การศึกษาความเป็นไปได้ของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์ม ที่ความดันบรรยากาศในตัวทำละลายแอลกอฮอล์

FEASIBILITY STUDY ON HYDROLYSIS OF PALM OIL AT ATMOSPHERIC PRESSURE IN ALCOHOL SOLVENTS

ชนน ตระกูลน่าเลื่อมใส
CHANON TRAKULNALEAMSAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-220-058

การศึกษาความเป็นไปได้ของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์ม ที่ความดันบรรยากาศในตัวทำละลายแอลกอฮอล์

FEASIBILITY STUDY ON HYDROLYSIS OF PALM OIL AT ATMOSPHERIC PRESSURE IN ALCOHOL SOLVENTS

ชนน ตระกูลน่าเลื่อมใส
CHANON TRAKULNALEAMSAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-220-058

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEASIBILITY STUDY ON HYDROLYSIS OF PALM OIL AT ATMOSPHERIC PRESSURE IN ALCOHOL SOLVENTS

CHANON TRAKULNALEAMSAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

KMITL-2019-EN-M-220-058

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มที่ความดันบรรยากาศในตัวทำละลายแอลกอฮอล์
นักศึกษา	นายชนน ตระกูลน่าเลื่อมใส
รหัสนักศึกษา	60601079
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

บทคัดย่อ

การผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มโอเลอินด้วยน้ำโดยอาศัยกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาใช้อุณหภูมิและความดันที่สูง งานวิจัยครั้งนี้ต้องการที่จะลดอุณหภูมิและความดันในการผลิตกรดไขมันอิสระ แต่การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่สภาวะดังกล่าวนั้นสามารถผลิตกรดไขมันอิสระได้น้อยมากเนื่องจากน้ำไม่ละลายในวัฏภาคน้ำมัน จึงได้เลือกใช้ตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับ เมทิล และเอทิลแอลกอฮอล์ เข้าช่วยให้น้ำสามารถละลายในชั้นน้ำมัน โดยวิเคราะห์จากสมการ UNIFAC เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำภายใต้ความดันบรรยากาศ จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เมื่อเติมตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนโดยมวลเท่ากับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ได้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นร้อยละ 41 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มากลั่นแยกกรดไขมันอิสระออก แล้วนำไปทำปฏิกิริยาในรอบที่สองได้กรดไขมันอิสระทั้งหมดร้อยละ 65 ในเวลารวม 12 ชั่วโมง แบ่งเป็นรอบละ 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Feasibility Study on Hydrolysis of Palm Oil at Atmospheric Pressure in Alcohol Solvents
Student	Mr. Chanon Trakulnaleamsai
Student ID.	60601079
Degree	Master of Engineering
Programme	Chemical Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya

ABSTRACT

Production of free fatty acids from hydrolysis of palm olein using acid catalyst has been conducted at high temperature and pressure. This research objects to reduce the hydrolysis temperature and pressure. Hydrolysis at this mild condition can produce only a small amount of free fatty acids due to immiscibility of water and oil. Isopropyl alcohol is the most suitable solvent compared to methyl and ethyl alcohol for palm oil hydrolysis. Isopropyl alcohol, palm oil and water were analyzed by liquid-liquid equilibrium of UNIFAC equation to study the possibility of homogeneous at low temperatures under atmospheric pressure. Addition of Isopropyl alcohol at the mass ratio equal to palm olein oil, the amount of free fatty acids increased by 41 percent at 90°C within 14 hours. This product is distilled to separate free fatty acids, and it is further reacted in the second step by the same reaction condition to yield 65% of free fatty acid after 12 hours of total reaction time, in which they are 6 hours duration for each reaction step.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจากรศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่ให้ความช่วยเหลือชี้แนะในการแก้ปัญหาตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่ให้ความช่วยเหลือเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมหมาย ผิวสอาด กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำข้อชี้แนะ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณธนบูรณ์ พันธ์สุวรรณ และคุณธีรพันธ์ ตั้งกิตติมศักดิ์ สำหรับความช่วยเหลือในการทดลอง การจัดหาอุปกรณ์และสารเคมี รวมทั้งคอยให้คำปรึกษา ทำให้โครงการวิจัยดำเนินไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอน้อมรับและขออภัยไว้ ณ ที่นี่

ชนน ตระกูลน่าเลื่อมใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

1.3 ขอบเขตของโครงการ.....2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และระบบโอเอฟดีเอ็ม.....4

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น.....4

2.1.1 น้ำมันปาล์ม (palm oil).....4

2.1.2 กรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์ม.....9

2.1.3 ผลิตภัณฑ์รองอื่น ๆ ที่สามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์ม.....12

2.1.4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์ม.....14

2.1.5 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยใช้สารหมู่แอลกอฮอล์.....17

2.1.6 ปฏิกิริยาข้างเคียงของกระบวนการผลิต.....22

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....24

บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง.....27

3.1 การทดลองผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....27

3.1.1 สารเคมี.....27

3.1.2 อุปกรณ์.....27

3.1.3 การเตรียมชุดทดลองเพื่อผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....28

3.1.4 วิธีการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การวิเคราะห์หาร้อยละกรดไขมันอิสระและค่าความเป็นกรด (acid value) ด้วยเทคนิคการไทเทรต....29
3.2.1 การเตรียมสาร....29
3.2.2 วิธีการวิเคราะห์....30
3.3 วิธีการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลสมดุลที่ได้จากการทดลอง....30
3.4 การวิเคราะห์หาปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นด้วยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatograph, HPLC)....33
3.4.1 สารเคมี....33
3.4.2 อุปกรณ์....33
3.4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น....33

บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง....35
4.1 ผลการทดลองการเลือกสารหมู่แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย....35
4.2 ผลการทดลองการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้สารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย....36
4.3 ผลการวิเคราะห์หาปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นด้วยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatograph, HPLC)....42

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....43
5.1 สรุปผลการทดลอง....43
5.2 ข้อเสนอแนะ....44

เอกสารอ้างอิง....45

ภาคผนวก ก การคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าความเป็นกรด....49
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง....50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

2.1 ร้อยละองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์ม 8
2.2 ร้อยละองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม 9
2.3 สรุปงานวิจัยการผลิตกรดไขมันอิสระโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันพืชด้วยน้ำ 26
ข.1 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ณ สภาวะอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ โดยสารหมู่แอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนักรวม 200 กรัม โดยใส่น้ำ 6 กรัม 50
ข.2 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ณ สภาวะอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ โดยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 0.5 1 และ 1.5 โดยน้ำหนัก 51
ข.3 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ณ สภาวะอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ โดยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 0.5 1 และ 1.5 โดยน้ำหนัก 52
ข.4 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ณ สภาวะอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ โดยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 0.5 1 และ 1.5 ต่อโดยน้ำหนัก 53
ข.5 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ณ สภาวะอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ โดยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปกลั่นแยกกรดไขมันอิสระเพื่อทำปฏิกิริยาแบบเดิมซ้ำอีกหนึ่งรอบ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การแปรรูปน้ำมันปาล์มในอุตสาหกรรมโอเคมิคอล	6
2.2	โครงสร้างโมเลกุลของกรดปาลมิติก	10
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของกรดสเตียริก	11
2.4	โครงสร้างโมเลกุลของกรดโอเลอิก	11
2.5	โครงสร้างโมเลกุลของกรดลิโนเลอิก	12
2.6	โครงสร้างของกลีเซอรอล	13
2.7	โครงสร้างของ 1-โมโนกลีเซอไรด์ และ 2-โมโนกลีเซอไรด์ (จากซ้ายไปขวาตามลำดับ)	13
2.8	โครงสร้างของ 1,3-ไดกลีเซอไรด์ และ 1,2-ไดกลีเซฮไรด์ (จากซ้ายไปขวาตามลำดับ)	14
2.9	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน	14
2.10	ค่าพีเอช (pH) ของน้ำ ณ สภาวะกึ่งวิกฤตที่อุณหภูมิต่าง ๆ	16
2.11	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น	16
2.12	โครงสร้างเมทานอล	18
2.13	โครงสร้างเอทานอล	18
2.14	โครงสร้างไอโซโพรพานอล	19
2.15	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	22
2.16	ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน	23
2.17	สารรีเอเจนต์ Twitchell และหลักการการนำไปใช้งาน	24
2.18	กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันดอกทานตะวันด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤต	26
3.1	ชุดทดลองการผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส	28
3.2	การระเหยเพื่อแยกสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และน้ำออกจากระบบ	29
3.3	การกลั่นแบบ Kugelrohr เพื่อแยกกรดไขมันอิสระที่ผลิตได้ออกจากระบบ	29
3.4	ผังงานการคำนวณหาจำนวนโมลขององค์ประกอบต่าง ๆ ในแต่ละวัฏภาค	32
3.5	ตัวอย่างโครมาโทแกรมกรดไขมันอิสระและไตรกลีเซอไรด์	34
3.6	ตัวอย่างโครมาโทแกรมสารหมู่เอสเทอร์	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในตัวทำละลายแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ 35

4.2 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 37

4.3 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 37

4.4 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 37

4.5 แผนภูมิของวัฏภาคในระบบของเหลว-ของเหลวขององค์ประกอบไตรกลีเซอร์ไรด์ใน น้ำมันพืชปาล์มโอเลอิน ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และน้ำ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 39

4.6 แผนภูมิของวัฏภาคในระบบของเหลว-ของเหลวขององค์ประกอบไตรกลีเซอร์ไรด์ใน น้ำมันพืชปาล์มโอเลอิน ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และน้ำ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 39

4.7 แผนภูมิของวัฏภาคในระบบของเหลว-ของเหลวขององค์ประกอบไตรกลีเซอร์ไรด์ใน น้ำมันพืชปาล์มโอเลอิน ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และน้ำ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 40

4.8 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในการทำปฏิกิริยารอบที่สองโดยใช้ตัวทำละลาย ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 100 กรัม ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 41

4.9 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในการทำปฏิกิริยาสองรอบโดยใช้ตัวทำละลาย ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 100 กรัม ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

วิกฤตปาล์มน้ำมันรวมถึงผลผลิตจากปาล์มน้ำมันมีราคาลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญของประเทศ เพราะปาล์มน้ำมันถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับต้น ๆ ของประเทศไทย โดยประเทศไทยมีการส่งออกปาล์มน้ำมันเป็นอันดับ 3 ของโลก [1] ดังนั้นการที่ปริมาณการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อบริโภคของตลาดโลกลดลงและยังคงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในอนาคตกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยโดยตรง อันมีสาเหตุหลักมาจากปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าการรับประทานน้ำมันปาล์มในปริมาณที่มากเข้าสู่ร่างกายเป็นการเพิ่มไขมันชนิดที่ไม่ดีให้กับร่างกาย (low density lipoprotein) ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (coronary artery disease) [2] ดังนั้นประชาชนส่วนใหญ่จึงหันไปใช้น้ำมันทางเลือกอื่น ๆ แทน เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันเรพซีด เป็นต้น ดังที่กล่าวมาข้างต้นจึงได้มีการพยายามนำน้ำมันปาล์มไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกอื่นนอกเหนือจากการบริโภค ซึ่งผลิตภัณฑ์หลักที่ได้รับความนิยมคือการนำน้ำมันปาล์มไปผลิตเป็นไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์แทนน้ำมันจากแหล่งผลิตปิโตเลียม แต่ด้วยปัจจัยทางด้านต้นทุนการผลิตของไทยโดยภาพรวมสูงกว่าประเทศเพื่อนบ้านอย่างประเทศมาเลเซีย ส่งผลให้ประเทศไทยมีศักยภาพในการแข่งขันด้านการผลิตไบโอดีเซลในระดับตลาดโลกต่ำ ทำให้โรงงานผลิตไบโอดีเซลลดกำลังการผลิตรวมถึงปิดตัวชั่วคราวเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาราคาน้ำมันปาล์มตกต่ำได้ ปัจจุบันมีแค่แนวทางแก้ไขปัญหาระยะสั้นจากกระทรวงพลังงานโดยการนำเอาน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) ไปเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น [3]

ผลิตภัณฑ์ทางเลือกจากปาล์มน้ำมันที่น่าสนใจในการเพิ่มมูลค่าปาล์มน้ำมันอีกหนึ่งอย่างคือกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) เพราะกรดไขมันอิสระที่ได้จากน้ำมันปาล์มนั้นมีความหลากหลายของชนิดกรดไขมันที่สูง โดยมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัว เช่น กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) และกรดสเตียริก (stearic acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดไขมันอิสระดังกล่าวมีการนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในหลากหลายอุตสาหกรรม [4] ทำให้มูลค่าของกรดไขมันอิสระในตลาดนั้นสูงตามไปด้วย อีกทั้งกระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระนั้นยังได้ผลิตภัณฑ์รองเป็นกลีเซอรีนในกรณีที่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์หรือเป็นโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ในกรณีที่เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ซึ่งสารทั้งสองชนิดถือเป็นสารที่มีมูลค่าเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มสามารถทำได้โดยการนำน้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยทั่วไปจะต้องทำให้น้ำอยู่ในสภาวะกึ่งวิกฤต (subcritical water) ที่อุณหภูมิประมาณ 250 ถึง 260 องศาเซลเซียส และความดันประมาณ 20 ถึง 60 บาร์ เพื่อให้ค่าไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ที่เปลี่ยนไปใกล้เคียงกับเมทานอล [5] ทำให้น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤตมีความสามารถละลายเข้ากับวัฏภาคน้ำมัน น้ำจึงสามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ในน้ำมันได้เป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการได้ แต่กระบวนผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาที่ใช้พลังงานสูง เพื่อให้น้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่อยู่ต่างวัฏภาคกันได้ ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการผลิตที่สูง อีกทั้งยังมีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุในกระบวนการผลิต

การเพิ่มมูลค่าน้ำมันปาล์มโดยนำน้ำมันปาล์มไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดไขมันอิสระซึ่งเป็นทางออกหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหาราคาน้ำมันปาล์มตกต่ำได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำให้กระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสใช้พลังงานในการผลิตลดลง โดยใช้ตัวทำละลายกลุ่มแอลกอฮอล์ที่มีความสามารถละลายทั้งน้ำและน้ำมัน ช่วยให้น้ำอยู่ในวัฏภาคเดียวกับน้ำมันได้ โดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันที่สูง ช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการผลิต อีกทั้งยังทำให้กระบวนการผลิตปลอดภัยขึ้นอีกด้วย โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาหาตัวทำละลายและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดไขมันอิสระ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างน้ำมันปาล์มโอเลอินกับน้ำ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวทำละลายกลุ่มแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำและความดันบรรยากาศ

1.2.2 เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดแก่การทำปฏิกิริยาในรูปแบบของการมีตัวทำละลายกลุ่มแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย โดยสังเกตจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ตัวทำละลาย เวลา และอุณหภูมิ ที่ส่งผลต่อการผลิตกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ทำการศึกษาการผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างน้ำมันปาล์มโอเลอินกับน้ำ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและสารกลุ่มแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย

1.3.2 ทำการศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ และ ตัวทำละลาย

1.3.3 หาข้อมูลสมดุลของระบบของเหลวของเหลวในระบบ ไตรกลีเซอไรด์ สารละลายไอโซ-โพรพิลแอลกอฮอล์ และ น้ำ ที่สภาวะต่าง ๆ ในการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

กระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มกับน้ำด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้สารละลายกลุ่มแอลกอฮอล์สามารถทำปฏิกิริยาได้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำ เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตแบบเดิม และความดันอยู่ที่ความดันบรรยากาศ ทำให้ช่วยลดต้นทุนและความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ เมื่อสามารถผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มได้ในต้นทุนที่ไม่สูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในระดับอุตสาหกรรม โดยรวมถือว่าวิธีนี้เป็นทางออกหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาราคาน้ำมันปาล์มตกต่ำได้และทำให้เศรษฐกิจของประเทศไทยดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1.1 น้ำมันปาล์ม (palm oil) [6]

น้ำมันพืชคือไขมันที่อยู่ในรูปของเหลวเมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิปกติซึ่งเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานในรูปที่เข้มข้นที่สุด ปริมาณไขมันเพียงหนึ่งกรัมให้พลังงานถึงเก้าแคลอรี่ จึงทำให้ในด้านอุตสาหกรรมอาหารนั้นน้ำมันพืชถือเป็นวัตถุดิบหลักในการนำไปประกอบอาหาร ในบรรดาน้ำมันพืชที่ใช้กันในปัจจุบันทั้งทางด้านการบริโภครวมถึงการอุปโภคนั้น น้ำมันปาล์ม (palm oil) จัดว่าเป็นน้ำมันพืชที่มีผู้บริโภคมากที่สุดในโลก โดยมีฐานผลิตหลักอยู่ที่ประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย และไทย ในด้านการบริโภคน้ำมันปาล์มต้องผ่านกระบวนการกลั่นคัดแยกให้ตรงตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน แบ่งเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอิน (palm olein) เหมาะนำมาใช้ปรุงอาหาร รวมถึงการทอดอาหาร เพราะลดโอกาสเกิดสารอนุมูลอิสระจากการทอดลงได้ และน้ำมันปาล์มสเตียริน (palm stearin) ใช้ทำเป็นส่วนประกอบของอาหาร เช่น เนยขาว ครีมเทียม และเบเกอรี ในน้ำมันปาล์มยังประกอบด้วยสารเคมีที่มีประโยชน์ต่อการบริโภคอาทิเช่นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) วิตามินอี (vitamin E) และสารต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ นอกเหนือจากประโยชน์ทางด้านการบริโภคแล้วน้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสบู่ ใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องจักร (lubricant) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคที่มีการปฏิรูปอุตสาหกรรมของประเทศอังกฤษ และยังมีการนำน้ำมันปาล์มไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกอย่างน้ำมันไบโอดีเซล (biodiesel) อีกด้วย

ปัจจุบันราคาน้ำมันปาล์มลดต่ำลงตามกลไกตลาดที่มีผลมาจากปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มจากผลปาล์มเพิ่มขึ้นจนสูงเกินกว่าปริมาณที่ใช้ในการบริโภคภายในประเทศรวมถึงในต่างประเทศ และทำให้มีน้ำมันปาล์มดิบคงเหลือในปริมาณที่มากจนล้นตลาด หากปัญหานี้ยังไม่ถูกแก้ไขอาจส่งผลกระทบขนาดใหญ่ต่อเศรษฐกิจด้านการเกษตรกรรมของประเทศไทยได้ เหตุเพราะปาล์มน้ำมันถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของการเกษตรไทย ส่งผลให้ประเทศไทยมีจุดแข็งในด้านความมั่นคงทางด้านอุตสาหกรรมอาหารประเภทน้ำมันพืชมาอย่างยาวนาน ซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหาในปัจจุบันคือการนำน้ำมันปาล์มไปผลิตเป็นไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกและกระทรวงพลังงานได้นำเอาน้ำมันปาล์มดิบไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าซึ่งเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาระยะสั้น ไม่ได้เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำมันปาล์มเพียงพอกับการแก้ไขปัญหานี้

ทางออกหนึ่งคือการนำน้ำมันปาล์มดิบมาแปรรูปมูลค่าสูงเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซลและอุตสาหกรรมโอเลโอเคมิคอล (oleochemical) ดังรูปที่ 2.1 วัตถุดิบสำคัญอย่างหนึ่งคือ กรดไขมัน (fatty acid) ที่เกิดจากการนำน้ำมันปาล์มมาผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบเป็นแหล่งที่อยู่ของกรดไขมันที่สำคัญหลากหลายชนิด และเนื่องด้วยปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่มากเพียงพอแก่การนำไปผลิตกรดไขมันโดยไม่กระทบต่อด้านการนำไปบริโภค จึงถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจแก่การลงทุน

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมโอเลโอเคมิคอลแบ่งหลัก ๆ ออกเป็นสองส่วนคือส่วนที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและส่วนที่ได้จากปฏิกิริยาเมทาโนไลซิส (methanolysis) จะเลือกกระบวนการโดยพิจารณาจากผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายที่ต้องการผลิต สรุปแล้วสารโอเลโอเคมีพื้นฐานประกอบไปด้วยกรดไขมัน เมทิลเอสเทอร์ แอลกอฮอล์ของไขมัน เอมีนของไขมัน และกลีเซอรีน การใช้น้ำมันปาล์มในอุตสาหกรรมโอเลโอเคมิคอลมีความคล้ายคลึงกับอุตสาหกรรมของไข รวมถึงอนุพันธ์ของไขมันชนิดต่าง ๆ ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

1. กรดไขมันสามารถใช้ผลิตเป็นสบู่ ยาง หรือสารลดแรงตึงผิว

2. กรดไขมันที่ผ่านการเติมไฮโดรเจน (hydrogenated fatty acids) สามารถใช้กับการผลิตสบู่โลหะ (metal soaps) และสารลดแรงตึงผิวได้

3. กรดโอเลอิกสามารถใช้ผลิตเป็นหมู่เอไมด์ หรือสารลดแรงตึงผิวสำหรับสิ่งทอ ซึ่งสารประกอบหมู่เอไมด์เป็นสารลดแรงตึงผิวที่สำคัญตัวแทนสำหรับโพลีโอเลฟินส์

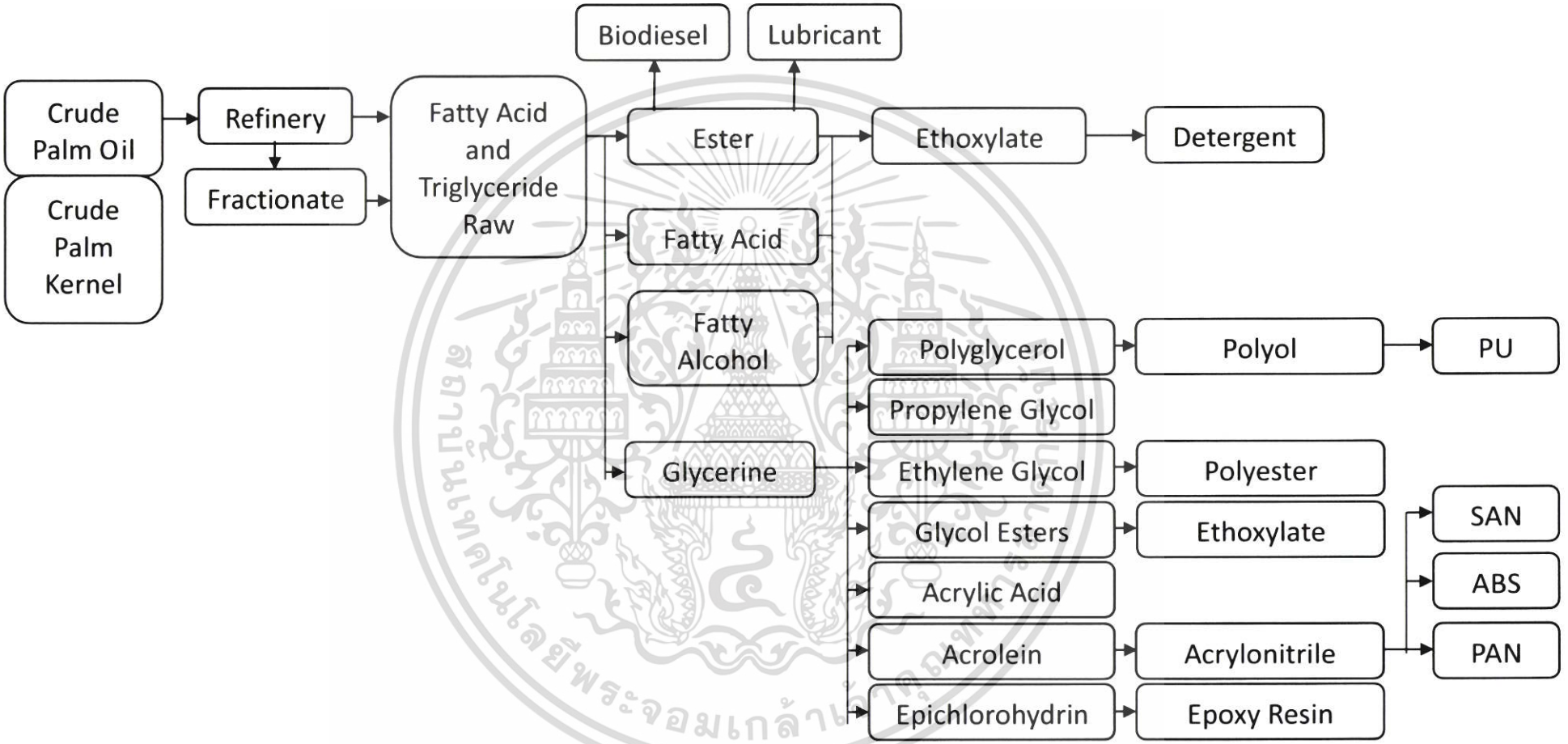
4. หมู่แอลกอฮอล์ที่ประกอบไปด้วยซัลเฟตหรือเอทิลซีเลตสามารถใช้เป็นผงซักฟอกหรือสารลดแรงตึงผิวสำหรับสิ่งทอ

5. กรดไขมันเอสเทอร์ที่ได้จากเมธิล บิวทิล หรือออคทิลแอลกอฮอล์สามารถใช้กับอุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมการแปรรูปสิ่งทอ หรืออุตสาหกรรมการแปรรูปโลหะ

6. เอมีนของไขมันถูกใช้ในการผลิตสารประกอบที่ภายในโมเลกุลเป็นประจุบวก (cation) หรือสารประกอบที่ภายในโมเลกุลมีทั้งประจุบวกและประจุลบ (amphoteric)

7. กลีเซอรีนใช้สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและยา รวมทั้งถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การแปรรูปน้ำมันปาล์มในอุตสาหกรรมโอเคมิคอล [7]

น้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบหลักที่เหมาะสมแก่การนำไปเป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมโอเลโอเคมิคอล คือมีองค์ประกอบของสารประกอบของกลีเซอไรด์เป็นหลัก และสารอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันปาล์มส่งผลต่อคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม โดยสามารถแบ่งองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มเป็นสารที่มีองค์ประกอบของกลีเซอไรด์และสารที่ไม่มีกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบอื่น ๆ

สารที่มีองค์ประกอบของกลีเซอไรด์เกือบทั้งหมดเป็นสารที่มีชื่อว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) คิดเป็นประมาณร้อยละ 95 ซึ่งเห็นได้ว่าประมาณร้อยละ 50 ของห่วงโซ่กรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว และอีกร้อยละ 50 เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่าง ๆ ในน้ำมันปาล์มแสดงในตารางที่ 2.1 โดย ตัวอักษรแสดงถึงกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ได้แก่ L หมายถึง กรดลอริก (lauric acid) M หมายถึง กรดไมริสติก (myristic acid) P หมายถึง กรดปาลมิติก (palmitic acid) S หมายถึง กรดสเตียริก (stearic acid) และ O หมายถึง กรดโอเลอิก (oleic acid) ตามลำดับ นอกจากองค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์มจะเป็นไตรกลีเซอไรด์แล้ว บางส่วนยังมีองค์ประกอบที่เป็นไดกลีเซอไรด์ตำแหน่งที่ 1 กับ 2 (1,2-diglycerides) คิดเป็นประมาณร้อยละ 2 ของทั้งหมด และเป็นไดกลีเซอไรด์ตำแหน่งที่ 1 กับ 3 (1,3-diglycerides) คิดเป็นประมาณร้อยละ 4 ของทั้งหมด ในส่วนของโมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) นั้นมีอยู่ในปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับสารอื่น

องค์ประกอบที่เหลือเป็นสารกลุ่มวิตามินเอ หรือแคโรทีนอยด์ (carotenoid) มีอยู่ประมาณร้อยละ 500 ถึง 700 ในล้านส่วน และวิตามินอี หรือโทโคฟีรอล (tocopherol) มีอยู่ประมาณร้อยละ 600 ถึง 1,000 ในล้านส่วน ถึงจะมีอยู่ในปริมาณที่น้อยแต่เมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่นถือว่าเป็นค่าที่สูง ซึ่งวิตามินทั้ง 2 ชนิดจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระอันเป็นต้นเหตุให้เกิดโรคมะเร็ง และบำรุงสุขภาพสายตา นอกจากวิตามินข้างต้นในน้ำมันปาล์มยังพบ สควอลีน (squalene) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยเสริมสร้างการสร้างน้ำมันธรรมชาติภายในร่างกาย ทำให้ผิวเกิดความชุ่มชื้น รวมถึง สารสเตอรอล (sterol) ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในหลอดเลือด ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ร้อยละองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์ม [4]

ไม่มีพันธะคู่		พันธะคู่ 1 คู่		พันธะคู่ 2 คู่		พันธะคู่ 3 คู่		พันธะคู่ 4 คู่และมากกว่า 4 คู่	
MPP	0.5	MOP	1.4	MOO	0.7	MLO	0.2	PLL	0.8
PMP	0.2	MPO	0.2	PLP	6.3	PLO	6.0	OLO	1.4
PPP	7.2	POP	23.6	PLS	0.8	POL	3.1	OOL	1.5
PPS	1.0	POS	3.1	PPL	1.0	SLO	0.4	LOL	0.1
PSS	0.1	PPO	6.9	SPL	0.1	SOL	0.2		
PSP	0.7	PSO	0.6	POO	21.5	OOO	5.1		
		SPO	0.5	SOO	1.4	OPL	0.5		
				OPO	1.6	MOL	0.1		
				OSO	0.2				
				PSL	0.1				
โครงสร้างอื่น ๆ			0.3		0.6				
ร้อยละทั้งหมด	9.7		36.6		34.3		15.6		3.8

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.1.2 กรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์ม [8]

กรดไขมัน (fatty acid) คือสารเคมีชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนเส้นตรงไม่มีกิ่ง (aliphatic) ที่ต่ออยู่กับหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของโมเลกุล ทำให้มีทั้งส่วนที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดี (hydrophilic) และส่วนที่ไม่มีสมบัติละลายน้ำ (hydrophobic) ซึ่งความยาวสายโซ่หรือจำนวนของคาร์บอนที่มีอยู่ในสายโซ่และโครงสร้างของจำนวนพันธะคู่เป็นตัวกำหนดความแตกต่างของชนิดของกรดไขมัน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ โดยสายโซ่กรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มมีความยาวของจำนวนคาร์บอนอยู่ที่ 12 ถึง 20 คาร์บอนอะตอม ในน้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบของกรดไขมันดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ร้อยละองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม

ความยาวห่วงโซ่กรดไขมันและโครงสร้างของจำนวนพันธะคู่	ร้อยละทั้งหมด	
	ค่าเฉลี่ย	ช่วงร้อยละ
12:0	0.23	0.1 – 1.0
14:0	1.09	0.9 – 1.5
16:0	44.02	41.8 – 46.8
16:1	0.12	0.1 – 0.3
18:0	4.54	4.2 – 5.1
18:1	39.15	37.3 – 40.8
18:2	10.12	9.1 – 11.0
18.3	0.37	0 – 0.6
20:0	0.38	0.2 – 0.7

กรดไขมันสามารถผลิตได้จากการแตกโครงสร้างของสารประกอบกลีเซอไรด์ไม่ว่าจะเป็นไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือโมโนกลีเซอไรด์ด้วยน้ำ จะได้กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ที่แตกตัวออกมาจากกลีเซอไรด์ และได้ผลิตภัณฑ์เป็นกลีเซอรีน โดยเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งกรดไขมันนับเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของกรดไขมันนั้น ๆ อีกทั้งยังสามารถนำไปเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมอีกหลากหลายประเภท โดยกรดไขมันหลักที่สามารถผลิตได้จากน้ำมันปาล์มนี้มีอยู่ 4 ชนิดได้แก่ กรดปาลมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก โดยมีรายละเอียดรวมถึงการนำไปใช้ประโยชน์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 กรดปาลมิติก (palmitic acid) [9]

กรดปาลมิติก หรือในระบบย่อ IUPAC มีชื่อเรียกว่า กรดเฮกซะเดคาโนอิก (hexadecanoic acid) เป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดในสัตว์ พืชและจุลินทรีย์ ใช้สูตรทางเคมีคือ $CH_3(CH_2)_{14}COOH$ และมีน้ำหนักโมเลกุล 256.42 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 62.9 องศาเซลเซียส โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 16 อะตอม สายโซ่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด ตามชื่อของมันบ่งบอกว่ามันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันปาล์ม และกรดปาลมิติกยังสามารถพบได้ในเนื้อสัตว์เนยแข็งเนยและผลิตภัณฑ์นมอื่น ๆ มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของกรดปาลมิติก

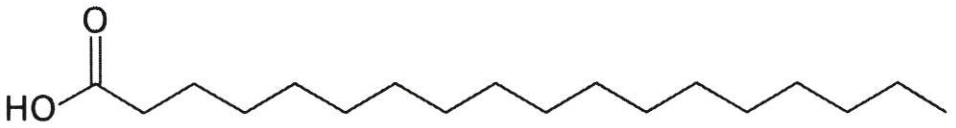
กรดปาลมิติกถูกค้นพบโดย Edmond Frémy ในปีค.ศ. 1840 ซึ่งค้นพบว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งภายในน้ำมันปาล์ม ในอุตสาหกรรมสำหรับการผลิตนั้นทำได้โดยนำไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์มไปไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำอุณหภูมิสูง (สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส) และส่วนผสมที่ได้จะนำมากลั่นแยกเป็นส่วน ๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์ นอกเหนือจากนั้นในธรรมชาติกรดปาลมิติกมีอยู่ทั่วไปทั้งในพืชและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น โกโก้บัตเตอร์ น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวัน เช่นเดียวกับในสิ่งมีชีวิตอย่างซิติวปาลมิเตท (cetyl palmitate) เกิดขึ้นในตัวปลาวาฬ ในเนย ในชีส ในนมและเนื้อสัตว์

ในด้านการนำไปใช้ประโยชน์นั้น กรดปาลมิติกนิยมถูกนำมาใช้ในการผลิตครีมล้างหน้า สบู่ เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ โดยใช้โซเดียมปาลมิเตท (sodium palmitate) ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาซาพอนนิฟิเคชัน (saponification) ของน้ำมันปาล์ม กรดปาลมิติกและเกลือโซเดียมของกรดปาลมิติกนิยมใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร โซเดียมปาลมิเตทได้รับอนุญาตเป็นสารเติมแต่งตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อินทรีย์ เกลืออลูมิเนียมของกรดปาลมิติกถูกใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดที่ใช้ในการประกอบอาหาร นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง (hardener) ในเทียน และในอาหารเช่น น้ำเชื่อม หรือใช้เป็นสารหล่อลื่นในการขึ้นรูปพลาสติก (injection molding)

2.1.2.2 กรดสเตียริก (stearic acid) [10]

กรดสเตียริก หรือในระบบย่อ IUPAC มีชื่อเรียกว่า กรดออกตาเดคาโนอิก (octadecenoic acid) เป็นกรดไขมันอิ่มตัว ใช้สูตรทางเคมีคือ $C_{17}H_{35}COOH$ และมีน้ำหนักโมเลกุล 284.484 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 69.3 องศาเซลเซียส โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม สายโซ่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



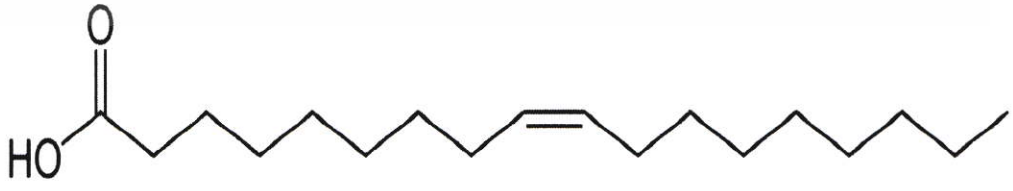
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของกรดสเตียริก

กรดสเตียริกได้มาจากไขมันและน้ำมันทำปฏิกิริยาซาพอนนิฟิเคชันโดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปผ่านการกลั่นแยกกรดสเตียริกออกมา กรดสเตียริกในเชิงพาณิชย์มักจะมีส่วนผสมของกรดสเตียริกและกรดปาลมิติกแม้ว่าจะมีกรดสเตียริกที่บริสุทธิ์แล้วก็ตาม

โดยทั่วไปแล้วการใช้งานของกรดสเตียริกใช้ประโยชน์จากคุณลักษณะของการเป็นสารที่ทำละลายได้ทั้งสารมีขั้วและไม่มีขั้วในสารตัวเดียวกัน โดยมีกลุ่มสารที่มีขั้วที่สามารถยึดติดกับสารที่มีขั้วและสายโซ่ที่ไม่มีขั้วซึ่งสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ การรวมกันนำไปสู่การใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวและสารทำให้นิ่ม หลักการนี้ใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ตั้งแต่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียบง่ายไปจนถึงอุปกรณ์ที่ซับซ้อน เช่น อุตสาหกรรมสบู่ เครื่องสำอาง และสารชะล้างอื่น ๆ

2.1.2.3 กรดโอเลอิก (oleic acid) [11]

กรดโอเลอิก เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์ ใช้สูตรทางเคมีคือ $CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH$ และมีน้ำหนักโมเลกุล 282.468 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 13 ถึง 14 องศาเซลเซียส โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ที่มีการเรียงตัวในทิศเดียวกัน (cis-isomer) ในสายโซ่ 1 ตำแหน่ง มีลักษณะเป็นไขมันที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่ในเชิงพาณิชย์อาจมีสีเหลือง คำว่าโอเลอิกมีที่มาจากน้ำมันมะกอก (olive oil) ซึ่งมีปริมาณกรดโอเลอิกสูง มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของกรดโอเลอิก

ในธรรมชาติกรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันที่พบมากที่สุดในเนื้อเยื่อไขมันของมนุษย์ และเป็นกรดไขมันที่พบมากที่สุดในเนื้อเยื่อทั่วร่างกายมนุษย์เป็นอันดับที่สอง รองจากกรดปาลมิติก และ

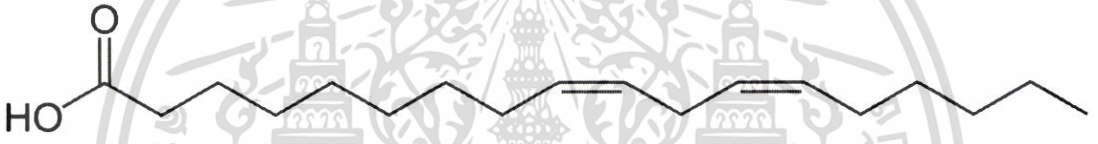
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดโอเลอิกที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์พบมากในน้ำมันมะกอกเป็นส่วนใหญ่ โดยทั่วไปกรดโอเลอิกนั่นผลิตได้จากการนำกรดสเตียริกไปผ่านกระบวนการดึงไฮโดรเจนอะตอมออกจากโมเลกุล (dehydrogenation) เพื่อให้มีความไม่อิ่มตัวเกิดขึ้น

การใช้กรดโอเลอิกในรูปของไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลักในอาหารประเภทไขมันจากสัตว์และน้ำมันพืชหลายชนิด นอกจากด้านอาหารแล้วกรดโอเลอิกเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้ของผสมผสมเข้ากัน (emulsifier) ในอุตสาหกรรมสบู่ ในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ใช้กรดโอเลอิกเป็นสารเพิ่มปริมาณยา (excipient) กรดโอเลอิกใช้เป็นฟลักซ์บัดกรีในการผลิตกระจกสีสเตนกลาส

2.1.2.4 กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) [12]

กรดลิโนเลอิก เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์ ใช้สูตรทางเคมีคือ $C_{18}H_{32}O_2$ และมีน้ำหนักโมเลกุล 280.45 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลวอยู่ที่ติดลบ 5 องศาเซลเซียส โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ที่มีการเรียงตัวในทิศเดียวกัน (cis-isomer) ในสายโซ่ 2 ตำแหน่ง มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของกรดลิโนเลอิก

กรดลิโนเลอิกใช้ผลิตเป็นน้ำมันชักแห้ง น้ำมันวานิชที่ใช้ในการวาดภาพ โดยจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดลิโนเลอิกกับอากาศเกิดเป็นชั้นฟิล์มเคลือบพื้นผิว เมื่อนำกรดลิโนเลอิกมาทำปฏิกิริยารีดักชั่นจะได้เป็น ลิโนลิอิลแอลกอฮอล์ (linoleyl alcohol) ซึ่งใช้ในการผลิตน้ำหอม กรดลิโนเลอิกยังถูกใช้มากในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับความงาม เพราะมีคุณสมบัติในการลดการอับเสบลดการเกิดสิว และรักษาความชุ่มชื้นของผิวได้ดี ด้วยการเป็นกรดไขมันจำเป็นสำหรับร่างกายจึงมีการนำกรดลิโนเลอิกไปผลิตเป็นอาหารเสริม

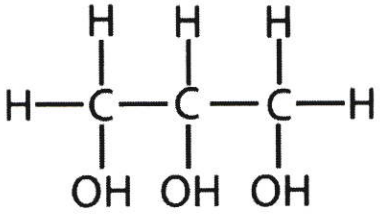
2.1.3 ผลิตภัณฑ์รองอื่น ๆ ที่สามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์ม

ผลิตภัณฑ์รองที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการแตกหมู่กรดไขมันจากไตรกลีเซอรไรด์ โดยผลิตภัณฑ์รองทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้แก่ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และกลีเซอรีน เรียงตามลำดับความสามารถในการเกิดกรดไขมันอิสระ แต่ผลิตภัณฑ์รองทั้งหมดนี้ก็ถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงด้วยกันทั้งสิ้น

2.1.3.1 กลีเซอรอล (glycerol) [13]

เมื่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นสมบูรณ์ผลิตภัณฑ์ที่ได้รองจากกรดไขมันอิสระก็คือกลีเซอรอล ซึ่งกลีเซอรอลเป็นสารจำพวกโพลิไฮดริกแอลกอฮอล์ ที่มีสูตรทางเคมีเป็น $C_3H_8O_3$ และมีลักษณะโครงสร้างดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกลีเซอรอล

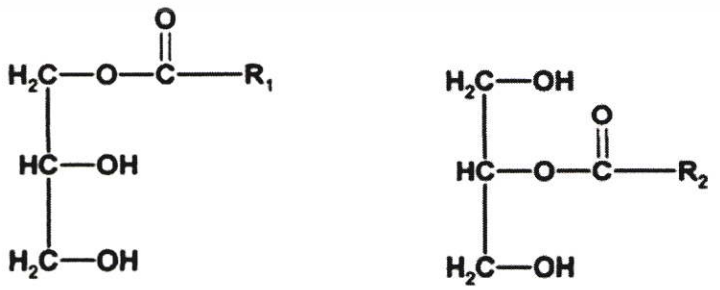
กลีเซอรอลถูกค้นพบครั้งแรกในปีค.ศ. 1779 โดย Scheele ซึ่งได้จากปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (saponification) ระหว่างน้ำมันมะกอก (olive oil) กับสารตะกั่วออกไซด์ ต่อมาในปีค.ศ. 1813 Chevreul ได้พบว่ากลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบในไขมัน ซึ่งความหมายของกลีเซอรอลในภาษากรีกนั้นแปลว่า รสหวาน

กลีเซอรอลถูกใช้ในทางอุตสาหกรรมเป็นครั้งแรกในปีค.ศ. 1866 เมื่อ Alfred Noble ได้ทำการผลิตไดนาไมต์ หรือไนโตรกลีเซอรอล (nitroglycerol) ในระยะแรกกลีเซอรอลผลิตจากไขมันจากพืชและสัตว์ สำหรับอุตสาหกรรมการสังเคราะห์กลีเซอรอลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ การผลิตโดยใช้โพรเพนเป็นสารตั้งต้น ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นในช่วงปลายทศวรรษที่ 1930 โดย I.G.Farben ในประเทศเยอรมันและโดยบริษัทเชลล์ในประเทศสหรัฐอเมริกา

โดยคุณสมบัติทั่วไปของกลีเซอรอลนั้นเป็นของเหลวใส หนืด มีรสหวาน กลีเซอรอลมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ กลีเซอรอลสามารถละลายน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี ละลายได้เล็กน้อยในไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลอีเทอร์ และไดออกเซน กลีเซอรอลไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอนแอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว น้ำมันจากพืชและสัตว์ ตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทฮาโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม ดังนั้นจึงถือเป็นตัวทำละลายที่มีประโยชน์ในหลากหลายอุตสาหกรรม

2.1.3.2 โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) [14]

โมโนกลีเซอไรด์ประกอบได้ด้วยหมู่เอซิล 1 หมู่ที่จับอยู่กับกลีเซอรอล โดยกรดไขมันเกิดพันธะเอสเทอร์กับหมู่แอลกอฮอล์ของกลีเซอรอลได้ที่คาร์บอนตำแหน่ง 1 หรือ 2 อย่างใดอย่างหนึ่ง เรียกว่า 1-โมโนกลีเซอไรด์ และ 2-โมโนกลีเซอไรด์ตามตำแหน่งของพันธะที่เกิด ดังรูปที่ 2.7



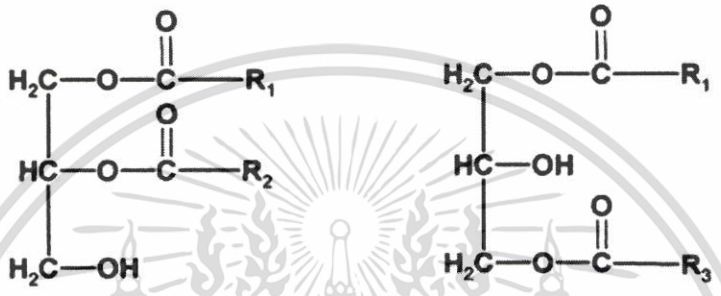
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ 1-โมโนกลีเซอไรด์ และ 2-โมโนกลีเซอไรด์ (จากซ้ายไปขวาตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใหญ่โมโนกลีเซอไรด์ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง เนื่องจากมีคุณสมบัติในการช่วยลดแรงตึงผิว ช่วยทำให้น้ำและน้ำมันรวมตัวกันได้ดีโดยมีค่า HLB ประมาณ 3.8 โดยทั่วไปแล้วโมโนกลีเซอไรด์นิยมผลิตขึ้นจากปฏิกิริยากลีเซอโรไลซิส (glycerolysis) มีสารตั้งต้นเป็นไขมันทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับกลีเซอรอล

2.1.3.3 ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) [15]

ไดกลีเซอไรด์เป็นสารประกอบกลีเซอไรด์ที่มีหมู่อัลคิล 2 หมู่จับกับกลีเซอรอลโดยพันธะเอสเทอร์ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 2 หรือตำแหน่งที่ 1 และ 3 ของกลีเซอรอล ดังรูปที่ 2.8

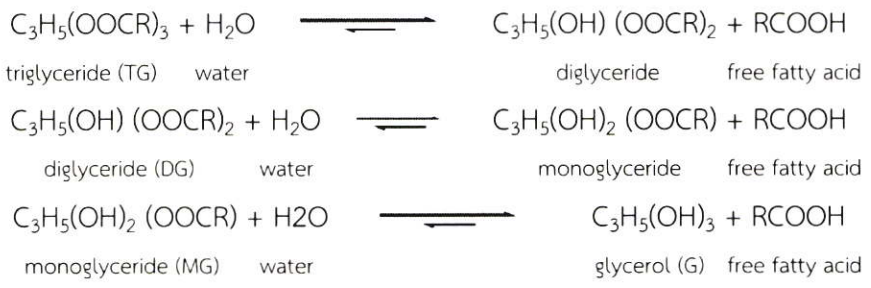


รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ 1,3-ไดกลีเซอไรด์ และ 1,2-ไดกลีเซฮไรด์ (จากซ้ายไปขวาตามลำดับ)

ไดกลีเซอไรด์มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโมโนกลีเซอไรด์ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่ใกล้เคียงกัน โดยทั่วไปแล้วไดกลีเซอไรด์ถูกพบเป็นส่วนประกอบในน้ำมันพืชในปริมาณที่น้อย และจากปฏิกิริยากลีเซอโรไลซิสเช่นเดียวกัน

2.1.4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์ม [16]

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่สามารถย้อนกลับได้ที่เกิดขึ้นระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์มกับน้ำ ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้น 3 ขั้นตอนเพื่อผลิตกรดไขมันอิสระ โดยไตรกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุล ได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นกรดไขมันอิสระ 3 โมเลกุล และได้ผลิตภัณฑ์รองเป็นกลีเซอรอล 1 โมเลกุล ชนิดของกรดไขมันอิสระที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดน้ำมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้น ดังรูปที่ 2.9



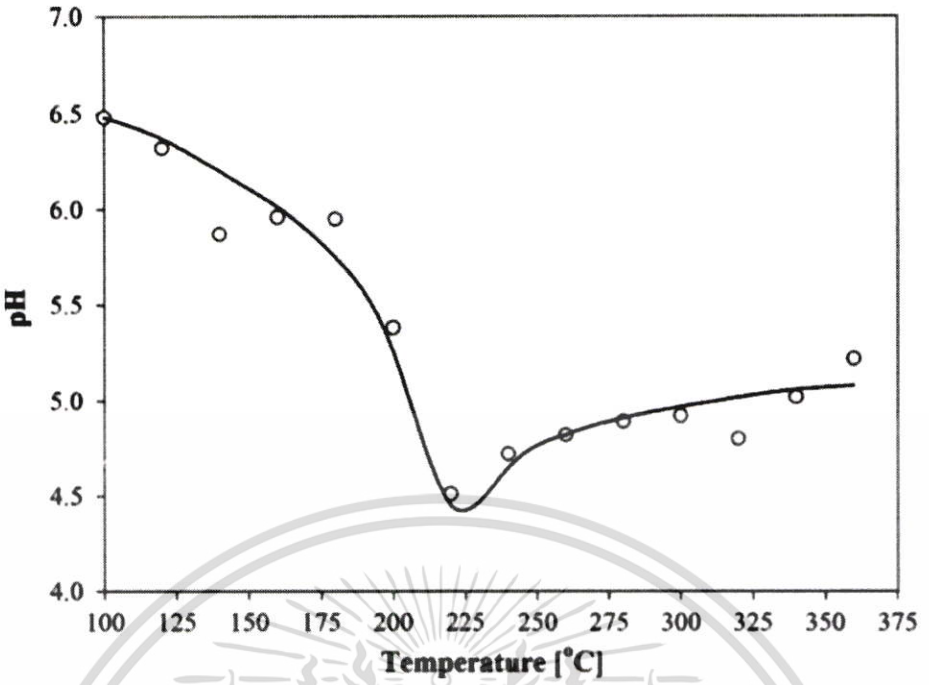
รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตกรดไขมันอิสระเริ่มต้นจากกระบวนการผลิตของบริษัท Colgate-Emery ซึ่งเป็นรากฐานความรู้ที่สำคัญทางเทคโนโลยีสำหรับอุตสาหกรรมกรดไขมันในอเมริกา ต่อมาได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีอื่น ๆ มีหลายวิธี กระบวนการที่ได้รับความนิยมได้แก่ กระบวนการผลิตของ Twitchell และ กระบวนการผลิตโดยใช้หม้ออัดแรงดัน วิธีการผลิตกรดไขมันระดับอุตสาหกรรมที่ถูกพัฒนาทั้งหมดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้อัตราการย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ที่สูงขึ้นและผลิตภัณฑ์ที่บริสุทธิ์โดยพิจารณาจากตัวแปรที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา การเลือกของอุณหภูมิและความดันของของผสมที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการละลายของน้ำในวัฏภาคไขมัน ตัวเร่งของปฏิกิริยา และการกำจัดกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์รองของปฏิกิริยา

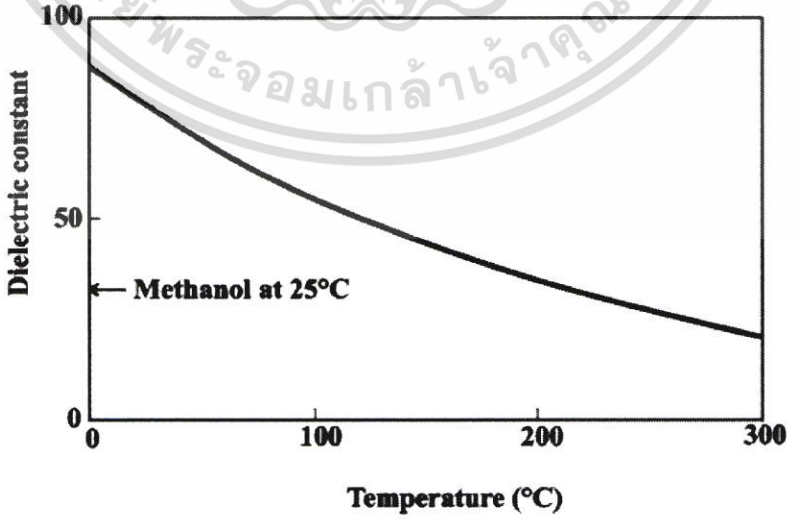
ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มเพื่อผลิตกรดไขมันอิสระถือเป็นปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อนมากกว่าปฏิกิริยาทั่วไป เพราะลักษณะตามธรรมชาติของการย่อยสลายไขมันรูปแบบไตรกลีเซอไรด์นั้น ไตรกลีเซอไรด์จะเกิดการแตกตัวได้หลายระดับ ได้แก่จากไตรกลีเซอไรด์แตกตัวเป็นไดกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์แตกตัวเป็นโมโนกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์แตกตัวเป็นกลีเซอรีนในท้ายที่สุดเมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ และเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปตามลำดับการแตกตัวน้ำสามารถละลายได้มากขึ้นในไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ตามลำดับ โดยที่มีความสามารถในการละลายมากกว่าในไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นโมเลกุลเริ่มต้น อุณหภูมิและความดันที่สูงขึ้นสามารถเพิ่มอัตราการไฮโดรไลซิสอันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของการละลายของน้ำในน้ำมัน [4] เนื่องจากน้ำที่สภาวะอุณหภูมิและความดันสูงขึ้นทำให้น้ำเข้าใกล้น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤต โดยคุณสมบัติที่น่าสนใจของน้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤตคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ที่มีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้น้ำมีคุณสมบัติเหมือนตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถละลายสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ในความเข้มข้นสูงได้ และคุณสมบัติอีกประการหนึ่ง คือ น้ำมีไอออนในความเข้มข้นที่สูง เช่น ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังนั้นน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติจึงมีคุณสมบัติเหมือนตัวเร่งปฏิกิริยากรดไปในตัว แสดงได้ดังรูปที่ 2.10 ที่แสดงถึงค่าพีเอช (pH) ที่เปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ค่าพีเอช (pH) ของน้ำ ณ สภาวะกึ่งวิกฤตที่อุณหภูมิต่าง ๆ [5]

เมื่อน้ำได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำจะลดลงและจะเกิดผลิตภัณฑ์ในรูปไอออนเพิ่มขึ้น เช่น ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำจะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเมทานอล ณ อุณหภูมิห้อง และ ณ อุณหภูมิ 297 องศาเซลเซียส เบนซีนสามารถละลายในน้ำได้อย่างสมบูรณ์เป็นเนื้อเดียวกัน หรือเท่ากับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 20 ถึง 30 แสดงในรูปที่ 2.11 ดังนั้น น้ำสภาวะกึ่งวิกฤตจึงเป็นตัวแปรสำคัญของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันเพราะต้องการให้น้ำทำละลายสารอินทรีย์ที่ไม่ชอบละลายน้ำ (hydrophobic organics) ในสภาวะปกติ



รูปที่ 2.11 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์หลักในการพัฒนากระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระคือการเพิ่มความเร็วในการละลายของน้ำเข้าไปสู่ชั้นน้ำมันซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์อยู่ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในการผลิตกรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาขึ้นก็ต่อเมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ทันทีที่น้ำละลายเป็นเนื้อเดียวกันในวัฏภาคน้ำมันอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นได้เร็วและเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะช้าลงเนื่องจากการสะสมของกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์รองเข้มข้นขึ้น ในทางกลับกันถ้ากลีเซอรอลจะถูกกำจัดออกในระบบของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นต่อไปให้เกิดการผลิตกรดไขมันอิสระออกมาได้ตามที่ต้องการ ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นหลักการแนวคิดของวิธีการผลิตกรดไขมันอิสระ

2.1.5 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มโดยใช้สารหมู่แอลกอฮอล์

ข้อจำกัดของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มกับน้ำคือความสามารถในการละลายของสารตั้งต้นทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมาก น้ำมันปาล์มมีสารประกอบหลักส่วนใหญ่เป็นสารไม่มีขั้ว ในทางกลับกันน้ำเป็นสารที่มีความมีขั้วสูง ดังนั้นหลักการในการผลิตต่าง ๆ ข้างต้น ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิและการเพิ่มความดันล้วนมาจากสาเหตุที่ว่าต้องการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำให้สามารถละลายเข้าสู่วัฏภาคน้ำมันได้ แต่ถ้ามองถึงด้านพลังงานที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและความปลอดภัยในการผลิตแล้ว ถือว่าเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานสูงเพื่อที่จะทำให้น้ำอยู่ในสภาวะกึ่งวิกฤต อีกทั้งยังมีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุในการผลิตสูง งานวิจัยนี้ทำการศึกษาหากระบวนผลิตกรดไขมันอิสระที่หลีกเลี่ยงสภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูง เพื่อลดพลังงานและความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุในการผลิต ดังนั้นการเลือกใช้สารละลายเข้ามาช่วยให้สารตั้งต้นทั้งสองอยู่ในวัฏภาคเดียวกันเป็นกระบวนการที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นการแก้ไขข้อจำกัดของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในเรื่องของความไม่เข้ากันของสารตั้งต้นวิธีหนึ่ง อีกทั้งยังไม่มีความจำเป็นที่ต้องทำปฏิกิริยา ณ สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง เนื่องจากว่าน้ำมันและน้ำสามารถละลายอยู่ในวัฏภาคเดียวกันเพื่อเกิดปฏิกิริยาได้แล้ว โดยสารละลายที่กล่าวมานี้ต้องเป็นสารละลายที่มีความสามารถในการละลายทั้งน้ำมันปาล์มที่เป็นสารไม่มีขั้วและน้ำที่เป็นสารมีขั้ว งานวิจัยนี้เห็นถึงความเหมาะสมที่ใช้สารหมู่แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย เนื่องจากภายในองค์ประกอบมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่มีความมีขั้วอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งต่อกับอะตอมคาร์บอนของหมู่แอลคิลที่ไม่มีขั้ว ทำให้เหมาะสมกับระบบในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทั้งนี้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นได้ดีขึ้นอยู่กับสมดุลวัฏภาคขององค์ประกอบทั้งสามองค์ประกอบได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ น้ำ และสารหมู่แอลกอฮอล์

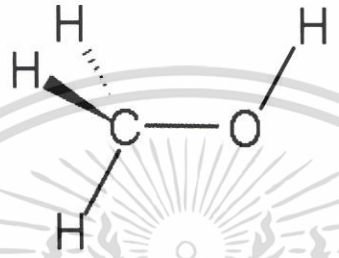
สารหมู่แอลกอฮอล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ [17] ซึ่งมีประโยชน์ในหลากหลายอุตสาหกรรม อาทิเช่น ด้านเครื่องดื่ม ด้านการแพทย์ ด้านพลังงาน และอีกหนึ่งคุณประโยชน์คือใช้เป็นตัวทำละลาย เพราะโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่มีความมีขั้วสูงต่อกับอะตอมของคาร์บอนที่มีความมีขั้วต่ำ ทำให้สามารถละลายได้ทั้งสารมีขั้วและไม่มีขั้วบางส่วน เหมาะสมแก่การนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้กับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มที่มีสารตั้งต้นเป็นทั้งน้ำมันปาล์มที่ไม่มีขั้วและน้ำที่มีความมีขั้วสูง โดยการทดลองครั้งนี้สนใจสารกลุ่มแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายอยู่ 3 ชนิดได้แก่

1. เมทานอล [18]

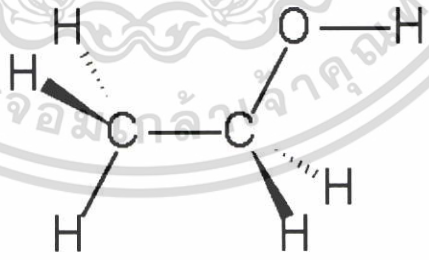
เมทานอลมีลักษณะเป็นของเหลวใส ระเหยง่าย เป็นพิษ นิยมใช้ในด้านตัวทำละลาย ด้านเชื้อเพลิง และใช้เป็นสารตั้งต้นในหลากหลายอุตสาหกรรม โดยมีโครงสร้างเป็นหมู่ไฮดรอกซิลต่อกับอะตอมของคาร์บอนหนึ่งอะตอมดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างเมทานอล

2. เอทานอล [19]

เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่ได้จากการนำเอาพืชมาหมักเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล จากนั้นจึงเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ โดยใช้เอนไซม์หรือกรดบางชนิดช่วยย่อย มีลักษณะใสไม่มีสีและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม โดยมีโครงสร้างเป็นหมู่ไฮดรอกซิลต่อกับอะตอมของคาร์บอนสองอะตอมดังรูปที่ 2.13

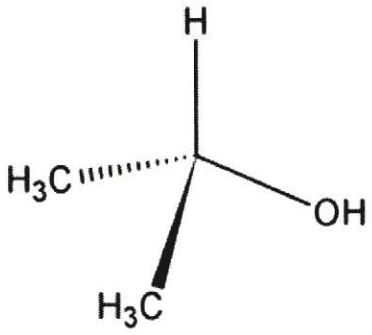


รูปที่ 2.13 โครงสร้างเอทานอล

3. ไอโซโพรพานอล [20]

ไอโซโพรพานอลมีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสี นิยมใช้เป็นสารฆ่าเชื้อในทางการแพทย์ โดยมีโครงสร้างเป็นหมู่ไฮดรอกซิลต่อกับอะตอมของคาร์บอนสามอะตอมดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 โครงสร้างไอโซโพรพานอล

2.1.5.1 เทอร์โมไดนามิกส์ของวัฏภาค ณ สภาวะสมดุล (thermodynamics of phase equilibrium) [21]

เจ. วิลลาร์ด กิบส์ (J. Willard Gibbs) พบว่า วัฏภาคจะสมดุลกันทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ก็ต่อเมื่อ ค่าศักย์เคมี (chemical potential, μ) ของสารในแต่ละวัฏภาคมีค่าเท่ากัน โดยที่ความดันและอุณหภูมิในแต่ละวัฏภาคมีค่าเท่ากัน และคงที่ ดังแสดงด้วยสมการ

$$T_i^{\alpha} = T_i^{\beta} = ... = T_i^{\pi} \quad (2.1)$$

$$P_i^{\alpha} = P_i^{\beta} = ... = P_i^{\pi} \quad (2.2)$$

$$\mu_i^{\alpha} = \mu_i^{\beta} = ... = \mu_i^{\pi} \; ; (i = 1, 2, ..., N) \quad (2.3)$$

เมื่อ μ_i^{α} คือ ศักย์เคมีของสาร i ในวัฏภาค α

ถึงแม้ศักย์เคมีจะช่วยบอกถึงสภาวะของสมดุลได้แต่เพื่อความสะดวกในการคำนวณเกี่ยวกับสมดุลวัฏภาค และเนื่องจากศักย์เคมีจะมีค่าเข้าใกล้อนันต์ในขณะที่ความดันเข้าใกล้ศูนย์ด้วยเหตุนี้ศักย์เคมีจึงไม่เหมาะสม สำหรับการคำนวณสมดุลวัฏภาค จึงได้มีการกำหนด ค่าฟูกาซิตี้ของสาร i ในของผสม (fugacities ; $\bar{f}_i$) ขึ้นมาโดย G.N.Lewis เสมือนกับเป็นความดันเทียม (pseudo-pressure) ของสาร i โดยได้นิยามฟูกาซิตีขึ้นในรูปของศักย์เคมี สำหรับองค์ประกอบใด ๆ ดังนี้

$$\bar{f}_i = C \exp\left(\frac{\mu_i}{RT}\right) \quad (2.4)$$

C คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ณ สภาวะสมดุลสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของฟูกาซิตี้แทนค่าศักย์เคมีได้ดังนี้คือ

$$\bar{f}_i^{\alpha} = \bar{f}_i^{\beta} = \ldots = \bar{f}_i^{\pi} \quad ; (i = 1, 2, \ldots, N) \qquad (2.5)$$

สำหรับสารบริสุทธิ์ค่า $\bar{f}_i$ จะเขียนได้เป็นฟูกาซิตี้ของสารบริสุทธิ์ i , (f_i) สำหรับก๊าซบริสุทธิ์อุดมคติ i ค่าฟูกาซิตี้จะเปรียบได้กับค่าความดันของสารบริสุทธิ์ i และสำหรับสาร i ในก๊าซผสมอุดมคติ และค่าฟูกาซีตี้ของแต่ละสารในก๊าซผสมอุดมคติจะเปรียบได้กับค่าความดันย่อย (partial pressure)

จากสมการที่ 2.4 จำเป็นต้องหาตัวแปรที่ช่วยแสดงความสัมพันธ์ของฟูกาซิตี้ กับผลของการทดลองเพื่อง่ายต่อการคำนวณ ได้แก่

สัมประสิทธิ์ฟูกาซิตี้ของสาร i ในของผสม (fugacity coefficient of component i, $\bar{\phi}_i$) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าฟูกาซิตี้ของสาร i ในของผสมในวัฏภาคก๊าซ ($\bar{f}_i^{V}$) สัดส่วนโมลของสาร i ในวัฏภาคก๊าซ (y_i) และความดันรวม เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\bar{\phi}_i = \frac{\bar{f}_i^{V}}{y_i P} \qquad (2.7)$$

สัมประสิทธิ์แอคติวิตี้ของสาร i ในของผสม (activity coefficient of species, γ_i) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับฟูกาซิตี้ของสาร i ในของผสมในวัฏภาคของเหลว ($\bar{f}_i^{L}$) สัดส่วนโมลของสาร i ในวัฏภาคของเหลว (x_i) และค่าฟูกาซิตี้ในสภาวะอ้างอิงในสถานะของเหลว เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\gamma_i = \frac{\bar{f}_i^{L}}{x_i f_i^{0L}} \qquad (2.8)$$

เมื่อ f_i^0 คือ ค่าฟูกาซิตี้ของสารบริสุทธิ์ i ณ สภาวะอ้างอิง

จากสมการที่ 2.6 จะได้สมการสมดุลของสาร i ดังนี้คือ

$$\bar{\phi}_i y_i P = \gamma_i x_i f_i^{0L} \qquad (2.9)$$

ซึ่งสมการที่ 2.9 จะเป็นสมการหลักที่จะใช้ในการคำนวณสมดุลก๊าซ-ของเหลว (vapor – liquid equilibrium) ในระบบที่มีหลายองค์ประกอบ

ในส่วนระบบ สมดุลของเหลวของเหลวนั้น สาร i ที่อยู่ในวัฏภาค α จะสมดุลกับสาร i ที่อยู่ในวัฏภาค β เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{f}_i^{\alpha} = \bar{f}_i^{\beta} \qquad (2.10)$$

เมื่อค่าฟูกาซิตี้ ที่สถานะอ้างอิงของสารในทั้งสองวัฏภาคมีค่าเท่ากัน จากสมการที่ 2.10 จะเขียนใหม่ได้ดังนี้คือ

$$\gamma_i^{\alpha} x_i^{\alpha} = \gamma_i^{\beta} x_i^{\beta} \qquad (2.11)$$

สมการที่ 2.11 จะเป็นสมการหลักที่จะใช้ในการคำนวณ หาสมดุลของของเหลวในระบบที่มีหลายองค์ประกอบ โดยการใช้สมการเซมิเอมไพริคัล (semi-empirical equation) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกมาใช้งานคือ สมการ UNIFAC

สมการ UNIFAC

วิธี UNIFAC เป็นวิธีสำหรับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์แอคติวิตี้ (γ) อยู่บนแนวคิดของสารผสมของเหลว สมการมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์แอคติวิตี้ในระบบที่มีสารหลายองค์ประกอบ ในระบบต่าง ๆ ทั้ง ระบบก๊าซ-ของเหลว ระบบของเหลว-ของเหลว และระบบก๊าซ-ของเหลว-ของเหลว ที่เป็นสารประเภท nonelectrolytes สมการ UNIFAC จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 combinatorial part ซึ่งจะเป็นส่วนที่ใช้ค่าความแตกต่างของ ขนาด และลักษณะของโมเลกุลของสารในระบบในการคำนวณ ส่วนที่ 2 residual part จะใช้ค่า energies of interaction ในการคำนวณ โดยสมการ UNIFAC ในระบบหลายองค์ประกอบเขียนได้ดังนี้

$$\ln\gamma_i = \ln\gamma_i^{C} + \ln\gamma_i^{R} \qquad (2.15)$$

โดยที่ สัมประสิทธิ์แอคติวิตี้ ในส่วนของ combinatorial part คำนวณได้ดังนี้

$$\ln\gamma_i^{C} = 1 - J_i + \ln J_i - 5q_i\left(1 - \frac{J_i}{L_i} + \ln\frac{J_i}{L_i}\right) \qquad (2.16)$$

โดยที่ สัมประสิทธิ์แอคติวิตี้ ในส่วนของ residual part คำนวณได้ดังนี้

$$\ln\gamma_i^{R} = q_i\left[1 - \sum_k\left(\theta_k\frac{\beta_{ik}}{S_k} - e_{ki}\ln\frac{\beta_{ik}}{S_k}\right)\right] \qquad (2.17)$$

โดยค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการข้างต้นสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$J_i = \frac{r_i}{\sum_j r_j x_j} \qquad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j x_j} \quad (2.19)$$

$$r_i = \sum_k v_k^{(i)} R_k \quad (2.20)$$

$$q_i = \sum_k v_k^{(i)} Q_k \quad (2.21)$$

$$e_{ki} = \frac{v_k^{(i)} Q_k}{q_i} \quad (2.22)$$

$$\beta_{ik} = \sum_m e_{mi} \tau_{mk} \quad (2.23)$$

$$\theta_k = \frac{\sum_i x_i q_i e_{ki}}{\sum_j x_j q_j} \quad (2.24)$$

$$s_k = \sum_m \theta_m \tau_{mk} \quad (2.25)$$

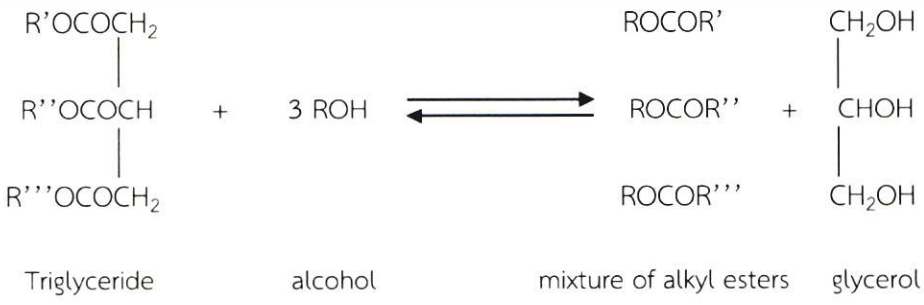
$$\tau_{mk} = \exp\left(\frac{-a_{mk}}{T}\right) \quad (2.26)$$

2.1.6 ปฏิกิริยาข้างเคียงของกระบวนการผลิต

การนำสารละลายหมู่แอลกอฮอล์มาใช้เป็นตัวทำละลายให้น้ำมันปาล์มและน้ำเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสนั้นอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง อันเนื่องมาจากสารละลายหมู่แอลกอฮอล์นั้นสามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น ๆ ในระบบได้ โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงดังนี้

2.1.5.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification reaction) [22]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันกับแอลกอฮอล์ โดยสามารถใช้กรดเป็นตัวเร่งได้ และเกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารประเภทเอสเทอร์ของกรดไขมัน กับ กลีเซอรีน ดังรูปที่ 2.15 ในระบบการทดลองนี้มีองค์ประกอบหลักเป็นไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์มที่มีตัวเร่งกรดของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอยู่แล้ว การที่เติมแอลกอฮอล์เข้าไปในระบบ นั้นจึงเป็นข้อควรระวังในการผลิต



รูปที่ 2.15 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดขึ้นของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไปอยู่ในรูปสารประกอบเอสเทอร์ที่ไม่ต้องการ ทำให้ไตรกลีเซฮไรด์ที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในระบบลดลง ทำให้สามารถผลิตกรดไขมันอิสระที่เป็นสารที่ต้องการนั้นผลิตได้ลดลงตามได้ด้วย โดยวิธีลดการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนี้สามารถทำได้โดยการเลือกใช้สารละลายหมู่แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่ยาวขึ้น และมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นแอลกอฮอล์ชนิดทุติยภูมิเพื่อให้ยากต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

2.1.5.2 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification reaction) [23]

ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมัน หรือกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) กับแอลกอฮอล์ โดยการให้ความร้อนและใช้ตัวเร่งที่เป็นกรด และเกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารประเภทเอสเทอร์ของกรดไขมัน กับ น้ำ ดังรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.16 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน

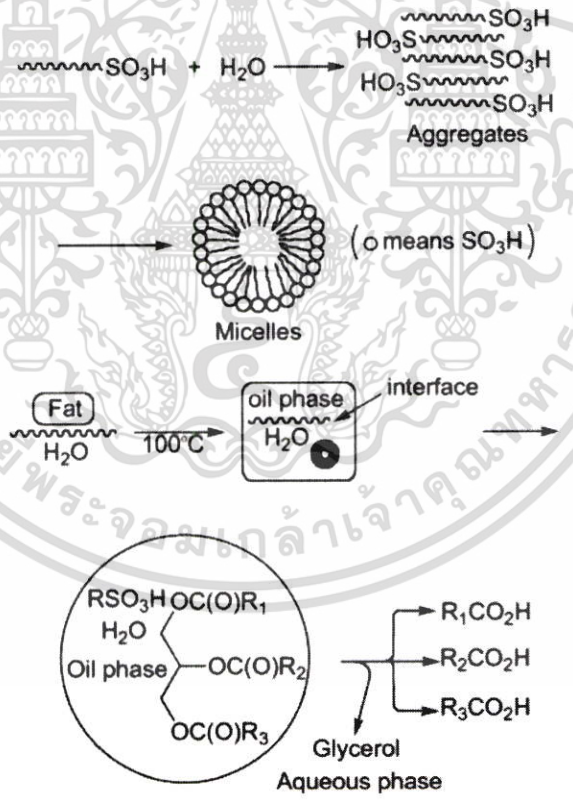
การเกิดขึ้นของปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นเป็นกรดไขมันจากไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการผลิต แต่เมื่อเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมีปริมาณที่ลดลงเนื่องจากถูกแปรเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบเอสเทอร์ของกรดไขมันแทน โดยวิธีลดการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มน้ำในระบบเพื่อให้ความเข้มข้นของน้ำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเพิ่มขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ยาก และการที่ความเข้มข้นของน้ำมีค่าที่สูงส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้นเพราะเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา เป็นการบังคับปฏิกิริยาให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากกว่าการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในระบบต้องคำนึงถึงความสามารถในการละลายของน้ำในวัฏภาคน้ำมัน การที่เพิ่มปริมาณน้ำสูงเกินความจำเป็นนั้นอาจส่งผลให้น้ำในวัฏภาคน้ำมันลดน้อยลงทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ผลิตได้นั้นลดน้อยลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นงพะงา และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาการผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤตโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์หม้ออัดแรงดันแบบกะ สามารถผลิตกรดไขมันอิสระได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 62.79 โดยน้ำหนัก ณ สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 15 บาร์ และใช้เวลาทำปฏิกิริยาทั้งสิ้น 60 นาที

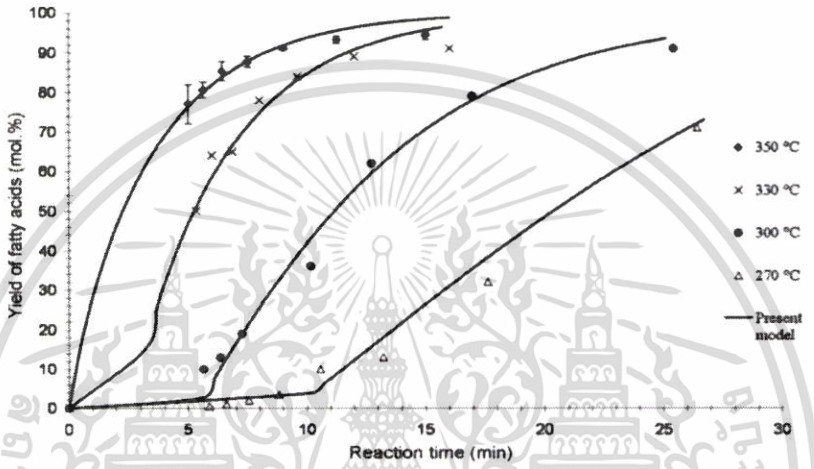
Twitchell [25] ได้จดสิทธิบัตรตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำจากกรดโอเลอิก กรดสเตียริกและกรดซัลฟิวริกที่มีความสามารถในการละลายทั้งในวัฏภาคที่มีขั้วและไม่มีขั้วโดยใช้ในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันให้เป็นกรดไขมันที่สภาวะความดันบรรยากาศด้วยไอน้ำ อุณหภูมิประมาณ 115 ถึง 120 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาทำปฏิกิริยา 36 ถึง 48 ชั่วโมง ได้ผลลัพธ์ว่าน้ำมันถูกทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไปร้อยละ 89 ของน้ำหนักทั้งหมด จุดเด่นของกระบวนการนี้คือผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะทางกายภาพในเรื่องของสีที่ไม่เข้มเท่ากับการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง กระบวนการนี้ยังคงใช้ในยุโรปและสหรัฐอเมริกา สารรีเอเจนต์ Twitchell มีลักษณะโครงสร้างและการทำงานดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 สารรีเอเจนต์ Twitchell และหลักการการนำไปใช้งาน [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Alenezi และคณะ [27] ได้นำน้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤตมาใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันดอกทานตะวัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำมันอยู่ที่ 50 ต่อ 50 ปริมาตรน้ำต่อปริมาตรน้ำมัน โดยศึกษาการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหลต่อเนื่องในช่วงอุณหภูมิ 270 ถึง 350 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 10 ถึง 20 เมกะปาสกาล (MPa) ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 10 ถึง 25 นาที ได้ผลดังรูปที่ 2.18 จะสังเกตเห็นว่ายิ่งใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยิ่งทำให้ได้ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นเพิ่มมากขึ้นและทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลได้เร็วยิ่งขึ้น โดยร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นสูงที่สุดคือร้อยละ 98 ของทั้งหมดเกิดขึ้นที่สภาวะอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และความดัน 20 เมกะปาสคาล



รูปที่ 2.18 กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันดอกทานตะวันด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สรุปงานวิจัยการผลิตกรดไขมันอิสระโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันพืชด้วยน้ำ

กระบวนการผลิต	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (เมกะปาสคาล)	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ร้อยละกรดไขมันอิสระที่ผลิตได้	อ้างอิง
เครื่องปฏิกรณ์หม้ออัดแรงดันแบบกะที่สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง	200	1.5	60	62.79	[25]
กระบวนการของ Twitchell	115 ถึง 120	0.1	2,160 ถึง 2,880	89	[26]
เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหลต่อเนื่องที่สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง	350	20	10 ถึง 25	98	[28]

บทที่ 3
ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองสามารถแบ่งได้หลัก ๆ เป็น 4 ขั้นตอน คือการเลือกสารหมู่แอลกอฮอล์ที่เหมาะสมแก่การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยคิดจากความสามารถในการละลายน้ำมันและน้ำ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา รวมถึงการหาสัดส่วนของทั้งสารตั้งต้นและตัวทำละลายที่เหมาะสมปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในกระบวนการผลิตนี้เป็นการทำปฏิกิริยาแบบกะที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ และความดันบรรยากาศโดยอาศัยกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม และปริมาตรกรดไขมันอิสระที่ผลิตได้สูงที่สุด รวมถึงปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น

3.1 การทดลองผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

3.1.1 สารเคมี

1) น้ำมันปาล์มโอเลอิน
2) กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
3) น้ำกลั่น
4) เมทิลแอลกอฮอล์ (CH_3OH)
5) เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH)
6) ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (C_3H_8O)

3.1.2 อุปกรณ์

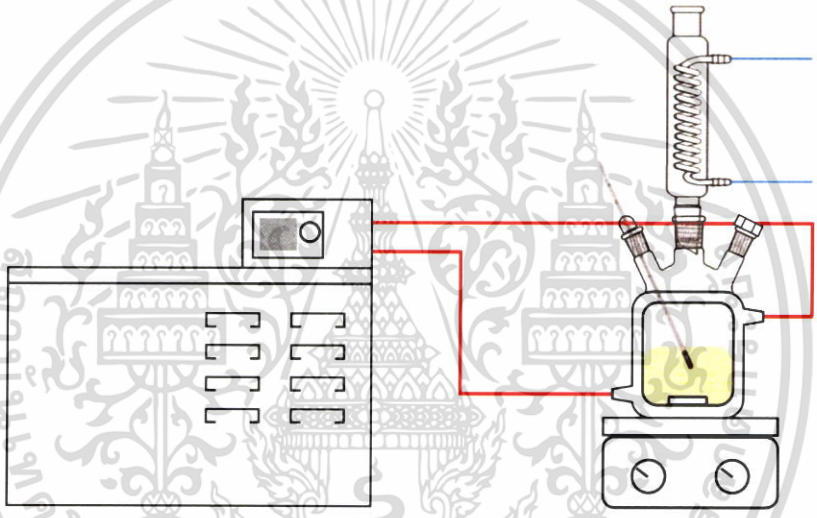
1)	เครื่องปฏิกรณ์สามคอแบบแจ็คเก็ตขนาด 250 มิลลิลิตร	1	อัน
2)	คอนเดนเซอร์ (condenser)	1	อัน
3)	เครื่องกวนสารให้ความร้อน (hotplate stirrer)	1	เครื่อง
4)	แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar)	1	อัน
5)	อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบหมุนเวียน (circulating bath)	1	เครื่อง
6)	เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)	1	อัน
7)	ข้อต่อแก้วสำหรับติดเทอร์โมมิเตอร์กับคอของขวดแก้วก้นแบน	1	อัน
8)	จุกแก้ว	1	อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การเตรียมชุดทดลองเพื่อผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

วิธีการเตรียมชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1 มีขั้นตอนดังนี้

1) นำเครื่องปฏิกรณ์สามคอแจ็คเก็ตวางบนเครื่องกวนสาร โดยเครื่องปฏิกรณ์ต่อสายยางซิลิโคนเข้ากับอ่างควบคุมอุณหภูมิแบบหมุนเวียนที่เป็นอุปกรณ์ไว้ให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยา
2) ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์กับข้อต่อแก้วสำหรับติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์กับคอด้านข้างของเครื่องปฏิกรณ์ ใช้จุกแก้วปิดรูที่คอด้านข้างของเครื่องปฏิกรณ์หนึ่งรู รูตรงกลางที่คอเครื่องปฏิกรณ์ต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ที่ใช้น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ไอในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่อุณหภูมิห้องจนกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวกลับเข้าสู่ระบบ



รูปที่ 3.1 ชุดทดลองการผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

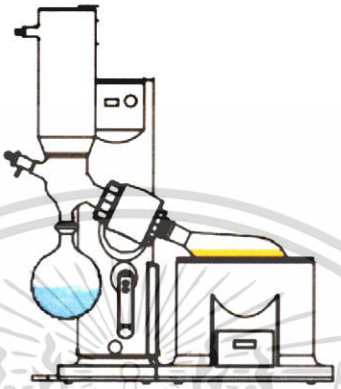
3.1.4 วิธีการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

1) เตรียมน้ำมันปาล์มโอเลลินปริมาณ 100 กรัมพร้อมใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดซัลฟิวริก 1 กรัม คิดเป็นร้อยละ 1 ของน้ำหนักทั้งหมด เติมน้ำ 6 กรัม โดยใส่ตัวทำละลายประเภทต่าง ๆ ได้แก่ เมทิล เอทิล และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ที่ปริมาณต่าง ๆ ตามขอบเขตการศึกษา ได้แก่ 0 50 และ 100 กรัม
2) จากนั้นนำสารละลายจากข้อที่หนึ่งเติมลงในเครื่องปฏิกรณ์โดยควบคุมอุณหภูมิโดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 85 และ 90 องศาเซลเซียส ไหลผ่านชั้นแจ็คเก็ตพร้อมทำการปั่นกวนภายในให้สารตั้งต้นทั้งน้ำมันปาล์ม น้ำกลั่น ตัวเร่งปฏิกิริยา หรือตัวทำละลายแอลกอฮอล์เข้าเป็นวัฏภาคเดียวกัน
3) จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างมาวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น วิเคราะห์ทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลาทั้งสิ้น 14 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ผลกรดไขมันที่เกิดขึ้น

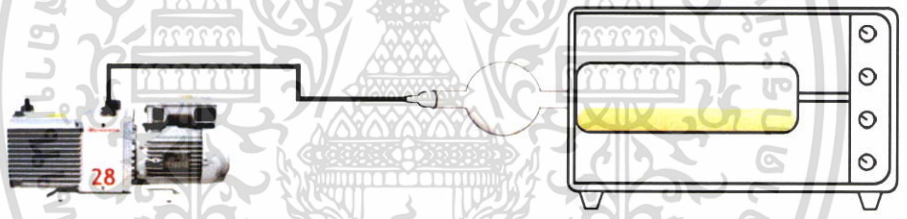
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) นำสภาวะที่สามารถผลิตกรดไขมันอิสระได้สูงที่สุดมาระเหยสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และน้ำออกจากระบบ แล้วนำมากลั่นแยกระหว่างกรดไขมันอิสระกับสารประกอบกลีเซอไรด์ ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3

5) นำสารประกอบกลีเซอไรด์ที่ได้มาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ณ สภาวะเดิม เพื่อสังเกตผลที่ได้



รูปที่ 3.2 การระเหยเพื่อแยกสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และน้ำออกจากระบบ



รูปที่ 3.3 การกลั่นแบบ Kugelrohr เพื่อแยกกรดไขมันอิสระที่ผลิตได้ออกจากระบบ

3.2 การวิเคราะห์หาร้อยละกรดไขมันอิสระและค่าความเป็นกรด (acid value) ด้วยเทคนิคการไทเทรต

3.2.1 การเตรียมสาร

1) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยใช้น้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเท่ากับ 1,000 มิลลิลิตรแล้วเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นทำการ standardization สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมได้ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ($KHC_8H_4O_4$, KHP) ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนเพื่อนำไปคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ($C_{20}H_{14}O_4$) ที่ความเข้มข้น 1 กรัมในเอทานอล 100 มิลลิลิตร โดยชั่งฟีนอล์ฟทาลีนผง 0.25 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยผสมเอทานอล เขย่าให้เข้ากันแล้วเทสารลงในขวดสีชา

3) เตรียมไอโซโพรพิลแอลกอฮอร์ที่มีค่าพีเอชเป็นกลาง โดยนำสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนหยดลงในไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ จากนั้นปรับค่าพีเอชโดยหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์จนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพู

3.2.2 วิธีการวิเคราะห์

1) ชั่งสารที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ จำนวน 1 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

2) เติมสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่มีค่าพีเอชเป็นกลางปริมาณ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3) หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 ถึง 2 หยด

4) นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน เขย่าให้เข้ากันจนได้สารละลายสีชมพูที่คงตัวนานประมาณ 30 วินาที จากนั้นวัดปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตแล้วคำนวณหาร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากค่าความเป็นกรด

3.3 วิธีการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลสมดุลที่ได้จากการทดลอง

ข้อมูลสมดุลของเหลว-ของเหลว ในระบบไตรกลีเซอร์ไรด์ น้ำ และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ สามารถแสดงถึงการกระจายตัวของสารแต่ละตัวโดยสังเกตจากองค์ประกอบในวัฏภาคต่าง ๆ ในการทดลองนี้เลือกสมการ UNIFAC เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่แสดงถึงความสามารถในการละลายของน้ำที่เข้าสู่วัฏภาคน้ำมัน โดยสามารถหาปริมาณองค์ประกอบในแต่ละวัฏภาคได้จากสมการดังต่อไปนี้และสรุปแนวคิดขั้นตอนการคำนวณในรูปที่ 3.2

$$x'_i \gamma'_i = x''_i \gamma''_i \qquad \frac{n'_i}{n'_T}\gamma'_i = \frac{n''_i}{n''_T}\gamma''_i \qquad (3.1)$$

โดย

$$n'_T = \sum n'_i \text{ และ } n''_T = \sum n''_i \qquad (3.2)$$

ดังนั้นจะได้

$$n''_i = n'_i \frac{n''_T \gamma'_T}{n'_T \gamma''_i} \qquad (3.3)$$

นำสมการที่ได้แทนในสมการดุลมวลสาร

$$n''_i = n_i - n'_i \qquad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$n_i - n'_i = n'_i \frac{n''_T \gamma'_T}{n'_T \gamma''_i} \qquad (3.5)$$

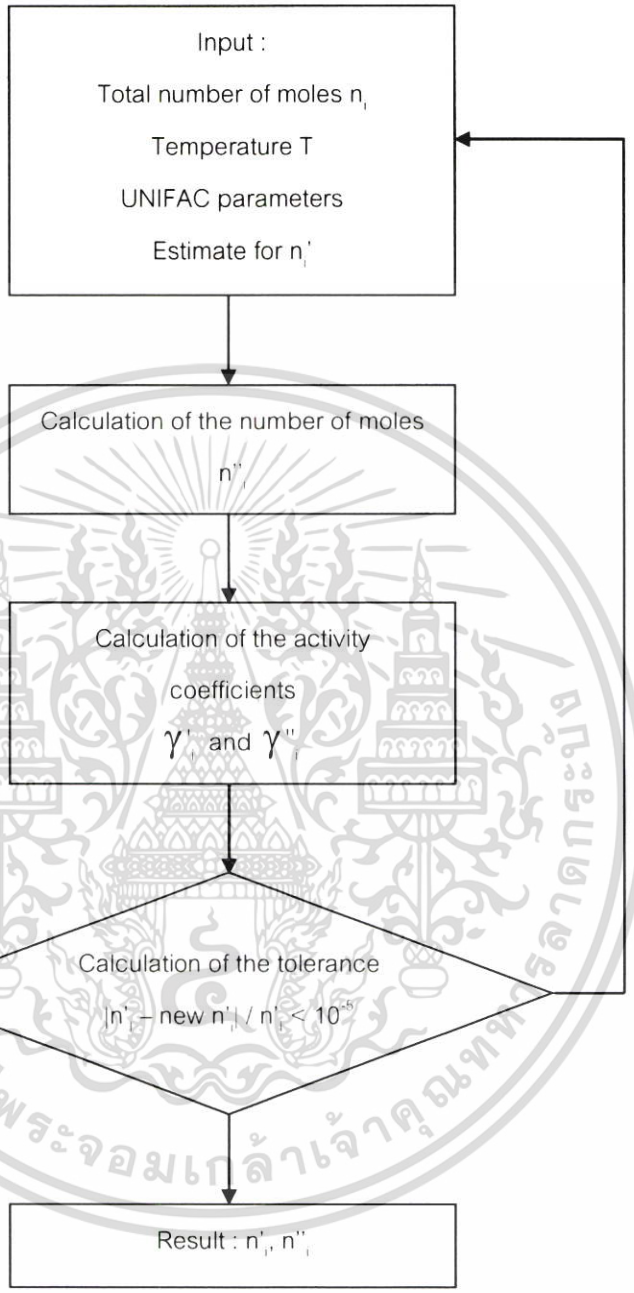
$$n_i = n'_i + n'_i \frac{n''_T \gamma'_T}{n'_T \gamma''_i} = n'_i \left[1 + \frac{n''_T \gamma'_T}{n'_T \gamma''_i} \right] \qquad (3.6)$$

จำนวนโมลของสารในวัฏภาคที่สนใจสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$n'_{i,new} = \frac{n_i}{1 + \frac{\gamma'_i n''_T}{\gamma''_i n'_T}} \qquad (3.7)$$

ทำการคำนวณแบบวนซ้ำ (iteration) จนกว่าความแตกต่างของค่าที่คำนวณได้ใหม่ของจำนวนโมลของสารองค์ประกอบต่าง ๆ ในแต่ละวัฏภาคเทียบกับค่าจำนวนโมลเดิมนั้นไม่เกิน 0.00001 จึงนำค่าที่ได้จากการคำนวณใหม่มาใช้ในการสร้างแผนภูมิของวัฏภาคในระบบของเหลว-ของเหลวขององค์ประกอบไตรกลีเซอร์ไรด์ในน้ำมันพืชปาล์มโอเลอิน ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และน้ำ โดยแสดงผังงานการคำนวณในรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ผังงานการคำนวณหาจำนวนโมลขององค์ประกอบต่าง ๆ ในแต่ละวัฏภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์หาปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นด้วยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatograph, HPLC)

3.4.1 สารเคมี

1) อะซิโตนสำหรับ HPLC จากบริษัท RCI LABSCAN LIMITED (acetone HPLC grade, > 99%)
2) อะซิโตไนไตรล์สำหรับ HPLC จากบริษัท RCI LABSCAN LIMITED (acetonitrile HPLC grade, > 99%)

3.4.2 อุปกรณ์

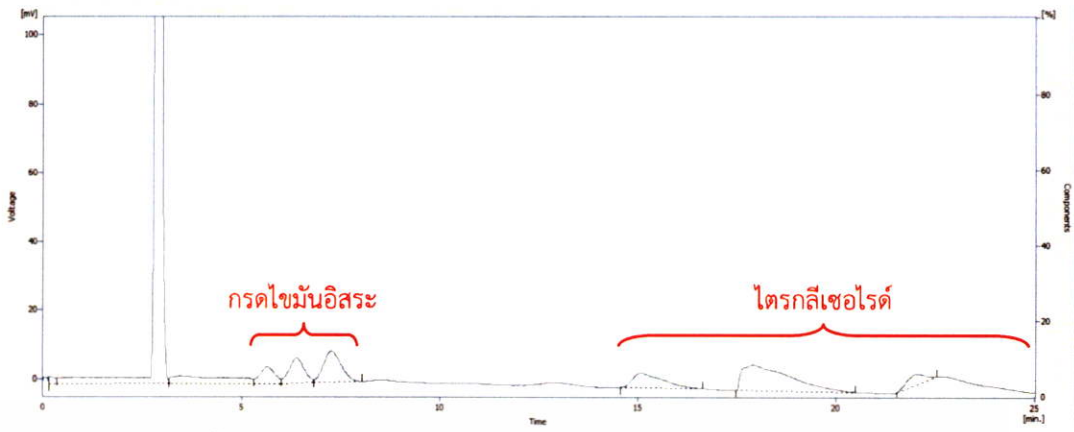
1) กระบอกตวงขนาด 1,000 ลิตร
2) เครื่องโซนิเคเตอร์ (ultrasonic bath) ยี่ห้อ Ultrawave limited รุ่น CF2 1YY
3) ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร
4) ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร
5) เข็มฉีดพลาสติกสำหรับกรองสารขนาด 5 มิลลิลิตร
6) ที่กรองสารสำหรับเข็มฉีด (syringe filter)
7) คอลัมม์ Platisil 5 micrometer ODS 250 X 4.6 mm
8) ดีเทกเตอร์ชนิด RI (refractive index detector)
9) เครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง
10) เข็มสำหรับฉีดสารเข้าเครื่อง HPLC ขนาด 100 ไมโครลิตร

3.4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น

การทดลองผลิตกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอาจเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้แก่ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ดังนั้นจึงมีการวิเคราะห์หาสารประกอบเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียม mobile phase ที่ความเข้มข้นของอะซิโตนร้อยละ 64.5 โดยปริมาตร และความเข้มข้นของอะซิโตไนไตรล์ร้อยละ 35.5 โดยปริมาตร และปริมาตรรวมเป็น 1,000 ลิตร
2) นำ mobile phase ไปแช่ในเครื่องโซนิเคเตอร์ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศที่มีอยู่ในสารละลายทั้งสอง
3) นำสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์มากรองด้วยที่กรองสารสำหรับเข็มฉีดและนำมาฉีดวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง สังเกตกราฟที่เกิดขึ้นเพื่อวิเคราะห์การเกิดขึ้นของสารหมู่เอสเทอร์ ตัวอย่างดังรูปที่ 3.5 และ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างโครมาโทแกรมกรดไขมันอิสระและไตรกลีเซอไรด์

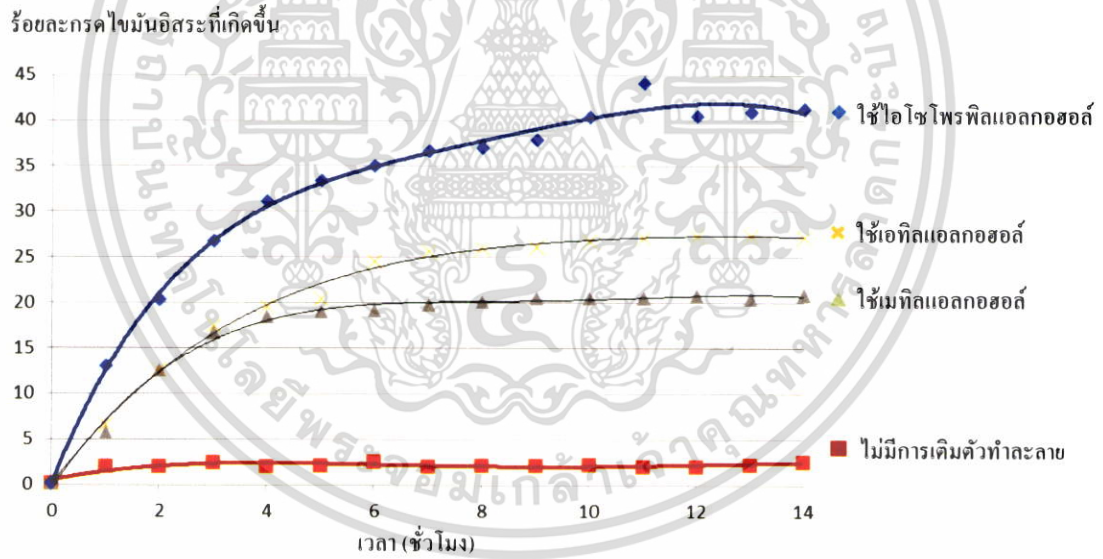
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างโครมาโทแกรมสารหมู่เอสเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการเลือกสารหมู่แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย

จากสารหมู่แอลกอฮอล์ทั้งสามชนิดได้แก่ เมทิล เอทิล และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ได้นำแอลกอฮอล์แต่ละชนิดมาทำการทดลองทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ณ สภาวะอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศที่ควบคุมโดยการติดตั้งคอนเดนซ์เซอร์เพื่อให้เกิดการรีฟรักซ์ของระบบ สารหมู่แอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนักรวม 200 กรัม โดยใส่น้ำ 6 กรัม เนื่องจากว่าเพียงพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ และใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มโอเลอิน สังเกตผลของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลาทั้งสิ้น 14 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในตัวทำละลายแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ [28]

จากผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นพบว่าการเลือกเติมตัวทำละลายหมู่แอลกอฮอล์เข้าไปในระบบการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำและความดันบรรยากาศ เทียบกับผลของการที่ไม่มีการเติมตัวทำละลายเห็นได้ว่าสามารถผลิตกรดไขมันอิสระได้น้อยมาก

ตัวทำละลายหมู่แอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ ทำให้ได้ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยหลักสองหัวข้อ โดยปัจจัยแรกคืออุณหภูมิสูงสุด ณ ความดันบรรยากาศจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

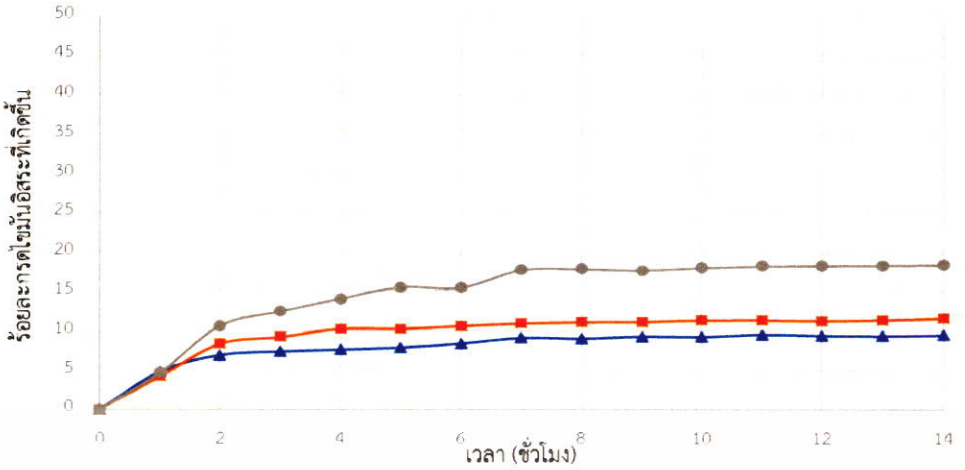
รีฟรักซ์ของแต่ละระบบมีความแตกต่างกัน ในระบบที่เลือกใช้เมทิลแอลกอฮอล์มีข้อจำกัดที่อุณหภูมิ 67 องศาเซลเซียส ทำให้อุณหภูมิในระบบต่ำที่สุดจึงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสผลิตร้อยละของกรดไขมันอิสระได้แค่ประมาณ 20 โดยน้ำหนัก ระบบถัดไปคือการเลือกใช้เอทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 90 องศาเซลเซียส ผลิตร้อยละของกรดไขมันอิสระได้ประมาณ 27 โดยน้ำหนัก และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 90 องศาเซลเซียส ผลิตร้อยละของกรดไขมันอิสระได้ประมาณ 41 โดยน้ำหนัก ดังนั้นอุณหภูมิสูงสุดที่ความดันบรรยากาศของแต่ละระบบส่งผลถึงร้อยละกรดไขมันอิสระที่สามารถผลิตขึ้นได้ และปัจจัยถัดมาคือความสามารถในการละลาย เนื่องจากความสามารถในการละลายทั้งน้ำมันและน้ำ ไอโซโพรพิล-แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด ต่อมาเป็นเอทิลแอลกอฮอล์และเมทานอลตามลำดับ จึงทำให้น้ำมันกับน้ำพร้อมทำปฏิกิริยากัน

จากผลการทดลองจึงได้ข้อสรุปที่ว่าไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมแก่การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากที่สุด ทั้งในด้านข้อจำกัดของอุณหภูมิรีฟรักซ์และความสามารถในการละลายทั้งน้ำมันและน้ำ ดังนั้นในหัวข้อถัดไปการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมแก่การทำปฏิกิริยาจึงเลือกใช้เฉพาะสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์มาทำการศึกษาวิจัยในด้านของอุณหภูมิ สัดส่วนสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

4.2 ผลการทดลองการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้สารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย

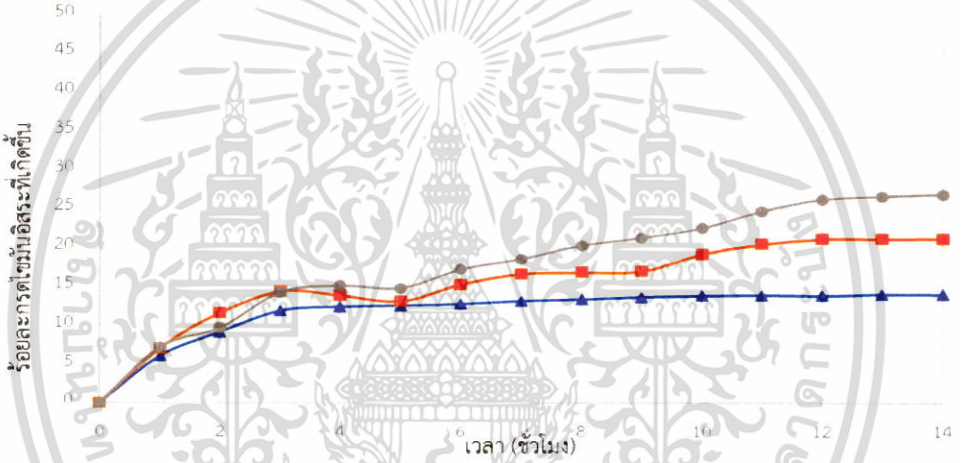
จากผลการทดลองการเลือกสารหมู่แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ได้ข้อสรุปว่าการเลือกใช้สารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปัจจัยต่อมาที่ทำการศึกษาคือผลของอุณหภูมิ และปริมาณไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เริ่มต้นจากนำน้ำมันปาล์มโอเลอิน 100 กรัม ทำปฏิกิริยากับน้ำ 6 กรัม โดยใช้ตัวเร่งเป็นกรดซัลฟิวริก 1 กรัม ทำปฏิกิริยา ณ สภาวะความดันบรรยากาศโดยมีคอนเดนเซอร์ที่ทำหน้าที่รีฟรักซ์ภายในระบบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้แก่ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส และ ใส่ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ปริมาณ 50 100 และ 150 กรัม เพื่อศึกษาร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการไทเทรตกับด่างแล้วนำไปคำนวณเพื่อหาค่าร้อยละกรดไขมันอิสระ ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.2 ถึง 4.4 โดยรูปที่ 4.2 แสดงถึงร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในระบบที่มีปริมาณไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ต่าง ๆ ณ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส รูปที่ 4.3 แสดงถึงร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในระบบที่มีปริมาณไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ต่าง ๆ ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และรูปที่ 4.4 แสดงถึงร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในระบบที่มีปริมาณไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ต่าง ๆ ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



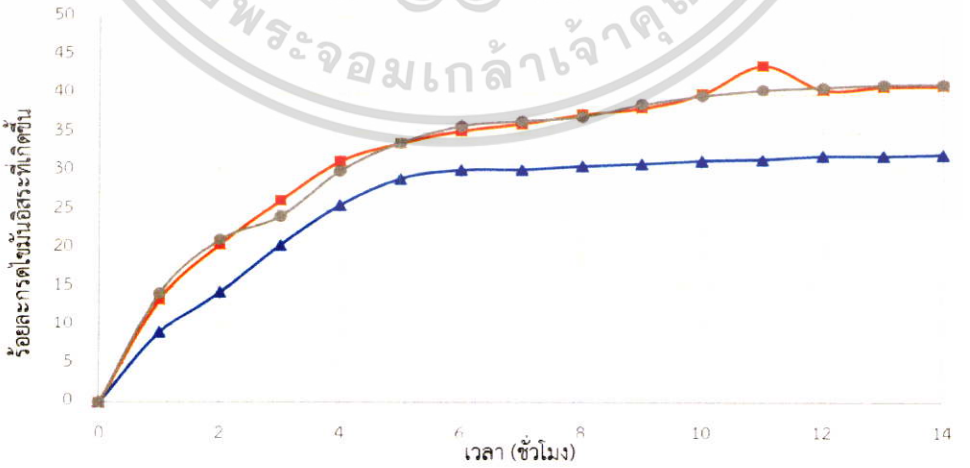
รูปที่ 4.2 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

(หมายคือ IPA 50 กรัม หมายถึง IPA 100 กรัม หมายถึง IPA 150 กรัม)



รูปที่ 4.3 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

(หมายคือ IPA 50 กรัม หมายถึง IPA 100 กรัม หมายถึง IPA 150 กรัม)



รูปที่ 4.4 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

(หมายคือ IPA 50 กรัม หมายถึง IPA 100 กรัม หมายถึง IPA 150 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 ถึง 4.4 เห็นได้ว่าตัวแปรทั้งสามตัว ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณตัวทำละลาย และเวลาในการทำปฏิกิริยาล้วนแต่ส่งผลต่อร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในแง่ของการแปรผันตรงทั้งสิ้น ในด้านของการเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยานั้นเป็นการเพิ่มอัตราในการทำปฏิกิริยาแล้ว ยังเป็นการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำที่เป็นสารตั้งต้นหลักในการทำปฏิกิริยาให้มีความสามารถละลายเข้าไปอยู่ในวัฏภาคที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำมัน ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ และเกิดขึ้นได้ไวยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับในด้านของปริมาณตัวทำละลายโดยการทดลองนี้เลือกใช้สารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เนื่องจากว่ามีความเหมาะสมกับระบบการทดลองนี้มากที่สุด การที่ตัวทำละลายเพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้ปริมาณน้ำสามารถละลายในวัฏภาคมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำมันเพิ่มขึ้นตาม สังเกตได้จากแผนผังวัฏภาคดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.7 และเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์อย่างกรดไขมันอิสระก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

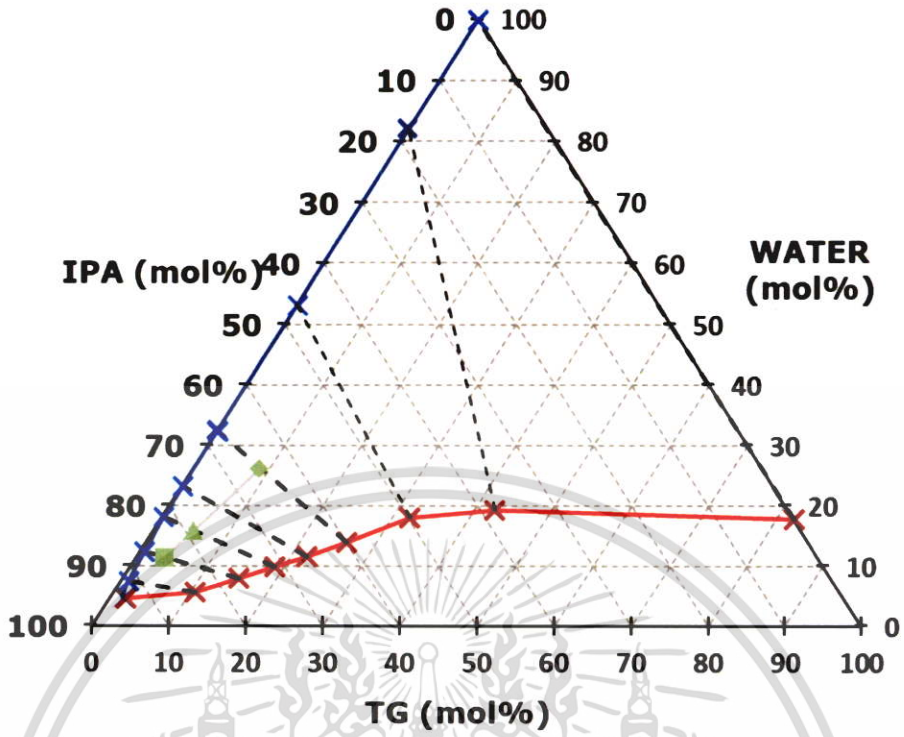
อุณหภูมิในช่วงขอบเขตการศึกษาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสคือ 90 องศาเซลเซียส เนื่องจากว่าปริมาณน้ำที่สามารถละลายในวัฏภาคน้ำมันมีความเหมาะสม อีกทั้งยังสามารถเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าอุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยที่ไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้สูงไปกว่า 90 องศาเซลเซียสได้ เนื่องจากระบบที่ใช้ทำปฏิกิริยานี้ถูกควบคุมให้อยู่ในสภาวะความดันบรรยากาศตลอดเวลา ดังนั้น อุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้คืออุณหภูมิรีฟลักซ์ของระบบ การที่เพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 90 องศาเซลเซียสจึงเป็นการให้พลังงานเกินกว่าความจำเป็น พลังงานที่ให้เกินไปจะไม่ถูกนำไปใช้ในการเร่งปฏิกิริยาแต่กลับไปใช้ในการเปลี่ยนวัฏภาคของตัวทำละลายอย่าง ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ให้กลายเป็นไอแล้วตกกลับมาเป็นของเหลวอย่างศูนย์เปล่า

ในด้านของปริมาณตัวทำละลายนั้นการที่ใช้ปริมาณตัวทำละลายที่มากขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นได้ดี แต่ในช่วงที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสหรือคืออุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยานั้น ปริมาณตัวที่ละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ 100 กรัม และ 150 กรัม ไม่เกิดความแตกต่างของผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำมีความสามารถในการละลายเพียงพอตั้งแต่ปริมาณตัวทำละลายที่ 100 กรัม แต่ถูกจำกัดที่สมดุลปฏิกิริยาแทน ดังนั้นปริมาณตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ 100 กรัมจึงเหมาะสมต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

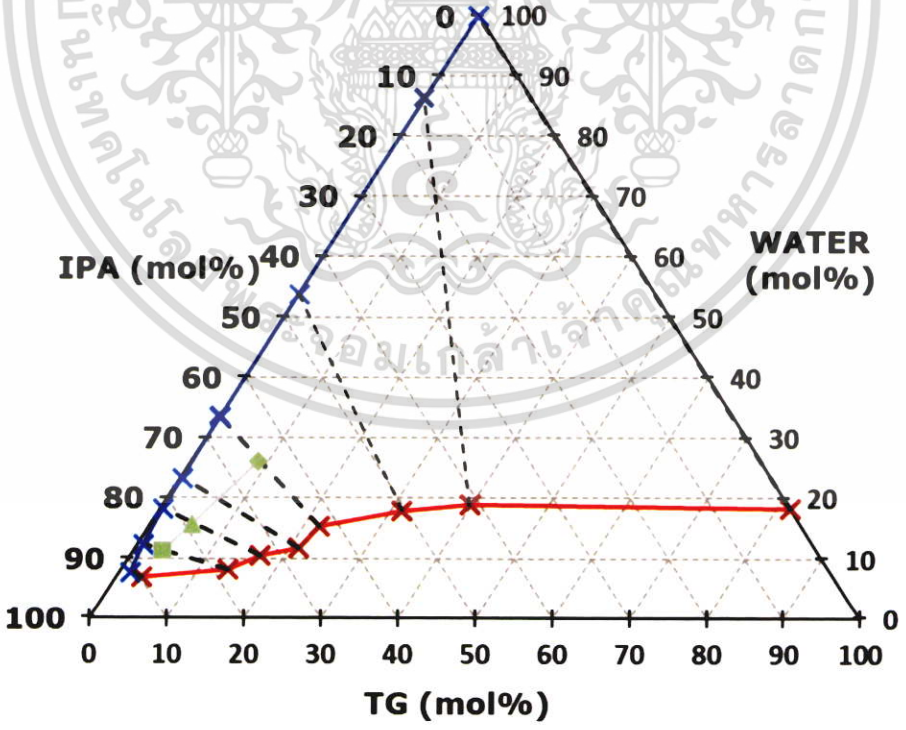
เวลาในช่วงแรกของการทำปฏิกิริยานั้นร้อยละของกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นได้เร็วเนื่องจากความเข้มข้นของสารตั้งต้นทั้งสองได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำ ยังมีความเข้มข้นที่สูงทำให้เป็นการง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยา ต่อมาปฏิกิริยาจะเริ่มช้าลงในช่วงชั่วโมงที่ 6 แต่ยังคงเพิ่มขึ้นในอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ช้าลง

ทั้งนี้ปริมาณน้ำในวัฏภาคที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำมันนั้นสามารถทำนายได้จากแผนภูมิของวัฏภาคในระบบของเหลว-ของเหลวขององค์ประกอบไตรกลีเซอร์ไรด์ในน้ำมันพืชปาล์มโอเลอิน ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และน้ำ โดยแผนภูมิวัฏภาคของแต่ละอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 4.5 ถึง 4.7 เรียงลำดับตั้งแต่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยสัญลักษณ์ —■— หมายถึงไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 50 กรัม —▲— หมายถึง 100 กรัม —◆— และหมายถึง 150 กรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

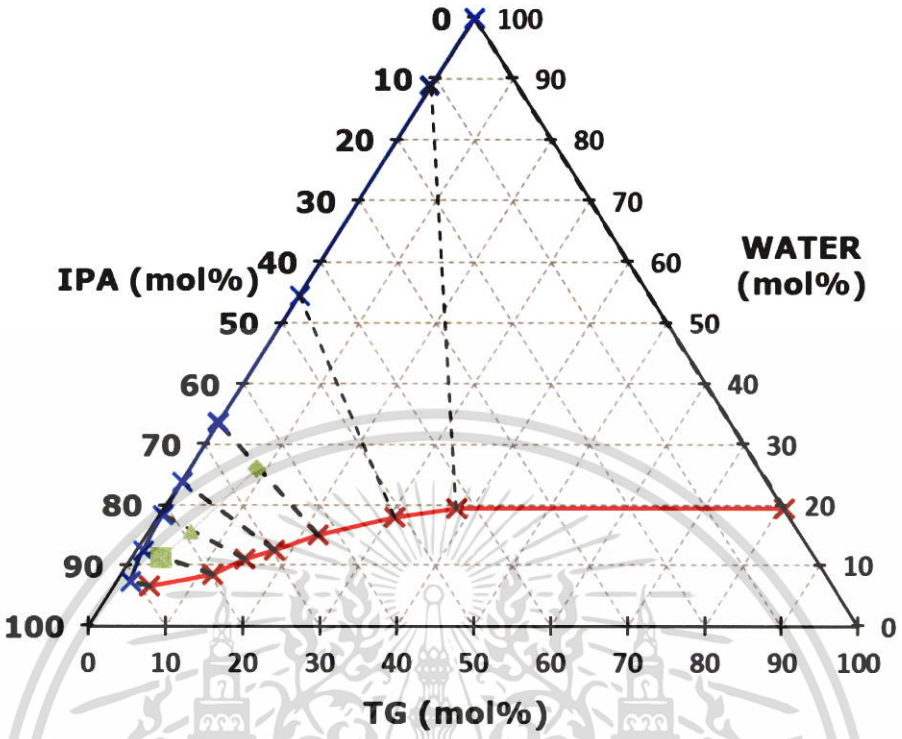


รูปที่ 4.5 แผนภูมิของวัฏภาคในระบบของเหลว-ของเหลวขององค์ประกอบไตรกลีเซอร์ไรด์ในน้ำมันพืชปาล์มโอเลอิน ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และน้ำ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 แผนภูมิของวัฏภาคในระบบของเหลว-ของเหลวขององค์ประกอบไตรกลีเซอร์ไรด์ในน้ำมันพืชปาล์มโอเลอิน ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และน้ำ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แผนภูมิของวัฏภาคในระบบของเหลว-ของเหลวขององค์ประกอบไตรกลีเซอร์ไรด์ในน้ำมันพืชปาล์มโอเลอิน ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และน้ำ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิของวัฏภาคสังเกตได้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์นั้นทำให้น้ำสามารถละลายในวัฏภาคที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบหลักได้มากขึ้น จากเดิมที่น้ำไม่สามารถละลายได้ และปัจจัยของอุณหภูมิมีส่วนทำให้การละลายของน้ำในวัฏภาคน้ำมันได้มากขึ้นเล็กน้อย แต่การที่ร้อยละกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นสูงจากการเพิ่มอุณหภูมินั้นนอกจากเรื่องการละลายแล้ว เป็นเพราะการเพิ่มอุณหภูมินั้นส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสูงขึ้น และประกอบกับจากการสังเกตการทดลองพบว่าเมื่อมองด้วยตาเปล่านั้นระบบที่ไม่มีการเติมตัวทำละลายจะเห็นการแยกวัฏภาคของน้ำมันและน้ำอย่างชัดเจน แต่เมื่อมีการเติมตัวทำละลายลงไปในระบบเมื่อมองด้วยตาเปล่าพบว่าระบบเข้าเป็นวัฏภาคเดียวกัน

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมแก่การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสคือที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลชัดเจนต่อร้อยละกรดไขมันที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของปริมาณสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์นั้น ปริมาณ 100 กรัม กับ 150 กรัม ได้ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน ดังนั้นการเลือกใช้ที่ปริมาณ 100 กรัม จึงมีความเหมาะสมกว่าที่ปริมาณ 150 กรัม เนื่องจากสามารถลดต้นทุนการผลิตและลดพลังงานในการแยกสารละลายออกจากระบบ สุดท้ายคือเวลาในการทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างว่องไวในช่วงแรก การทำปฏิกิริยาที่ 6 ชั่วโมงจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม เพราะหลังจากผ่าน 6 ชั่วโมงไปอัตราการเกิดกรดไขมันอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแก่การผลิตแล้ว นำสารละลายที่ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ณ สภาวะอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณสารละลายไอโซโพลพิลแอลกอฮอล์ 100 กรัม ทำปฏิกิริยาทั้งสิ้น 6 ชั่วโมง ไประเหยนำสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์พร้อมน้ำออกจากระบบ แล้วนำสารละลายที่เหลือไปกลั่นเอากรดไขมันอิสระที่ผลิตได้ออก แล้วนำสารประกอบกลีเซอไรด์ไปทำปฏิกิริยาซ้ำในขั้นที่สอง ได้ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่ผลิตได้ดังรูปที่ 4.8

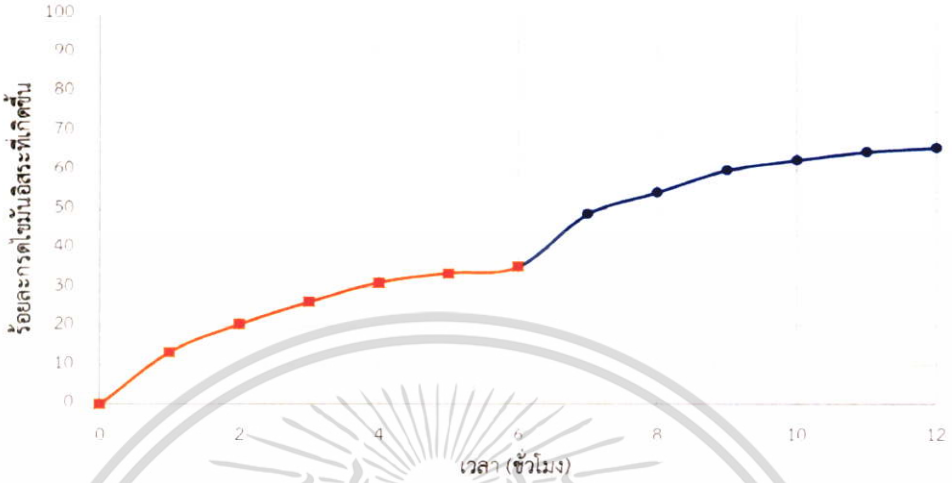
รูปที่ 4.8 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในการทำปฏิกิริยารอบที่สองโดยใช้ตัวทำไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 100 กรัม ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการทำปฏิกิริยารอบแรกไปกลั่นแยกกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นออกจากน้ำมัน พบว่าจากร้อยละกรดไขมันอิสระที่ 35.3 ลดลงเหลือร้อยละ 1.1 จากนั้นนำสารประกอบกลีเซอไรด์ที่เหลือไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสต่อในรอบที่สอง โดยเติมสารละลายไอโซ-โพรพิลแอลกอฮอล์ 100 กรัม น้ำ 6 กรัม และตัวเร่งกรดซัลฟิวริกปฏิกิริยาร้อยละ 1 ของน้ำมันที่เหลืออยู่ พบว่าเมื่อนำกรดไขมันอิสระที่ผลิตได้ในรอบแรกออกจากระบบปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถดำเนินต่อไปได้ในอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ใกล้เคียงกันกับการทำปฏิกิริยาในรอบแรก โดยกรดไขมันอิสระที่สามารถผลิตได้ในรอบที่สองนั้นเกิดขึ้นได้เร็วในช่วงหกชั่วโมงแรกอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30 และหลังจากนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง

ดังนั้นการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มโอเลอินกับน้ำด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ใช้สารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายที่สภาวะอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ โดยทำปฏิกิริยาทั้งหมดสองรอบแบ่งเป็นรอบละ 6 ชั่วโมง รวมเวลาในการทำปฏิกิริยาทั้งหมดเป็น 12 ชั่วโมง ได้ร้อยละกรดไขมันอิสระทั้งหมดเท่ากับ 65.6 แบ่งเป็นการทำปฏิกิริยารอบแรกได้ร้อยละกรดไขมันอิสระอยู่ที่ 35.3 และรอบที่สองได้ร้อยละกรดไขมันอิสระเท่ากับ 30.3 ดังรูปที่ 4.9 โดยสัญลักษณ์ —■— แสดงถึงการทำปฏิกิริยาในรอบแรก และสัญลักษณ์ —●— แสดงถึงการทำปฏิกิริยาในรอบที่สองตามลำดับ สรุปได้ว่าการผลิตกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้ตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์นี้ถือเป็นวิธีการที่สามารถผลิตกรดไขมันอิสระได้จริงและปริมาณกรดไขมันอิสระที่ผลิตได้อยู่ในระดับที่สูง อีกทั้งยังสะดวกต่อการผลิตอีกด้วย



รูปที่ 4.9 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในการทำปฏิกิริยาสองรอบโดยใช้ตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 100 กรัม ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

4.3 ผลการวิเคราะห์หาปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นด้วยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatograph, HPLC)

จากการนำผลการทดลองไปวิเคราะห์หาสารหมู่เอสเทอร์จากทั้งปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอริฟิเคชันและปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นโดยเครื่องโครมาโทกราฟ โดยพีคหมู่เอสเทอร์ขึ้นที่ช่วงเวลา 3 ถึง 5 นาที สารตั้งต้นกลุ่มไตรกลีเซอไรด์ขึ้นที่ช่วงเวลา 15 ถึง 25 นาที และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอย่างกลุ่มกรดไขมันอิสระนั้นขึ้นที่เวลา 5 ถึง 8 นาที ซึ่งผลการทดลองทุกสภาวะในการทำงานทดลองนั้นปรากฏพีคแค่พีคของกลุ่มกรดไขมันอิสระและพีคกลุ่มไตรกลีเซอไรด์เท่านั้น ปราศจากพีคของหมู่เอสเทอร์ เห็นได้ว่าปฏิกิริยาข้างเคียงอย่างปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันไม่เกิดขึ้นแม้จะมีการเติมสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มโอเลอินด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำ โดยใช้สารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายทำหน้าที่ให้น้ำสามารถละลายในวัฏภาคน้ำมัน ที่สภาวะอุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ โดยงานวิจัยนี้ได้ค่าผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่สามารถผลิตได้สูงสุดถึง 65.6 และเมื่อเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องก่อนหน้าพบว่าวิธีการผลิตกรดไขมันอิสระโดยใช้สารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์นี้สามารถทำให้ผลิตกรดไขมันอิสระที่สภาวะความดันบรรยากาศได้จากที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ ณ สภาวะความดันบรรยากาศ ยังมีข้อดีในด้านของความไม่ยุ่งยากซับซ้อนของกระบวนการผลิตจากด้านของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ต่ำลงมาก ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตได้ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยามีลักษณะสีที่ไม่เข้มเท่าวิธีการผลิตแบบก่อนที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่เข้มจากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงและตัวเร่งกรดซัลฟิวริกที่ใส่ในปริมาณที่สูงเพื่อเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาปัจจัยในการผลิตต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ตัวทำละลายกลุ่มแอลกอฮอล์สามารถเป็นตัวทำละลายในการผลิตกรดไขมันอิสระได้ เนื่องจากตัวทำละลายกลุ่มแอลกอฮอล์นั้นความสามารถในการละลายทั้งน้ำมันและน้ำ โดยตัวทำละลายกลุ่มแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่สุดคือไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์
2. ปริมาณตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ส่งผลปริมาณน้ำที่ละลายเข้าสู่วัฏภาคน้ำมัน โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์จาก 100 กรัม เป็น 150 กรัม ได้ผลของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นปริมาณตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เหมาะสมที่ 100 กรัม
3. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อทั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาและยังเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำในวัฏภาคน้ำมัน
4. การทำปฏิกิริยาเป็นจำนวนสองรอบนั้นสามารถผลิตกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นได้สูง เนื่องจากกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในรอบแรกทำหน้าที่ให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลแล้ว การที่กลั่นกรดไขมันอิสระออกจากระบบทำให้ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นต่อไปและได้กรดไขมันอิสระใกล้เคียงกับผลในรอบแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 6 ชั่วโมงทั้งการทำปฏิกิริยาทั้งสองรอบ เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างว่องไวในช่วง 6 ชั่วโมงแรก และเริ่มช้าลงเพื่อเข้าสู่สมดุลปฏิกิริยา

จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่สภาวะความดันบรรยากาศเพื่อผลิตกรดไขมันอิสระคือ สภาวะที่ในระบบต้องมีตัวทำละลายที่เหมาะสม ปริมาณตัวทำละลายที่สูงพอ อุณหภูมิสูง และโดยการกลั่นกรดไขมันแยกออกไปทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์อยู่ในระดับที่ต่ำลงเพื่อให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินต่อไปได้ โดยขอบเขตของการทดลองนี้ได้สภาวะที่เลือกใช้สารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายซึ่งใส่เข้าในระบบเป็นปริมาณ 100 กรัม อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยาทั้งหมด 12 ชั่วโมง โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง เมื่อทำปฏิกิริยารอบแรก 6 ชั่วโมงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาระเหยสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์แล้วนำไปกลั่นกรดไขมันอิสระออกเพื่อให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินต่อไปได้ในการทำปฏิกิริยารอบที่สอง ซึ่งได้ผลร้อยละกรดไขมันอิสระประมาณ 65 ถึงอย่างไรก็ตามสภาวะในการทำปฏิกิริยาดังกล่าวก็มีข้อจำกัดของผลกรดไขมันอิสระให้สูงขึ้นซึ่งเป็นช่วงของการเปลี่ยนโมโนกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระที่คาดว่าอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียสนั้นไม่เพียงพอต่อการทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่สภาวะความดันบรรยากาศเป็นการทำปฏิกิริยาที่จำกัดโดยอุณหภูมิรีฟรักซ์ของระบบ ทำให้ไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นได้ ทั้งที่การจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์นั้นต้องทำการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงของการเปลี่ยนโมโนกลีเซอไรด์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ

5.2.2 มองในมุมของผลิตภัณฑ์รองที่เกิดขึ้นนั้น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เหมาะสมแก่การนำไปใช้ในการผลิตโมโนกลีเซอร์และไดกลีเซอไรด์ได้ โดยการทำปฏิกิริยารอบแรกนั้นเกิดไดกลีเซอไรด์ในปริมาณที่สูง และปฏิกิริยารอบที่สองนั้นเกิดโมโนกลีเซอไรด์ในปริมาณที่สูงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). 2562. **สถานการณ์ในปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคต**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/trends/index.php.

[2] Ye Sun, Nithya Neelakantan, Yi Wu, Rashmi Lote-Oke, An Pan and Rob M van Dam. 2015. "Palm Oil Consumption Increases LDL Cholesterol Compared With Vegetable Oils Low in Saturated Fat in a Meta-Analysis of Clinical Trials." **The Journal of Nutrition**. Volume 145, Issue 7, 2015, pp 1549–1558.

[3] ศูนย์ข่าวพลังงาน. 2562. **กฟผ.เสนอใช้น้ำมันปาล์มดิบผลิตไฟฟ้า ล็อตใหม่อีก 1 แสนตัน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.energynewscenter.com/กฟผ-เสนอใช้น้ำมันปาล์มด/

[4] Shahidi, F. **Bailey's industrial oil and fat products**. 6th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2005.

[5] Critical Processes. 2562. **Superheated water: more details**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.criticalprocesses.com/superheated%20water%20%20more%20details.htm.

[6] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2562. **Palm oil / น้ำมันปาล์ม**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1300/palm-oil-น้ำมันปาล์ม

[7] Yoshiteru Akaike, Nippon Oil & Fats Co., Ltd., Amagasaki Factory and Oil & Fats Research Lab. "Other Oleochemical Uses: Palm Oil Products." **The Journal of the American Oil Chemists' Society**. Volume 62, Issue 2, 1985, pp 335-340

[8] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2562. **Fatty acid / กรดไขมัน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0800/fatty-acid-กรดไขมัน

[9] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2562. **Palmitic acid / กรดปาลมิติก**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2038/palmitic-acid-กรดปาลมิติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2562. **Stearic acid / กรดสเตียริก**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1644/ stearic-acid-กรดสเตียริก

[11] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2562. **Oleic acid / กรดโอเลอิก**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1643/ oleic-acid-กรดโอเลอิก

[12] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2562. **linoleic acid / กรดลิโนเลอิก**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1647/ oleic-acid-กรดลิโนเลอิก

[13] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2562. **Glycerol / กลีเซอรอล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1926/glycerol-กลีเซอรอล

[14] Wikipedia. the free encyclopedia. 2562. **Monoglyceride**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/monoglyceride

[15] Wikipedia. the free encyclopedia. 2562. **Diglyceride**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/diglyceride

[16] Lipico. 2562. **Fat Splitting**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.lipico.com/processes_fat-splitting.html

[17] LiberTexts. 2562. **Properties of Alcohols**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Organic_Chemistry)/Alcohols/Properties_of_Alcohols

[18] Wikipedia. the free encyclopedia. 2562. **Methanol**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/methanol

[19] Wikipedia. the free encyclopedia. 2562. **Ethanol**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/ethanol

[20] Wikipedia. the free encyclopedia. 2562. **Isopropyl alcohol**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/isopropyl_alcohol

[21] Seader, J.D., Henley and E.J., **Separation Process Principles**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 1998.

[22] Nikul K.Patel and Shailesh N.Shah. "Biodiesel from Plant Oils." **Food, Energy, and Water**. 2015. pp 277–307.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[23] LiberTexts. 2562. **Esterification**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Organic_Chemistry)/Esters/Synthesis_of_Esters/Esterification

[24] นงพะงา กงสิทธิ์, นที เตรียมปราบศึก และ ธนภร เดชชุษณะนาถ. "**การศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ**." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554

[25] Reinhold SedeliesWilhelm, JohannisbauerGuenter WoznyLutz, JerominGerhard Dieckelm, Manfred Lindemann and Gerd Matrong **"Process for the acid-catalyzed cleavage of fatty acid glycerides and apparatus therefor."** U.S patent no. 5128070, august 1988

[26] Zerong Wang. **Twitchell Process**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2010.

[27] R. Alenzi, G.A. Leeke, R.C.D. Santos and A.R. Khan. "Hydrolysis kinetics of sunflower oil under subcritical water conditions." **Chemical Engineering Research and Design**. Volume 87, 2009, pp 867–873.

[28] Chanon Trakulnaleamsai. 2017. "hydrolysis palm oil at atmospheric pressure by using isopropanol as solvent." 676-678. TiChE 2017. Bangkok. Shangri-La hotel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าความเป็นกรด

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในสารตั้งต้นส่วนน้ำมัน และผลิตภัณฑ์อ้างอิงวิธีมาตรฐาน A.O.C.S. Official Method Ca 5a-40 ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม ในน้ำมันปาล์มประกอบด้วยกรดไขมันหลัก ๆ 2 ชนิดคือ กรดปาล์มมิติก และ กรดโอเลอิก ซึ่งถือเป็นร้อยละ 90 ของกรดไขมันทั้งหมด ดังนั้นจึงกำหนดให้มวลโมเลกุลของกรดไขมันเป็นค่าเฉลี่ยของกรดทั้ง 2 ตัวคือ 256.42 และ 282.46 กรัมต่อกรัมโมลตามลำดับทำให้ได้ค่ามวลโมเลกุลเฉลี่ยเป็น 269.44 กรัมต่อกรัมโมล ทำให้สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระได้จากสมการ

$$\text{ร้อยละกรดไขมันอิสระ} = \frac{V \times C \times M}{1,000 \times m}$$

เมื่อ V คือ ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

C คือ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลต่อลิตร)

M คือ มวลโมเลกุลของกรดไขมันอิสระ ซึ่งเท่ากับ 269.44 (กรัมต่อกรัมโมล)

m คือ น้ำหนักสารตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)

จากการที่ทราบปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตสามารถนำมาคำนวณหาค่าความเป็นกรดได้จากสมการดังนี้

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{V \times C \times 40}{1,000 \times m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลอง

1. ข้อมูลผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในสารหมู่แอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ ข.1 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระทีเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ณ สภาวะอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ โดยสารหมู่แอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนักรวม 200 กรัม โดยใส่น้ำ 6 กรัม

เวลาในการทำปฏิกิริยา	ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น			
	ไม่มีการเติมตัวทำละลาย	เติมเมทานอล	เติมเอทานอล	เติมไอโซโพร-พานอล
0	0	0	0	0
1	2.2104	5.3141	6.8983	13.4133
2	2.1863	12.5322	13.5441	20.5782
3	2.5710	17.0073	17.5382	26.2560
4	2.4001	18.6411	19.8555	31.3770
5	2.5073	19.0020	20.6683	33.7266
6	2.7912	19.5388	24.7851	35.3274
7	2.4887	19.9685	25.3860	36.2256
8	2.5012	20.1140	25.9100	37.4321
9	2.5744	20.4667	25.8411	38.2256
10	2.6032	20.4103	27.0023	40.0706
11	2.5866	20.1449	27.4102	43.7212
12	2.5371	20.6910	27.5013	40.6076
13	2.7001	19.1007	27.4938	40.9762
14	3.0155	20.0451	27.0017	41.0894

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ข้อมูลผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในสภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ ข.2 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระทีเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ณ สภาวะอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ โดยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 0.5 1 และ 1.5 โดยน้ำหนัก

เวลาในการทำปฏิกิริยา	ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส		
	ไอโซโพรพานอล 50 กรัม	ไอโซโพรพานอล 100 กรัม	ไอโซโพรพานอล 150 กรัม
0	0	0	0
1	4.8437	4.2077	4.6902
2	6.9320	8.3632	10.6900
3	7.3807	9.2080	12.4972
4	7.6232	10.2934	14.1010
5	7.8912	10.2980	15.5969
6	8.4262	10.6598	15.5376
7	9.1384	10.9865	17.7698
8	9.0563	11.1447	17.8743
9	9.3226	11.1860	17.7272
10	9.2766	11.3935	18.0564
11	9.5766	11.4088	18.2710
12	9.4271	11.3018	18.3271
13	9.3772	11.4288	18.3571
14	9.4977	11.6209	18.4271

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ณ สภาวะอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ โดยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 0.5 1 และ 1.5 โดยน้ำหนัก

เวลาในการทำปฏิกิริยา	ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส		
	ไอโซโพรพานอล 50 กรัม	ไอโซโพรพานอล 100 กรัม	ไอโซโพรพานอล 150 กรัม
0	0	0	0
1	6.0071	7.0432	7.1421
2	9.0627	11.5377	9.6208
3	11.7842	14.2786	14.1704
4	12.2810	13.7619	14.9839
5	12.4460	13.0324	14.7163
6	12.6562	15.2146	17.1410
7	13.0712	16.5618	18.4674
8	13.2710	16.7506	20.2026
9	13.5762	16.9288	21.2104
10	13.7266	19.1079	22.4540
11	13.8266	20.4185	24.6515
12	13.7266	21.0714	26.1301
13	13.9271	21.0636	26.5153
14	13.8771	21.1100	26.79055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ณ สภาวะอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ โดยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 0.5 1 และ 1.5 ต่อโดยน้ำหนัก

เวลาในการทำปฏิกิริยา	ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส		
	ไอโซโพรพานอล 50 กรัม	ไอโซโพรพานอล 100 กรัม	ไอโซโพรพานอล 150 กรัม
0	0	0	0
1	9.1382	13.4132	14.2781
2	14.3157	20.5782	21.2036
3	20.4526	26.2560	24.2338
4	25.6754	31.3770	30.1274
5	29.0703	33.7266	33.7690
6	30.1909	35.3274	35.9470
7	30.2538	36.2256	36.5824
8	30.6818	37.4321	37.1192
9	30.9734	38.2256	38.7302
10	31.3902	40.0706	39.7941
11	31.5690	43.7212	40.5596
12	31.9712	40.6076	40.9061
13	31.9792	40.9762	41.2562
14	32.1642	41.0894	41.3002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ข้อมูลผลร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นสูงสุด โดยนำไปกลั่นแยกกรดไขมันอิสระเพื่อทำปฏิกิริยารอบที่สอง

ตารางที่ ข.5 ผลร้อยละกรดไขมันอิสระทีเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย ณ สภาวะอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ โดยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นสัดส่วนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปกลั่นแยกกรดไขมันอิสระเพื่อทำปฏิกิริยาแบบเดิมซ้ำอีกหนึ่งรอบ

จำนวนครั้งการทำปฏิกิริยา	เวลาในการทำปฏิกิริยา	ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น
1	0	0
	1	13.41325
	2	20.5782
	3	26.25605
	4	31.37705
	5	33.72655
	6	35.3274
2	7	48.7363
	8	54.29965
	9	59.98805
	10	62.61045
	11	64.76175
	12	65.6785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชนน ตระกูลน่าเลื่อมใส
วัน เดือน ปี เกิด	22 กุมภาพันธ์ 2538 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	54/111 หมู่ 6 หมู่บ้านศรีสุภาลัย ถ.ศาลายา-บางเลน ตำบลบ้านใหม่ อำเภอบางใหญ่ นนทบุรี 11140 โทร.0-2449-7064
ประวัติการศึกษา	2559 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์	
พ.ศ.2558	นักศึกษาฝึกงาน บริษัท PTT Global Chemical Public Company Limited โรงงานโอเลฟินส์ 2 จังหวัดระยอง เป็นระยะเวลา 2 เดือน
พ.ศ.2560	ส่งผลงานเข้าร่วมประชุมวิชาการ “สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27 (TIChE 2017)” ในหัวเรื่อง “การศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มที่ความดันบรรยากาศโดยใช้สารละลายไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย” จังหวัดกรุงเทพฯ 18 ถึง 20 ตุลาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้