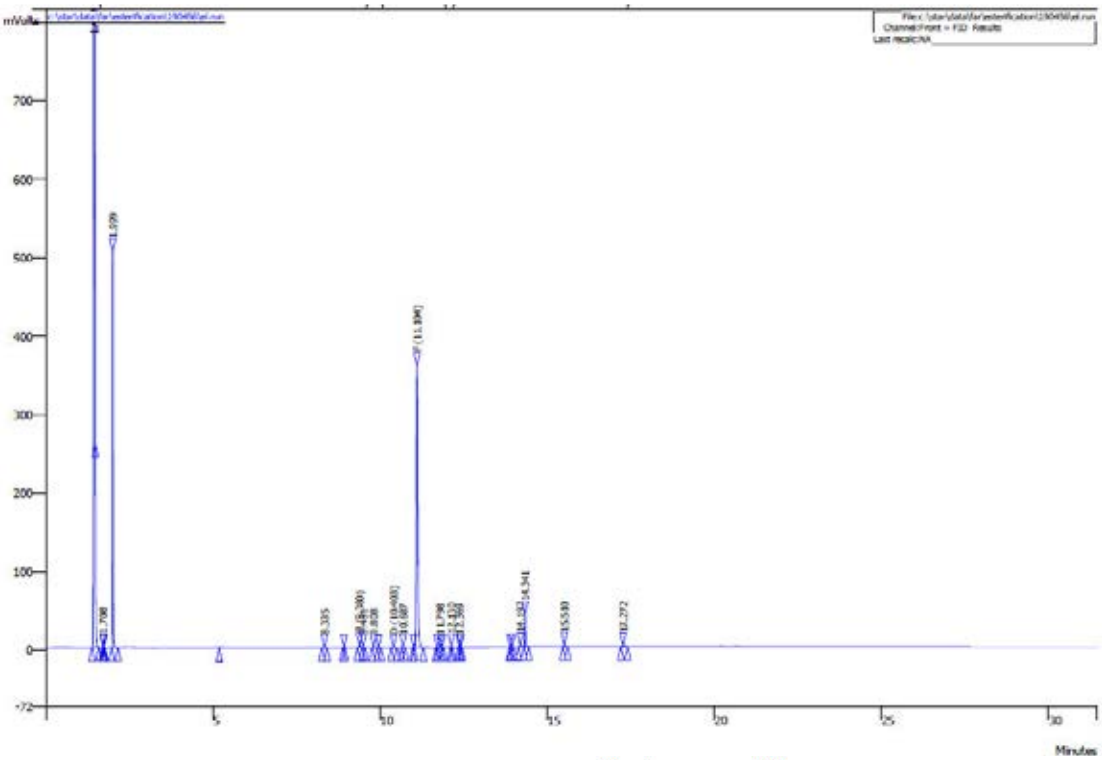
จ-2 แสดงผลการวิเคราะห์เอทานอล



Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)
1		92.2612	1.433	0.000	13782009
2		0.0127	1.707	0.000	1891
3		3.8577	1.753	0.000	576263
4		3.8684	1.994	0.000	577868

ชนิดของสาร	Retention Time (นาที)
เฮกเซน	1.431
เอทานอล	1.753
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน	1.994

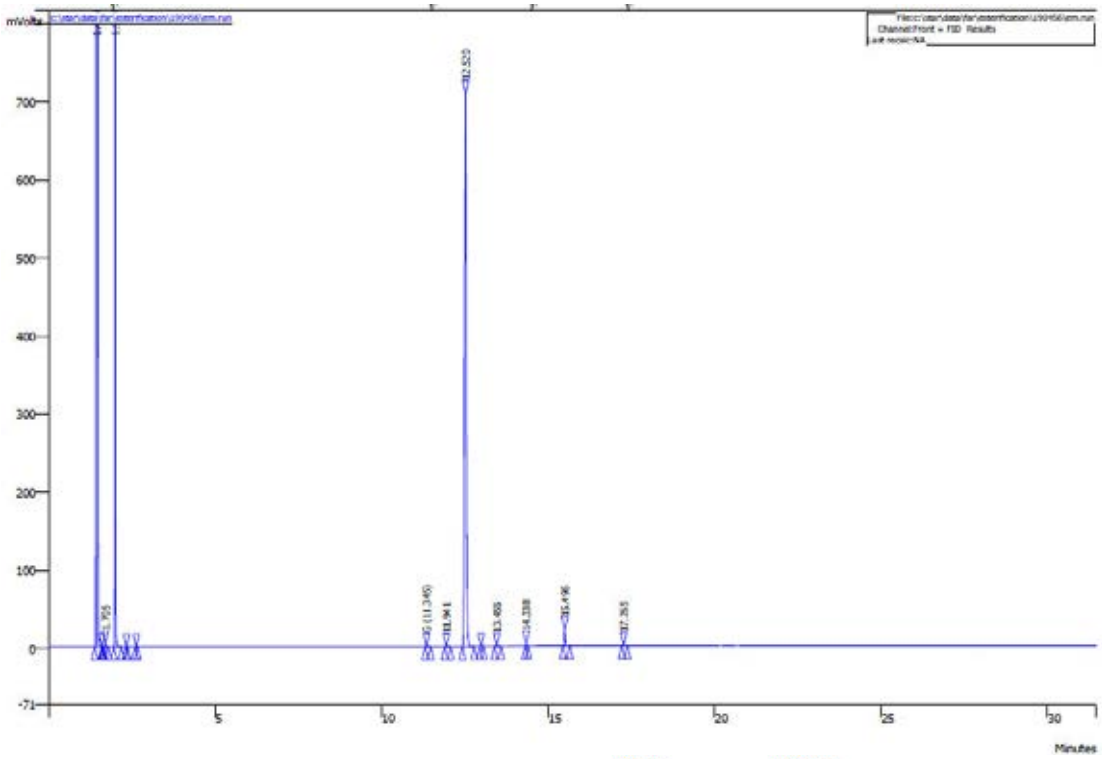
จ-3 แสดงผลการวิเคราะห์เอทิลลอเรต



Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)
1		85.5113	1.431	0.000	13730120
2		3.4729	1.457	0.000	557619
3		0.0139	1.708	0.000	2238
4		3.2640	1.999	0.000	524082
5		0.0169	8.335	0.000	2709
6	B	0.0708	9.380	0.165	11368
7		0.0151	9.491	0.000	2424
8		0.0195	9.808	0.000	3128
9	D	0.0131	10.403	0.138	2111
10		0.0098	10.687	0.000	1570
11	F	7.0406	11.104	0.013	1130479
12		0.0105	11.798	0.000	1690
13		0.0110	12.130	0.000	1763
14		0.0070	12.369	0.000	1126
15		0.0543	14.197	0.000	8711
16		0.3869	14.341	0.000	62125
17		0.0412	15.510	0.000	6611
18		0.0413	17.272	0.000	6624

ชนิดของสาร	Retention Time (นาที)
เฮกเซน	1.431
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน	1.999
เอทิลลอเรต	11.104

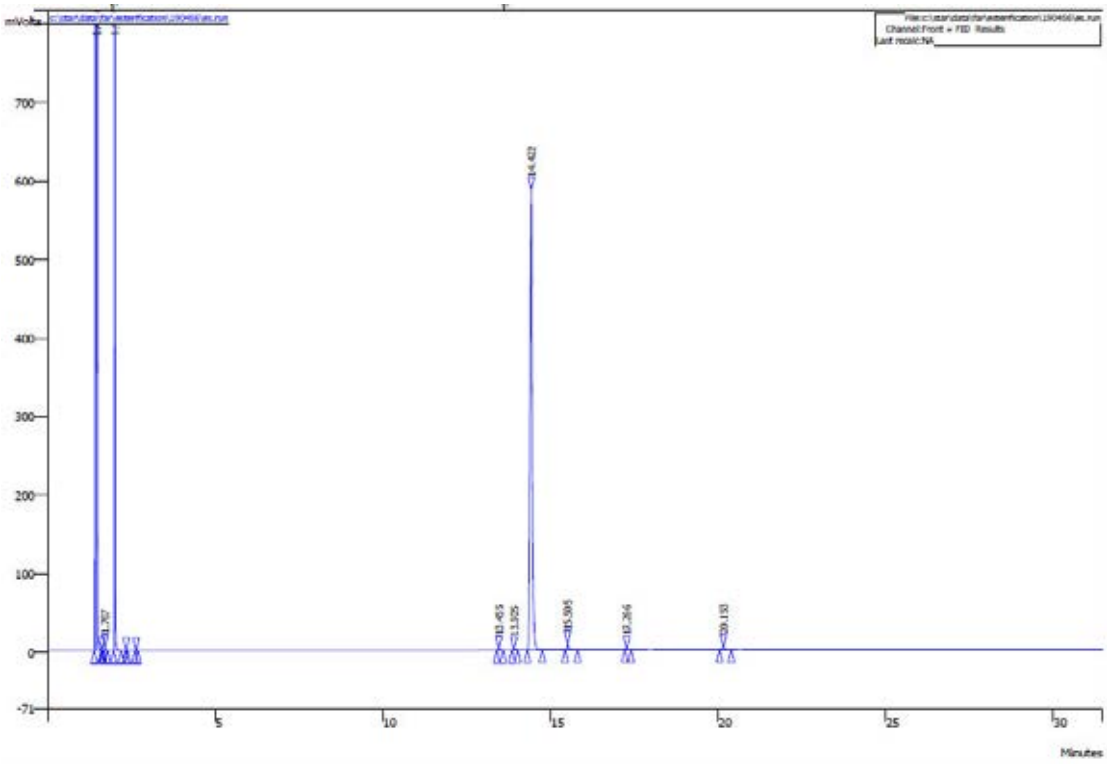
จ-4 แสดงผลการวิเคราะห์เอทิลไมริสเตท



Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)
1		78.3906	1.431	0.000	25414462
2		10.2998	1.459	0.000	3339219
3		0.0149	1.705	0.000	4828
4		3.3218	1.994	0.000	1076941
5	G	0.0141	11.345	0.105	4571
6		0.0072	11.941	0.000	2348
7		7.7751	12.520	0.000	2520724
8		0.0162	13.455	0.000	5243
9		0.0149	14.338	0.000	4838
10		0.1360	15.496	0.000	44098
11		0.0094	17.265	0.000	3038

ชนิดของสาร	Retention Time (นาที)
เฮกเซน	1.431
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน	1.994
เอทิลไมริสเตรท	12.520

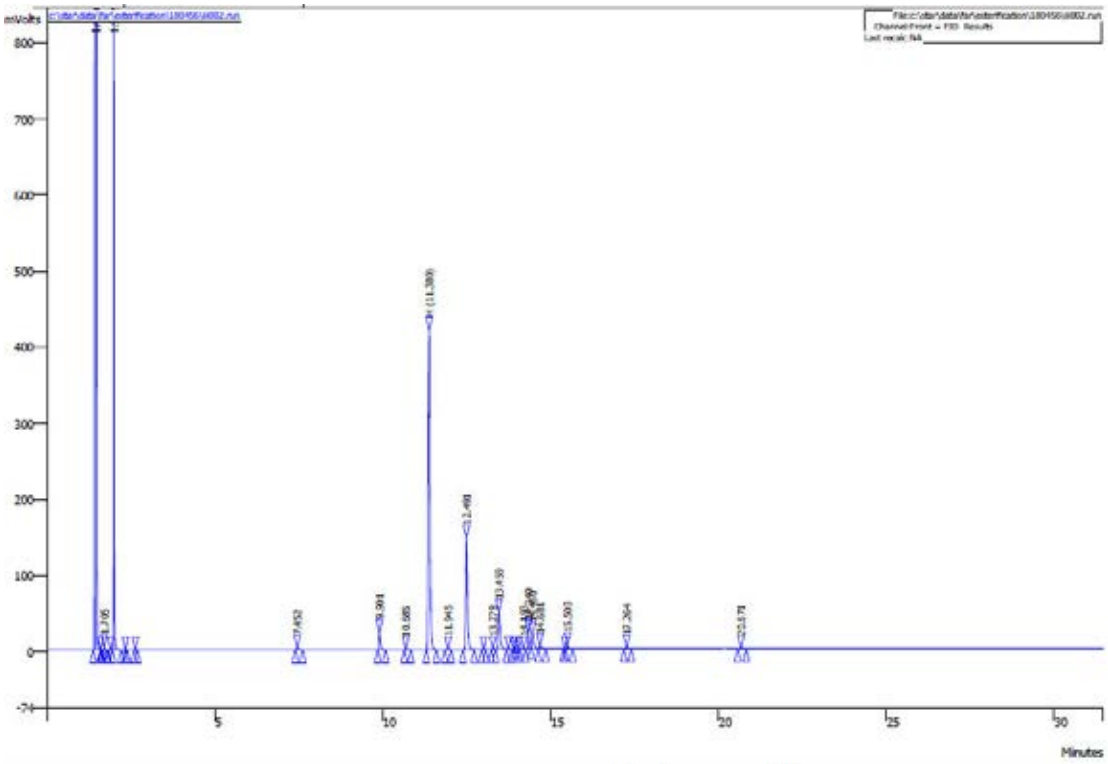
จ-5 แสดงผลการวิเคราะห์เอทิลสเตียเรต



Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)
1		77.5045	1.431	0.000	25649316
2		10.7162	1.460	0.000	3546415
3		0.0127	1.707	0.000	4190
4		3.4278	1.997	0.000	1134389
5		0.0242	13.455	0.000	8002
6		0.0099	13.905	0.000	3261
7		8.1389	14.422	0.000	2693487
8		0.0989	15.505	0.000	32719
9		0.0082	17.266	0.000	2714
10		0.0589	20.153	0.000	19496

ชนิดของสาร	Retention Time (นาที)
เฮกเซน	1.431
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน	1.997
เอทิลไมริสเตียเรต	14.422

จ-6 แสดงผลการวิเคราะห์เอทิลเอสเทอร์อย่างสมบูรณ์



Peak No.	Peak Name	Result ()	Ret. Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)
1		78.0895	1.431	0.000	23690444
2		10.0020	1.459	0.000	3034351
3		0.0128	1.705	0.000	3888
4		3.5094	1.992	0.000	1064669
5		0.0287	7.452	0.000	8711
6		0.2192	9.901	0.000	66500
7		0.0038	10.685	0.000	1140
8	H	5.0935	11.380	-0.092	1545257
9		0.0053	11.945	0.000	1611
10		1.7911	12.491	0.000	543384
11		0.0056	13.278	0.000	1690
12		0.6633	13.459	0.000	201234
13		0.0049	14.193	0.000	1497
14		0.1794	14.340	0.000	54437
15		0.2801	14.460	0.000	84975
16		0.0500	14.681	0.000	15162
17		0.0367	15.503	0.000	11128
18		0.0192	17.264	0.000	5823
19		0.0054	20.671	0.000	1651

ชนิดของสาร	Retention Time (นาที)
เฮกเซน	1.431
เมทิลไอโซบิวทิวคีโตน	1.992
เอทิลคาร์ไพเรต	7.452
เอทิลคาร์เพรต	9.901
เอทิลลอเรต	11.380
เอทิลไมริสเตท	12.491
เอทิลปาล์มิเตท	13.459
เอทิลสเตียเรต	14.340
เอทิลโอเลเอต	14.460
เอทิลไลโนเลเอต	14.681

ภาคผนวก ฉ
ข้อมูลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

ฉ-1 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 และ 90 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ฉ-1.1 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.57	0.00
2	5	1.56	0.36
3	10	1.55	0.92
4	15	1.56	0.71
5	30	1.54	1.90
6	45	1.55	1.10
7	60	1.56	0.42
8	120	1.51	3.48
9	180	1.56	0.53
10	240	1.53	2.24
11	300	1.55	1.31
12	360	1.55	1.20
13	420	1.57	0.19
14	480	1.50	4.42

ตารางที่ ฉ-1.2 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.56	0.00
2	5	1.56	0.01
3	10	1.55	0.71
4	15	1.44	7.62
5	30	1.40	9.91
6	45	1.40	10.40
7	60	1.43	8.14
8	120	1.36	12.44
9	180	1.30	16.55
10	240	1.34	13.78
11	300	1.33	14.39
12	360	1.30	16.54
13	420	1.26	19.41
14	480	1.23	20.90

ฉ-2 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98 และ 99 กับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

ตารางที่ ฉ-2.1 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.77	0.00
2	5	1.74	1.58
3	10	1.60	9.53
4	15	1.45	17.75
5	30	1.31	25.76
6	45	1.28	27.79
7	60	1.04	40.91
8	120	0.82	53.48
9	180	0.57	67.73
10	240	0.42	76.12
11	300	0.41	76.80
12	360	0.31	82.50
13	420	0.32	81.70
14	480	0.30	83.02

ตารางที่ ฉ-2.2 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล ที่มีความบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.9 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.87	0.0
2	5	1.57	16.2
3	10	1.47	21.3
4	15	1.40	25.0
5	30	1.31	29.8
6	45	1.18	36.7
7	60	0.98	47.7
8	120	0.65	65.1
9	180	0.54	71.0
10	240	0.45	75.8
11	300	0.30	84.0
12	360	0.22	88.5
13	420	0.23	87.6
14	480	0.25	86.4

ฉ-3 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง 50 – 600 รอบต่อนาที

ตารางที่ ฉ-3.1 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 50 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.95	0.00
2	5	1.92	1.85
3	10	1.88	3.55
4	15	1.77	9.29
5	30	1.69	13.59
6	45	1.61	17.46
7	60	1.55	20.64
8	120	1.28	34.22
9	180	1.18	39.29
10	240	0.99	49.08
11	300	0.93	52.18
12	360	0.87	55.34
13	420	0.75	61.33
14	480	0.74	62.14

ตารางที่ ฉ-3.2 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 100 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.72	0.00
2	5	1.64	4.85
3	10	1.60	7.25
4	15	1.40	18.38
5	30	1.29	24.73
6	45	1.18	31.46
7	60	1.06	38.40
8	120	0.78	54.70
9	180	0.44	74.45
10	240	0.30	82.70
11	300	0.25	85.33
12	360	0.14	91.62
13	420	0.09	94.50
14	480	0.12	92.87

ตารางที่ ฉ-3.3 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 200 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.80	0.00
2	5	1.68	6.76
3	10	1.63	9.34
4	15	1.39	22.70
5	30	1.28	29.02
6	45	1.16	35.78
7	60	0.93	48.11
8	120	0.62	65.38
9	180	0.41	76.99
10	240	0.21	88.14
11	300	0.19	89.22
12	360	0.10	94.24
13	420	0.10	94.39
14	480	0.07	95.99

ตารางที่ ฉ-3.4 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.56	0.00
2	5	1.54	1.03
3	10	1.49	4.09
4	15	1.41	9.63
5	30	1.16	25.56
6	45	1.04	33.37
7	60	0.93	40.54
8	120	0.59	62.28
9	180	0.41	73.48
10	240	0.27	82.81
11	300	0.20	86.98
12	360	0.13	91.46
13	420	0.14	91.21
14	480	0.09	93.90

ตารางที่ ฉ-3.5 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 600 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.74	0.00
2	5	1.64	5.76
3	10	1.58	9.53
4	15	1.49	14.66
5	30	1.36	21.97
6	45	1.14	34.79
7	60	0.98	43.57
8	120	0.66	62.20
9	180	0.46	73.46
10	240	0.28	83.84
11	300	0.23	87.08
12	360	0.21	87.94
13	420	0.06	96.27
14	480	0.07	96.24

ฉ-4 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวระหว่าง 1:1 – 1:12

ตารางที่ ฉ-4.1 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:1

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	3.07	0.00
2	5	3.03	1.29
3	10	2.94	4.20
4	15	2.85	7.23
5	30	2.78	9.30
6	45	2.80	8.91
7	60	2.70	12.17
8	120	2.73	11.19
9	180	2.53	17.43
10	240	2.43	20.79
11	300	2.37	22.82
12	360	2.28	25.56
13	420	2.19	28.76
14	480	2.17	29.39

ตารางที่ ฉ-4.2 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:2

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	2.68	0.00
2	5	2.57	4.05
3	10	2.52	5.88
4	15	2.42	9.57
5	30	2.34	12.78
6	45	2.35	12.33
7	60	2.32	13.40
8	120	2.27	15.39
9	180	1.92	28.21
10	240	1.72	35.74
11	300	1.73	35.54
12	360	1.70	36.63
13	420	1.65	38.51
14	480	1.56	41.57

ตารางที่ ฉ-4.3 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:4

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	2.16	0.00
2	5	2.13	1.57
3	10	2.12	2.01
4	15	1.99	7.89
5	30	1.90	12.23
6	45	1.81	16.16
7	60	1.56	28.03
8	120	1.24	42.85
9	180	1.09	49.66
10	240	0.96	55.75
11	300	0.72	66.53
12	360	0.65	69.97
13	420	0.61	71.69
14	480	0.55	74.72

ตารางที่ ฉ-4.4 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:8

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.74	0.00
2	5	1.64	5.76
3	10	1.58	9.53
4	15	1.49	14.66
5	30	1.36	21.97
6	45	1.14	34.79
7	60	0.98	43.57
8	120	0.66	62.20
9	180	0.46	73.46
10	240	0.28	83.84
11	300	0.23	87.08
12	360	0.21	87.94
13	420	0.06	96.27
14	480	0.07	96.24

ตารางที่ ฉ-4.5 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.28	0.00
2	5	1.12	11.97
3	10	1.13	11.81
4	15	1.10	13.57
5	30	0.92	28.07
6	45	0.80	37.23
7	60	0.64	49.72
8	120	0.36	71.62
9	180	0.25	80.17
10	240	0.15	88.10
11	300	0.08	93.85
12	360	0.03	97.54
13	420	0.03	97.67
14	480	0.03	97.58

ตารางที่ ฉ-4.6 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:12

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.27	0.00
2	5	1.26	1.18
3	10	1.22	3.76
4	15	1.15	9.64
5	30	0.94	26.33
6	45	0.74	41.51
7	60	0.61	52.17
8	120	0.30	76.12
9	180	0.21	83.11
10	240	0.09	92.91
11	300	0.06	95.43
12	360	0.12	90.83
13	420	0.06	95.07
14	480	0.09	92.61

ฉ-5 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 60-90 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ฉ-5.1 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.38	0.00
2	5	1.34	2.85
3	10	1.30	5.71
4	15	1.27	8.15
5	30	1.22	11.67
6	45	1.14	17.24
7	60	1.12	19.33
8	120	0.97	29.87
9	180	0.86	37.74
10	240	0.70	49.59
11	300	0.67	51.44
12	360	0.65	52.75
13	420	0.53	61.64
14	480	0.52	62.15

ตารางที่ ฉ-5.2 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.37	0.00
2	5	1.36	0.65
3	10	1.25	9.24
4	15	1.26	8.36
5	30	1.18	13.77
6	45	1.10	20.24
7	60	1.06	23.02
8	120	0.84	38.85
9	180	0.54	60.79
10	240	0.44	67.91
11	300	0.46	66.23
12	360	0.35	74.83
13	420	0.31	77.65
14	480	0.24	82.32

ตารางที่ ฉ-5.3 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 80 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.34	0.00
2	5	1.23	8.14
3	10	1.14	15.08
4	15	1.08	19.58
5	30	1.00	25.57
6	45	0.81	39.85
7	60	0.86	36.09
8	120	0.63	52.68
9	180	0.44	67.12
10	240	0.29	78.31
11	300	0.26	80.28
12	360	0.18	86.51
13	420	0.17	87.30
14	480	0.12	91.24

ตารางที่ ฉ-5.4 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.28	0.00
2	5	1.12	11.97
3	10	1.13	11.81
4	15	1.10	13.57
5	30	0.92	28.07
6	45	0.80	37.23
7	60	0.64	49.72
8	120	0.36	71.62
9	180	0.25	80.17
10	240	0.15	88.10
11	300	0.08	93.85
12	360	0.03	97.54
13	420	0.03	97.67
14	480	0.03	97.58

ฉ-6 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ ฉ-6.1 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที เมื่อมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นครั้งแรก

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.28	0.00
2	5	1.12	11.97
3	10	1.13	11.81
4	15	1.10	13.57
5	30	0.92	28.07
6	45	0.80	37.23
7	60	0.64	49.72
8	120	0.36	71.62
9	180	0.25	80.17
10	240	0.15	88.10
11	300	0.08	93.85
12	360	0.03	97.54
13	420	0.03	97.67
14	480	0.03	97.58

ตารางที่ ฉ-6.2 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.30	0.00
2	5	1.29	0.93
3	10	1.12	14.01
4	15	1.03	20.68
5	30	0.86	33.88
6	45	0.66	49.63
7	60	0.50	61.30
8	120	0.26	79.83
9	180	0.14	89.22
10	240	0.09	93.12
11	300	0.06	95.24
12	360	0.06	95.46
13	420	0.06	95.55
14	480	0.06	95.37

ตารางที่ ฉ-6.3 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.48	0.00
2	5	1.30	12.32
3	10	1.22	17.53
4	15	1.07	28.05
5	30	0.86	41.76
6	45	0.66	55.31
7	60	0.52	65.19
8	120	0.20	86.54
9	180	0.16	89.55
10	240	0.06	95.79
11	300	0.06	95.65
12	360	0.06	95.69
13	420	0.06	95.67
14	480	0.07	95.53

ตารางที่ ฉ-6.4 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเมทานอล 1:10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.60	0.00
2	5	1.45	8.94
3	10	1.07	33.17
4	15	1.14	28.25
5	30	0.94	41.19
6	45	0.76	52.43
7	60	0.59	62.73
8	120	0.19	88.27
9	180	0.16	90.18
10	240	0.06	96.43
11	300	0.07	95.82
12	360	0.06	96.29
13	420	0.06	96.16
14	480	0.06	96.04

ภาคผนวก ช
ข้อมูลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20

ช-1 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 และ 90 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ช-1.1 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.72	0.00
2	5	0.72	0.01
3	10	0.72	0.41
4	15	0.72	0.57
5	30	0.72	0.31
6	45	0.72	0.13
7	60	0.71	1.52
8	120	0.70	3.02
9	180	0.71	1.88
10	240	0.71	2.15
11	300	0.69	4.90
12	360	0.70	2.45
13	420	0.71	1.24
14	480	0.66	8.84

ตารางที่ ช-1.2 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.74	0.00
2	5	0.72	1.66
3	10	0.66	11.05
4	15	0.71	3.14
5	30	0.72	1.85
6	45	0.72	2.50
7	60	0.69	6.27
8	120	0.71	3.70
9	180	0.72	2.89
10	240	0.71	3.49
11	300	0.67	8.65
12	360	0.69	5.75
13	420	0.69	5.82
14	480	0.62	16.04

ช-2 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง 50-600 รอบต่อนาที

ตารางที่ ช-2.1 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 50 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.31	0.00
2	5	1.25	4.82
3	10	1.18	10.45
4	15	1.20	8.70
5	30	1.18	10.37
6	45	1.06	19.12
7	60	1.09	17.15
8	120	0.89	31.96
9	180	0.84	36.36
10	240	0.76	42.07
11	300	0.67	49.15
12	360	0.64	51.40
13	420	0.51	61.26
14	480	0.48	63.74

ตารางที่ ช-2.2 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 100 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.47	0.00
2	5	1.34	8.82
3	10	1.34	9.25
4	15	1.33	9.66
5	30	1.30	11.89
6	45	1.23	16.29
7	60	1.18	19.89
8	120	0.85	42.10
9	180	0.76	48.03
10	240	0.64	56.47
11	300	0.52	64.48
12	360	0.46	68.48
13	420	0.39	73.66
14	480	0.35	75.99

ตารางที่ ช-2.3 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 200 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.24	0.00
2	5	1.23	0.60
3	10	1.21	2.49
4	15	1.20	3.37
5	30	1.12	9.14
6	45	1.06	14.11
7	60	0.99	19.94
8	120	0.77	38.08
9	180	0.68	45.23
10	240	0.54	55.95
11	300	0.48	61.25
12	360	0.40	67.45
13	420	0.39	68.17
14	480	0.32	74.51

ตารางที่ ช-2.4 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.24	0.00
2	5	1.23	0.20
3	10	1.23	0.44
4	15	1.22	1.29
5	30	1.10	10.78
6	45	1.04	15.74
7	60	0.96	22.78
8	120	0.78	36.86
9	180	0.63	48.81
10	240	0.51	58.76
11	300	0.48	61.54
12	360	0.38	69.10
13	420	0.31	75.32
14	480	0.31	74.77

ตารางที่ ช-2.5 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 600 รอบต่อนาที

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.29	0.00
2	5	1.23	5.15
3	10	1.25	3.18
4	15	1.19	7.93
5	30	1.15	11.30
6	45	1.09	15.69
7	60	1.03	20.32
8	120	0.86	33.91
9	180	0.76	41.07
10	240	0.59	54.05
11	300	0.53	59.12
12	360	0.52	59.93
13	420	0.40	68.73
14	480	0.35	72.93

ช-3 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอลระหว่าง 1:1-1:20

ตารางที่ ช-3.1 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:1

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	2.69	0.00
2	5	2.66	0.96
3	10	2.66	1.24
4	15	2.59	3.70
5	30	2.56	4.75
6	45	2.57	4.55
7	60	2.57	4.34
8	120	2.30	14.41
9	180	2.24	16.78
10	240	2.18	18.78
11	300	2.17	19.47
12	360	2.05	23.61
13	420	1.99	26.03
14	480	1.86	30.82

ตารางที่ ช-3.2 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:2

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	2.49	0.0
2	5	2.46	1.4
3	10	2.47	0.8
4	15	2.35	5.9
5	30	2.24	10.2
6	45	2.24	10.3
7	60	2.11	15.2
8	120	2.12	14.9
9	180	1.86	25.4
10	240	1.74	30.3
11	300	1.73	30.5
12	360	1.67	33.1
13	420	1.62	34.9
14	480	1.58	36.8

ตารางที่ ช-3.3 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:4

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.81	0.00
2	5	1.77	2.22
3	10	1.81	0.32
4	15	1.80	0.77
5	30	1.67	7.63
6	45	1.62	10.39
7	60	1.61	11.31
8	120	1.29	28.69
9	180	1.16	36.05
10	240	1.05	42.06
11	300	0.90	50.34
12	360	0.87	51.76
13	420	0.85	53.11
14	480	0.77	57.68

ตารางที่ ช-3.4 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:8

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	1.24	0.00
2	5	1.23	0.20
3	10	1.23	0.44
4	15	1.22	1.29
5	30	1.10	10.78
6	45	1.04	15.74
7	60	0.96	22.78
8	120	0.78	36.86
9	180	0.63	48.81
10	240	0.51	58.76
11	300	0.48	61.54
12	360	0.38	69.10
13	420	0.31	75.32
14	480	0.31	74.77

ตารางที่ ช-3.5 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:12

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.98	0.00
2	5	0.94	4.29
3	10	0.94	4.35
4	15	0.90	8.63
5	30	0.82	16.27
6	45	0.74	24.97
7	60	0.73	25.43
8	120	0.59	40.30
9	180	0.43	56.09
10	240	0.37	62.27
11	300	0.30	69.18
12	360	0.20	79.89
13	420	0.18	81.46
14	480	0.13	87.05

ตารางที่ ช-3.6 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:16

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.80	0.00
2	5	0.78	1.81
3	10	0.76	4.34
4	15	0.74	7.19
5	30	0.70	12.09
6	45	0.61	24.04
7	60	0.60	25.34
8	120	0.43	45.78
9	180	0.29	64.23
10	240	0.26	67.88
11	300	0.20	75.11
12	360	0.13	84.24
13	420	0.13	84.30
14	480	0.06	92.26

ตารางที่ ช-3.7 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.80	0.00
2	5	0.71	11.18
3	10	0.67	16.87
4	15	0.67	16.03
5	30	0.68	15.20
6	45	0.60	24.64
7	60	0.57	28.77
8	120	0.40	50.01
9	180	0.34	56.98
10	240	0.26	67.11
11	300	0.19	76.13
12	360	0.13	83.66
13	420	0.13	83.55
14	480	0.10	87.68

ตารางที่ ช-3.8 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:20

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.66	0.00
2	5	0.65	1.36
3	10	0.63	4.30
4	15	0.63	3.76
5	30	0.59	11.12
6	45	0.53	20.09
7	60	0.46	29.95
8	120	0.37	43.92
9	180	0.25	61.39
10	240	0.21	68.68
11	300	0.15	76.69
12	360	0.12	81.92
13	420	0.12	81.90
14	480	0.06	90.74

ช-4 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 60-90 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ช-4.1 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.81	0.00
2	5	0.78	3.82
3	10	0.73	9.57
4	15	0.71	12.44
5	30	0.70	13.98
6	45	0.66	18.41
7	60	0.63	21.93
8	120	0.64	21.42
9	180	0.62	23.03
10	240	0.57	29.60
11	300	0.54	33.27
12	360	0.51	36.90
13	420	0.44	45.61
14	480	0.41	49.08

ตารางที่ ช-4.2 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.73	0.00
2	5	0.71	1.81
3	10	0.71	1.83
4	15	0.72	1.14
5	30	0.67	8.24
6	45	0.63	13.56
7	60	0.59	18.88
8	120	0.54	25.87
9	180	0.47	35.38
10	240	0.46	36.32
11	300	0.44	39.94
12	360	0.37	48.84
13	420	0.36	51.04
14	480	0.30	58.93

ตารางที่ ช-4.3 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 80 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.80	0.00
2	5	0.77	3.53
3	10	0.71	10.78
4	15	0.69	14.27
5	30	0.67	15.96
6	45	0.65	19.26
7	60	0.64	19.89
8	120	0.55	31.84
9	180	0.44	45.54
10	240	0.32	60.48
11	300	0.25	68.54
12	360	0.20	74.72
13	420	0.17	78.99
14	480	0.13	83.39

ตารางที่ ช-4.4 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18 ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.80	0.00
2	5	0.71	11.18
3	10	0.67	16.87
4	15	0.67	16.03
5	30	0.68	15.20
6	45	0.60	24.64
7	60	0.57	28.77
8	120	0.40	50.01
9	180	0.34	56.98
10	240	0.26	67.11
11	300	0.19	76.13
12	360	0.13	83.66
13	420	0.13	83.55
14	480	0.10	87.68

ช-5 แสดงผลการทดลองของการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนแอมเบอร์ลิสต์ บีดี 20 เมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ ช-5.1 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18, อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาที เมื่อมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นครั้งแรก

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.80	0.00
2	5	0.71	11.18
3	10	0.67	16.87
4	15	0.67	16.03
5	30	0.68	15.20
6	45	0.60	24.64
7	60	0.57	28.77
8	120	0.40	50.01
9	180	0.34	56.98
10	240	0.26	67.11
11	300	0.19	76.13
12	360	0.13	83.66
13	420	0.13	83.55
14	480	0.10	87.68

ตารางที่ ช-5.2 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18, อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.75	0.00
2	5	0.69	7.28
3	10	0.66	11.79
4	15	0.65	12.84
5	30	0.57	23.31
6	45	0.56	25.31
7	60	0.48	35.48
8	120	0.39	48.36
9	180	0.32	56.59
10	240	0.22	70.85
11	300	0.19	74.97
12	360	0.12	83.64
13	420	0.12	84.26
14	480	0.06	91.49

ตารางที่ ช-5.3 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18, อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.72	0.00
2	5	0.66	7.65
3	10	0.65	9.02
4	15	0.68	5.51
5	30	0.58	18.86
6	45	0.55	23.05
7	60	0.56	22.69
8	120	0.43	40.04
9	180	0.35	51.47
10	240	0.27	63.07
11	300	0.21	71.29
12	360	0.12	82.66
13	420	0.12	83.33
14	480	0.12	83.50

ตารางที่ ช-5.4 แสดงผลการทดลองของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของเอทานอลกับกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าวต่อเอทานอล 1:18, อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวนของเครื่องปฏิกรณ์ 400 รอบต่อนาทีและเมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3

ตัวอย่างที่	เวลา (นาที)	ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว (โมลต่อลิตร)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่กลั่นได้จากน้ำมันมะพร้าว
1	0	0.80	0.00
2	5	0.78	2.96
3	10	0.73	9.15
4	15	0.69	13.50
5	30	0.73	8.35
6	45	0.59	26.08
7	60	0.58	27.46
8	120	0.50	37.63
9	180	0.38	52.29
10	240	0.30	62.38
11	300	0.26	67.63
12	360	0.23	71.14
13	420	0.15	81.07
14	480	0.13	84.31

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุธาสิน เสนานิกรม เกิดเมื่อวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร มีพี่น้องรวม 2 คน เป็นบุตรสาวคนเล็กของครอบครัว ในปีการศึกษา 2550 สำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และในปีการศึกษา 2554 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษา