

การศึกษาการกำจัดยางเหนียวพร้อมๆ
การไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มดิบ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการกำจัดยางเหนียวพร้อมกับการไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มดิบ



ชนน ตระกูลนำเลื่อมใส

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CRUDE PALM OIL DEGUMMING AND HYDROLYSIS



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง

การศึกษาการกำจัดยางเหนียวพร้อมกับการไฮโดรไลซิสน้ำมัน
ปาล์มดิบ

โดย

นายชนน ตระกูลนำเลื่อมใส

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ

(ดร.นริศรา ทองบุญชู)

วัลย์รัตน์ จันทระอัมพร.....กรรมการ

(ผศ.ดร.วัลย์รัตน์ จันทระอัมพร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การศึกษาการกำจัดยางเหนียวพร้อมกับการไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มดิบ
โดย	นายชนน ตระกูลนำเลื่อมใส
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบแบบไม่อาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาโดยแตกตัวด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ ด้วยกรดจากกระบวนการกำจัดยางเหนียว เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระให้ได้ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้น ในกระบวนการกำจัดยางเหนียวใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 0.1 โดยโมล อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแตกตัวด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อน้ำมันปาล์มดิบเป็น 1:1 โดยปริมาตร ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแตกตัวด้วยน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยแต่ละตัวแปร มี 3 ระดับ คือ อุณหภูมิที่ 200 220 และ 240 องศาเซลเซียส และ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 60 80 และ 100 นาที ทำการไทเทรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นและคำนวณค่ากรดพร้อมทั้งวิเคราะห์หาองค์ประกอบสารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จากการวิเคราะห์ผลกระทบบของตัวแปรด้วยวิธีทางสถิติ สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของตัวแปรทั้งสองมีผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น อีกทั้งกระบวนการนี้ยังได้ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นและทำให้ลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการผลิต

Report Title	Crude Palm Oil Degumming and Hydrolysis
By	Mr.Chanon Trakulnaleamsai
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Academic Year	2016
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Prakob Kichaiya

ABSTRACT

This research produces free fatty acid from crude palm oil form hydrolysis in subcritical water by acid in degumming process for improving free fatty acid production process. In experimental, crude palm oil combines with 0.1 percent weight phosphoric acid at 90 degree Celsius for 1 hour in degumming process and is hydrolyzed with Water at same volume ration. Effects of temperature and residence time were investigated for the hydrolysis yield. There were 3 levels for each factor as following: 200, 220 and 240 degree Celsius and 60, 80 and 100 minutes. Free fatty acids concentration in lipid phase was analyzed by acid value titration and gas chromatograph. The results from statistical analysis suggested that increase of both variables has resulted in an increase of free fatty acids concentration. It was found that this process can improve percent of free fatty acid and reduce cost and time for production.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายท่าน

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ ให้ความรู้และแนวคิดในการแก้ปัญหา ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญาานิพนธ์ตลอดการทำโครงการวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี อาจารย์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในหลายๆรายวิชาที่ศึกษาแก่ผู้ทำโครงการวิจัย ทำให้ผู้ทำโครงการวิจัยมีความรู้ความสามารถในการแก้ปัญหาและนำมาประยุกต์ใช้กับการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ สุนทรชัชเวช คุณธนบูรณ์ พันธุ์สุวรรณ และคุณธีรพันธ์ ตั้งกิตติมศักดิ์ สำหรับความช่วยเหลือในการทดลอง จัดหาอุปกรณ์และสารเคมี รวมทั้งคอยให้คำปรึกษา ทำให้โครงการวิจัยดำเนินไปได้อย่างราบรื่น ได้ผลการวิจัยที่ถูกต้อง และน่าเชื่อถือ

ขอขอบคุณบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจหาปริมาณยางเหนียวในตัวอย่งน้ำมันปาล์ม

ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เคารพ ที่เป็นผู้ให้กำลังใจและคอยสนับสนุนผู้จัดทำมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำโครงการวิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใดในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำโครงการวิจัยขอน้อมรับและขออภัยไว้ ณ ที่นี้

ชนน ตระกูลนำเลื่อมใส

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น.....	3
2.1.1 กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid).....	3
2.1.2 น้ำมันปาล์มและกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม.....	4
2.1.3 การกำจัดยางในน้ำมันปาล์มดิบ.....	7
2.1.4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันและการเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการเร่งด้วย ตัวมันเอง.....	8
2.1.5 น้ำสถานะกึ่งวิกฤติ (Subcritical water).....	10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง.....	13
3.1 การกำจัดยางด้วยกรด.....	13
3.2 การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....	14
3.3 การวิเคราะห์หาร้อยละกรดไขมันและค่าความเป็นกรด (acid value) ด้วยเทคนิคการไทเทรต.....	15
3.4 การวิเคราะห์หาค่าประกอบที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	16
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	18
4.1 ผลการทดสอบการกำจัดยางด้วยกรด.....	18
4.2 ผลการทดลองการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหลังจากผ่านการกำจัดยาง.....	18
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	24
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	24
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	24
เอกสารอ้างอิง.....	25
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	28
ภาคผนวก ข การคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าความเป็นกรด.....	30
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบ.....	31

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 กรดไขมันอิสระในน้ำมันพืช.....	3
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	5
ตารางที่ 4.1 ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น.....	18
ตารางที่ 4.2 วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance).....	19
ตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด ณ สภาวะต่างๆ.....	22
ตารางที่ 4.4 รีเทนชันไทม์ขององค์ประกอบต่างๆ.....	22



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของกรดปาล์มมิติก.....	5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของกรดโอเลอิก.....	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของกรดลิโนเลอิก.....	6
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของสารพวกฟอสโฟลิปิดแบบต่างๆ.....	7
รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันพืช.....	9
รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการใช้น้ำความดันสูงแบบไหลสวนทาง.....	9
รูปที่ 2.7 ค่าพีเอช (pH) ของน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติที่อุณหภูมิต่างๆ.....	10
รูปที่ 2.8 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น.....	11
รูปที่ 2.9 กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันทานตะวัน ด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ.....	12
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ใช้ในการทดลอง.....	14
รูปที่ 4.1 ผลกระทบของตัวแปรหลักที่มีต่อกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น.....	20
รูปที่ 4.2 ผลกระทบของตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกัน 2 ตัวที่มีต่อกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น.....	20
รูปที่ 4.3 กราฟคอนทัวร์ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น.....	21
รูปที่ 4.4 กราฟคอนทัวร์ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น.....	21
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	23

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปาล์มน้ำมันถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของการเกษตรไทย ส่งผลให้ประเทศไทยมีจุดแข็งในด้านความมั่นคงทางอาหารประเภทน้ำมัน โดยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ของไทยถือได้ว่ามีมาตรฐานการผลิตที่สูงเมื่อเทียบกับประเทศผู้ผลิตปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มรายใหญ่ของโลก เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีลักษณะใส ไม่มีตะกอน และไม่เป็นไข ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการส่งเสริมให้มีการปลูกต้นปาล์มเพื่อการแปรรูปมูลค่าสูงเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซล ซึ่งคาดว่าจะ เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันในอนาคตและอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอล (oleochemical) ที่ผลิตสารเคมีเพื่อใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น สบู่ สารซักล้าง เครื่องสำอาง เป็นต้น เนื่องจากน้ำมันปาล์มสามารถผลิตเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ที่ถือเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิต

กรดไขมันอิสระ หมายถึง กรดไขมัน (fatty acid) ที่ไม่ได้รวมอยู่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) โดยปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพในการผลิตน้ำมันเพื่อบริโภค กรดไขมันอิสระส่วนใหญ่ของน้ำมันปาล์มประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว เช่น กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) กรดสเตียริก (stearic acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก (oleic acid) กรดลินอเลอิก (linoleic acid) ในสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่ใกล้เคียงกัน

ในปัจจุบันกรดไขมันอิสระมีการนำไปใช้อย่างหลากหลาย ทำให้กรดไขมันอิสระเป็นที่ต้องการสูง ดังนั้นกระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มจึงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องศึกษาเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการผลิตสูงสุด โดยการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) ต้องผ่านกระบวนการกำจัดยาง (degumming) โดยใช้กรดพร้อมกับให้ความร้อนเพื่อทำให้ยาง (gum) ที่ละลายอยู่ในชั้นน้ำมันเปลี่ยนเป็นละลายอยู่ในชั้นน้ำทำให้สะดวกต่อการกำจัดยาง และกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี โดยงานวิจัยนี้สนใจการใช้สภาวะกึ่งวิกฤติในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันสูง เพราะเป็นวิธีการที่ไม่ก่อให้เกิดของเสีย ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำบัด นอกจากนี้จากการศึกษาวิจัยพบว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤตินี้มีลักษณะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการเร่งด้วยตัวมันเอง (autocatalytic) เนื่องจากกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นแสดงคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยตัวเอง จึงสังเกตเห็นว่ากระบวนการไฮโดรไลซิสสามารถทำต่อจากกระบวนการกำจัดยางได้ เพราะการเติมกรดเพื่อกำจัดยางนั้นถือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไปในตัว อีกทั้งยังต้องให้ความร้อนกับทั้งสองปฏิกิริยาด้วย

การกำจัดยางพร้อมกับการไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ สอดคล้องกับหลักของเคมีสีเขียว (green chemistry) ในเรื่องการลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นพิษ การใช้สารหรือวัตถุดิบที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งเป็นการทำให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงสุดเพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตกรดไขมันอิสระในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบ
2. เพื่อศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดจากการใช้กรดในกระบวนการกำจัดยางเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไฮโดรไลซิส

1.3 ขอบเขตโครงการ

ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการใช้กรดในกระบวนการกำจัดยางเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไฮโดรไลซิส ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 240 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 ถึง 100 นาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงวิธีการกำจัดยางและการไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มดิบในระดับอุตสาหกรรม
2. สามารถพัฒนาวิธีการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์ม

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1.1 กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) [1]

กรดไขมันอิสระส่วนใหญ่จะเป็นสายโซ่คาร์บอนตรงไม่มีกิ่ง (aliphatic) จำนวนคาร์บอนของสายโซ่มีได้หลากหลาย แต่มักพบในธรรมชาติอยู่ในช่วง C_4 ถึง C_{22} โดยที่พบมากที่สุดคือ C_{18} จำนวนคาร์บอนของสายโซ่ที่พบในธรรมชาติมักเป็นจำนวนคู่ กรดไขมันอิสระพบได้ทั้งแบบอิ่มตัว (saturated) และแบบไม่อิ่มตัว (unsaturated)

น้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีชนิด และปริมาณกรดไขมันแตกต่างกันไป โดยน้ำมันพืชที่ถูกใช้ทั่วไปมีองค์ประกอบดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กรดไขมันอิสระในน้ำมันพืช [1]

ชนิดน้ำมันพืช	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
	16:0	18:1	18:2	18:3	กรดไขมันอื่นๆ
น้ำมันมะพร้าว	9	6	2		8:0 (8); 10:0 (7); 12:0 (48); 14:0 (18)
น้ำมันข้าวโพด	13	31	52	1	
น้ำมันถั่วลิสง	13	37	41		$C_{20}-C_{24}$ (7)
น้ำมันมะกอก	10	78	7		
น้ำมันปาล์ม	44	40	10		18:0 (5)
น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม	9	15	2		8:0 (3); 10:0 (4); 12:0 (49); 14:0 (16)
น้ำมันงาดำ	9	38	45		18:0 (6)
น้ำมันถั่วเหลือง	11	22	53	8	
น้ำมันดอกทานตะวัน	6	18	69		18:0 (6)

นอกจากนี้ได้มีการผลิตอนุพันธ์ของกรดไขมันให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตภัณฑ์ชนิดสำคัญ ได้แก่

1. Medium Chain Triglycerides (MCT) ผลิตโดยนำกรดไขมันที่มีความยาวโซ่ปานกลาง เช่น C_6 ถึง C_{10} ในน้ำมันเมล็ดในปาล์มมาสังเคราะห์ จะได้ MCT ซึ่งมีความสำคัญมากในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมแป้ง เครื่องหอม การเคลือบขนม การอบขนมปัง และใช้ผลิตสารหล่อลื่นในเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรดไขมันในกระบวนการผลิตยาง ใช้ผสมในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับยาง ซึ่งมี คุณสมบัติ ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่น และใช้เป็นสารหล่อลื่นภายนอก

3. กรดไขมันสำหรับผลิตเทียนไข ในอดีตเทียนไขทำมาจากไขผึ้งและไขมัน แต่ การเผา ไขมันทำให้เกิดกลิ่นฉุนและมีควัน จึงพัฒนามาใช้ไขมันปาล์มน้ำมันในการผลิตเทียนไข โดยใช้กรด ปาล์มมิติก และกรดสเตียริกในอัตราส่วน 7 ต่อ 2 ซึ่งจะทำให้เทียนไขหลุดจากพิมพ์ได้ง่าย มีอายุการ ติดไฟที่นาน มีควัน และน้ำตาเทียนน้อย

4. กรดไขมันสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง กรดไขมันที่ใช้ต้องเป็นกรดไขมันที่มีคุณภาพดี มีความบริสุทธิ์สูง ส่วนใหญ่นิยมใช้กรดไมริสติก กรดปาล์มมิติก และ กรดสเตียริก ซึ่งมีคุณสมบัติใน การปรับสภาพผิวให้ดูดีขึ้นและบำรุงความชุ่มชื้นให้แก่ผิวพรรณ

5. กรดไขมันสำหรับผลิตสบู่ การผลิตสบู่คุณภาพดี เช่น white soap ต้องใช้ กรดไขมันที่ ผ่านการ ฟอกสีและมีความบริสุทธิ์สูง โดยต้องผ่านการกลั่นลำดับส่วน เพื่อให้ได้กรดไขมันที่มีค่า SCV ต่ำกว่า 3R จึงสามารถผลิต white soap ได้ และในปัจจุบันมีการใช้กรดสเตียริกในการผลิตสบู่ที่มี ความใส และโปร่งแสง ซึ่งนิยมใช้มากในแถบอเมริกาใต้

6. กรดไขมันสำหรับผลิต metal soaps เป็นสบู่ที่ไม่มีส่วนผสมของโซเดียมหรือ โพแทสเซียมใช้มากในการผลิตสารหล่อลื่น จาระบี สี น้ำมันทาไม้ หรือพลาสติก และในปัจจุบันนิยม ใช้ผสม ในอาหารสัตว์ เนื่องจากเป็นแหล่งที่ให้พลังงานสูง

2.1.2 น้ำมันปาล์ม และกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม [1-6]

การผลิตน้ำมันปาล์มทั่วทั้งโลกเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงเวลา 30 ปีให้หลัง มีการลงทุน ทางด้านธุรกิจน้ำมันปาล์มอย่างต่อเนื่องในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แอฟริกา และอเมริกากลาง เนื่องจากปาล์มน้ำมันเจริญเติบโตได้ดีช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 33 องศาเซลเซียส

น้ำมันปาล์มดิบมีองค์ประกอบ [2] คือ

1. ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ประมาณร้อยละ 95 ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยลักษณะของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มจะประกอบโดยอัตราของกรดไขมันอิ่มตัวกับไม่อิ่มตัวที่เท่ากัน ดังตารางที่ 2.2

2. กรดไขมันอิสระ ประมาณร้อยละ 3-5

3. องค์ประกอบส่วนน้อยอื่นๆ ประมาณร้อยละ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย ไฟโตนิว- เตรีียนท์ (phytonutrient) ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและสารอื่นๆ เช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoid) โทโคฟีรอล (tocopherols) โทโคไตรอินอล (tocotrienols) สเตอรอล (sterols) ไตรเทอร์พีน (triterpene) ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ไกลโคลิพิด (glycolipids) ไข (waxes) และสิ่งเจือปน จากกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันปาล์มดิบจากมาเลเซีย [1]

ชนิดกรดไขมัน	ร้อยละของทั้งหมด
C 12:0 (lauric acid)	0.23
C 14:0 (myristic acid)	1.09
C 16:0 (palmitic acid)	44.02
C 18:0 (stearic acid)	4.54
C18:1 (oleic acid)	39.15
C18:2 (linoleic acid)	10.12

จากตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์ C ตามด้วยตัวเลขจะแสดงถึงจำนวนคาร์บอนต่อหนึ่งโมเลกุล และเลขที่ต่อข้างหลังแสดงถึงจำนวนพันธะคู่เพื่อสัญลักษณ์ของความไม่อิ่มตัวไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน กรดไขมันจากน้ำมันปาล์มที่ถูกใช้มากในอุตสาหกรรม ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (16:0) กรดโอเลอิก (18:1) กรดลิโนเลอิก (18:2) และกรดสเตียริก (18:0) มีรายละเอียดรวมถึงการใช้ประโยชน์ดังนี้

2.1.2.1 กรดปาล์มมิติก [3]

กรดปาล์มมิติกมีสูตรโมเลกุลคือ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$ น้ำหนักโมเลกุล 256.42 กรัมต่อโมล เป็นกรดไขมันอิ่มตัว จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 62.9 องศาเซลเซียส โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 16 อะตอม สายโซ่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดปาล์มมิติกเป็นกรดไขมันชนิดหนึ่งที่ถูกพบมากที่สุดในธรรมชาติ สำหรับพืชพบมากที่สุดคือน้ำมันปาล์ม และพบมากในไขวัว (tallow) สำหรับสัตว์ มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.1

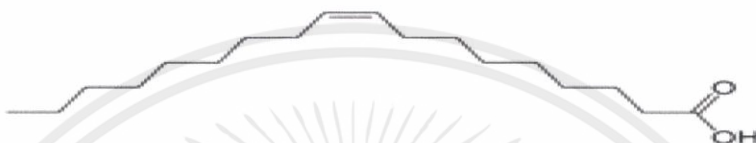


รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของกรดปาล์มมิติก

เมื่อนำกรดปาล์มมิติกมาทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) จะได้เกลือโซเดียมของกรดปาล์มมิติก (sodium palmitate) ซึ่งถูกใช้มากในการผลิตสบู่ เครื่องสำอาง น้ำยาถอดแบบ อีกทั้งยังถูกใช้มากในการผลิตอาหาร โดยมีการอนุญาตให้ใช้เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์ออร์แกนิก และเมื่อนำกรดปาล์มมิติกมาทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) จะได้ เซตทิล แอลกอฮอล์ (cetyl alcohol) ซึ่งใช้ในการผลิตสารซักล้างและเครื่องสำอาง

2.1.2.2 กรดโอเลอิก [4]

กรดโอเลอิกมีสูตรโมเลกุลคือ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$ น้ำหนักโมเลกุล 282.46 กรัมต่อโมล เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 13 องศาเซลเซียส โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่แบบ cis ในสายโซ่ 1 ตำแหน่ง ที่ตำแหน่งที่ 9 นับจากปลายด้านเมทิลคาร์บอน กรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันอิสระที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติทั้งในพืช และสัตว์ และเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุด มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อนที่อุณหภูมิห้อง กรดโอเลอิกมีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.2

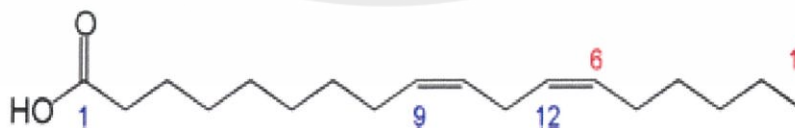


รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของกรดโอเลอิก

กรดโอเลอิกมีการใช้งานที่หลากหลาย เกลือโซเดียมของกรดโอเลอิก ถูกใช้มากในการผลิตสบู่ ใช้ผสมในน้ำยาย้อมสีผสมที่มีส่วนผสมของแชมพู โดยการทำให้ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification) ระหว่างกรดโอเลอิกกับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide) ในเภสัชอุตสาหกรรมใช้กรดโอเลอิกเป็นสารเพิ่มปริมาณยา (excipient) ในอุตสาหกรรมสิ่งทอใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงให้กับเส้นใย

2.1.2.3 กรดลิโนเลอิก [5]

กรดลิโนเลอิกมีสูตรโมเลกุล $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$ น้ำหนักโมเลกุล 280.45 กรัมต่อโมล เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว จุดหลอมเหลวอยู่ที่ -5 องศาเซลเซียส โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่แบบ cis ในสายโซ่ 2 ตำแหน่ง ที่ตำแหน่งที่ 6 และ 9 นับจากปลายด้านเมทิลคาร์บอน กรดลิโนเลอิก มีลักษณะเป็นของเหลวใสที่อุณหภูมิห้อง ถือเป็นกรดไขมันจำเป็นสำหรับร่างกาย เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้ กรดลิโนเลอิกมีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของกรดลิโนเลอิก

กรดลิโนเลอิกใช้ผลิตเป็นน้ำมันชักแห้ง น้ำมันวานิชที่ใช้ในการวาดภาพ โดยจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดลิโนเลอิกกับอากาศเกิดเป็นชั้นฟิล์มเคลือบพื้นผิว เมื่อนำกรดลิโนเลอิกมาทำปฏิกิริยารีดักชันจะได้เป็น ลิโนลิลแอลกอฮอล์ (linoleyl alcohol) ซึ่งใช้ในการผลิตน้ำหอม

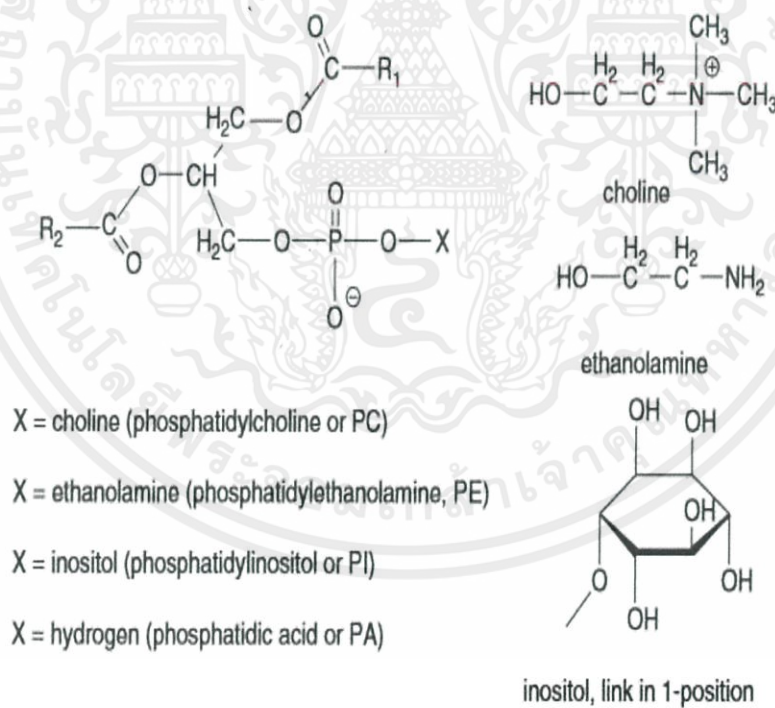
กรดลิโนเลอิกยังถูกใช้มากในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับความงาม เพราะมีคุณสมบัติในการลดการอักเสบ ลดการเกิดสิว และรักษาความชุ่มชื้นของผิวได้ดี และด้วยการเป็นกรดไขมันจำเป็นสำหรับร่างกาย จึงมีการนำกรดลิโนเลอิกไปผลิตเป็นอาหารเสริม

2.1.2.4 กรดสเตียริก [6]

กรดสเตียริกมีสูตรโมเลกุลคือ $C_{17}H_{35}CO_2H$ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 284.48 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 69.3 องศาเซลเซียส เป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอน 18 ตัว ผลิตได้จากไขมันและน้ำมันโดยปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ด้วยน้ำอุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่ได้จะเป็นของผสมระหว่างกรดสเตียริกและกรดปาล์มมิติก กรดสเตียริกใช้ประโยชน์จากการที่มี 2 หมู่ฟังก์ชัน ซึ่งมีทั้งหมู่มีขั้วและไม่มีขั้วในการผลิตเป็นสบู่ เครื่องสำอาง สารชะล้าง และสารหล่อลื่น

2.1.3 การกำจัดยางในน้ำมันปาล์มดิบ [7-9]

ยางหรือสารเหนียว [7] ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟอสโฟลิพิด เช่น เลซิทีน หรือ สารฟอสฟาติดิลโคลีน (phosphatidylcholine) โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของสารพวกฟอสโฟลิพิดแบบต่างๆ [7]

โดยที่นั่นจะแบ่งออกเป็นสองประเภทคือประเภทที่ละลายน้ำ (hydratable phosphatides) สามารถกำจัดออกได้ง่าย และประเภทไม่ละลายน้ำ (non hydratable phosphatides) ที่มีส่วนประกอบของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมของกรดฟอสฟาติค (phosphatidic acid) ซึ่งเป็นสารที่ละลายในน้ำมัน การกำจัดอย่างไม่ละลายน้ำนั้นต้องกำจัดความเป็นเกลือด้วยกรดที่รุนแรงกว่ากรดฟอสฟาติคไปแทนที่เพื่อจับกับไอออนโลหะแทน

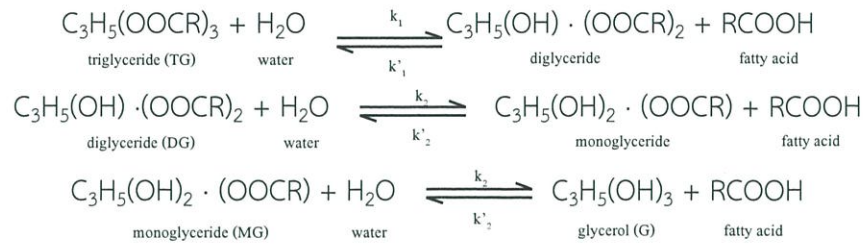
กระบวนการกำจัดยาง (degumming process) [9] ประกอบด้วยการนำน้ำมันดิบมาเติมน้ำ สารละลายเกลือ เอนไซม์ โซดาไฟ หรือกรดเจือจาง เช่น กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) หรือ กรดซิตริก (citric acid) เพื่อเปลี่ยนสารพวกฟอสฟาไทด์ (phosphatides) ของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมให้กลายเป็นยางที่ละลายน้ำ ซึ่งถูกแยกโดยการตกตะกอน การกรอง หรืออาศัยแรงหมุนเหวี่ยง โดยงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาการกำจัดยางด้วยวิธีการเติมกรด

2.1.3.1 การกำจัดยางด้วยกรด (acid degumming)

การกำจัดยางด้วยกรดเป็นวิธีลดปริมาณฟอสฟอรัสที่เจือปนในน้ำมันได้ดียิ่งกว่าวิธีการกำจัดยางด้วยน้ำ โดยมีหลักการดังนี้ ยางที่ไม่ละลายในน้ำมีส่วนประกอบเป็นเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมของกรดฟอสฟาติค การเติมกรดจะทำให้กรดฟอสฟาติคเป็นอิสระจากไอออนโลหะแคลเซียมและแมกนีเซียม ดังนั้นจึงสามารถละลายและถูกกำจัดในชั้นน้ำได้ กรดที่นิยมใช้จะเป็นกรดฟอสฟอริกและกรดซิตริกเพราะเป็นกรดที่สามารถจับไอออนโลหะข้างต้นได้ กรดซิตริกเป็นที่นิยมนกว่าเพราะไม่ได้เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมัน โดยกระบวนการนี้ทำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หลังจากทำปฏิกิริยาให้ลดอุณหภูมิลงเหลือ 40 องศาเซลเซียสและเติมน้ำเพื่อไปละลายกรดฟอสฟาติคอิสระ

2.1.4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันและการเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการเร่งด้วยตัวมันเอง [1]

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับน้ำ ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้น 3 ขั้นตอนเพื่อผลิตกรดไขมันอิสระ โดยสามารถทำได้โดยใช้การตัวเร่งต่าง (saponification) การใช้เอนไซม์ (enzymatic hydrolysis) และการใช้น้ำที่สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง (fat splitting) ไตรกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุล จะทำปฏิกิริยาได้กรดไขมันอิสระ 3 โมเลกุล และ กลีเซอรอล 1 โมเลกุล ชนิดของกรดไขมันอิสระที่ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะสายโซ่คาร์บอนของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของน้ำมันในไตรกลีเซอไรด์โมเลกุลหนึ่งๆสายโซ่อาจมีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันได้ ดังรูปที่ 2.5

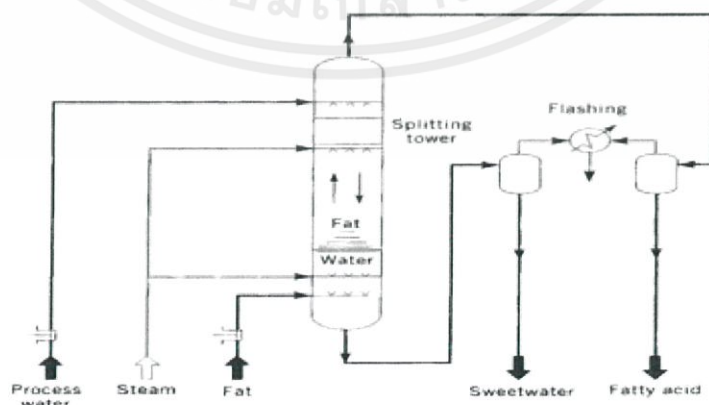


รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันพืช

จากการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ปฏิกิริยาเป็นแบบดูดความร้อน ที่อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ดี โดยงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาการผลิตกรดไขมันด้วยวิธีการใช้น้ำที่สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง

2.1.4.1 การผลิตกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการใช้น้ำที่สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง

ใช้ในการผลิตกรดไขมันอิสระในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้น้ำทำปฏิกิริยากับน้ำมัน โดยให้ไหลสวนทางกัน ด้วยอัตราส่วนไอน้ำร้อยละ 40 ถึง 50 ของน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 250 ถึง 260 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาจะเกิดได้อย่างรวดเร็วในช่วงความดัน 20 ถึง 60 บาร์ ในสภาวะนี้ น้ำจะละลายเข้ากับน้ำมันได้ค่อนข้างดีถือเป็นปฏิกิริยาเอกพันธ์ (homogeneous reaction) เกิดปฏิกิริยาได้โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งและตัวทำละลาย แต่ถ้าใช้ตัวเร่งประเภทออกไซด์ของโลหะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น ในขั้นแรกของปฏิกิริยาจะเกิดได้ช้าเนื่องจากน้ำยังละลายเข้ากับไตรกลีเซอไรด์ได้ไม่ดี ชั้นถัดไปปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นเนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากขึ้นทำให้ส่วนของน้ำมันมีความเป็นขี้สูงขึ้นไป ละลายเข้ากับน้ำได้ดีขึ้น และในขั้นสุดท้ายปฏิกิริยาจะเกิดอย่างรวดเร็ว เข้าสู่สมดุลของปฏิกิริยา กลีเซอรอลจะละลายอยู่ในน้ำ กระบวนการนี้ใช้เวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง และให้ค่าการแปลงผันถึงร้อยละ 99 แต่เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูง กรดไขมันอิสระที่ได้อาจมีสีเปลี่ยนไป ไม่สามารถใช่ผลิตกรดไขมันอิสระที่สลายทางความร้อนตัวได้ง่าย และสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการผลิตมาก กระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการใช้น้ำความดันสูงแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการใช้น้ำความดันสูงแบบไหลสวนทาง [1]

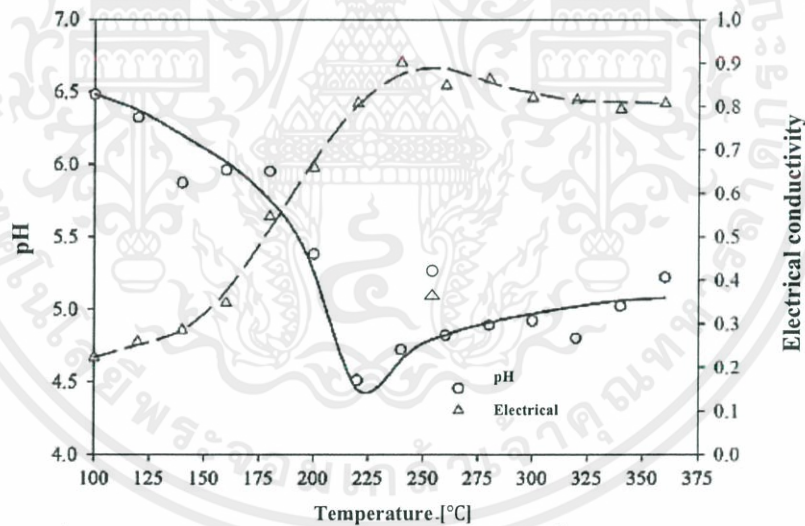
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 น้ำสถานะกึ่งวิกฤติ (subcritical water) [12-15]

น้ำสถานะกึ่งวิกฤติ (subcritical water) [12] คือน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดภายใต้สภาวะความดันสูง (pressurized hot water) หมายถึง น้ำในสภาวะของเหลวที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่างจุดเดือดปกติ (100 องศาเซลเซียส) กับอุณหภูมิวิกฤติ (374 องศาเซลเซียส) แต่ส่วนใหญ่จะสนใจอุณหภูมิในช่วง 200 องศาเซลเซียสขึ้นไป ในการทำให้น้ำยังคงสถานะเป็นของเหลวต้องใช้ความดันซึ่งอาจเท่ากับความดันไออิ่มตัวหรือมากกว่า กล่าวคือ ต้องใช้ความดันอย่างน้อย 16 บาร์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และ 226 บาร์ สำหรับที่อุณหภูมิ 374 องศาเซลเซียส

เมื่อให้ความร้อนกับน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โมเลกุลของน้ำจะได้รับพลังงานความร้อนและทำลายแรงยึดเหนี่ยวของพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้คุณสมบัติบางอย่างของน้ำเปลี่ยนไปจากปกติ

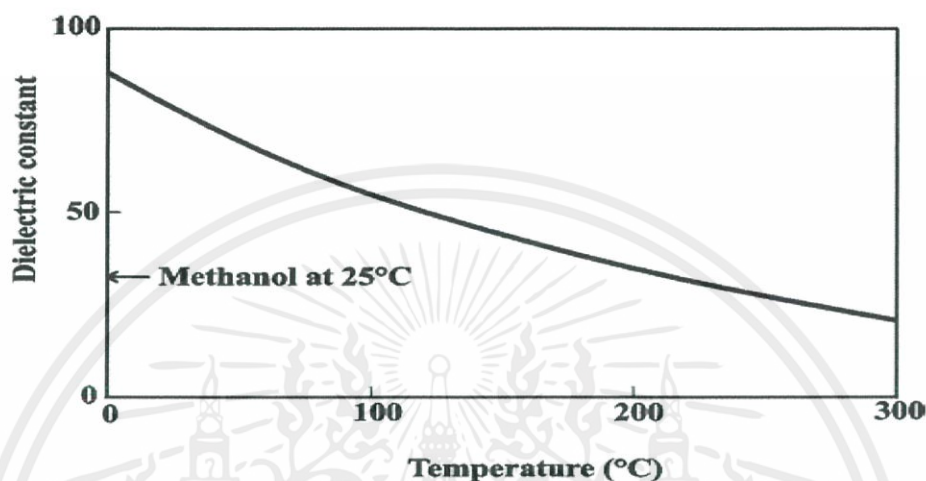
คุณสมบัติที่น่าสนใจคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ที่มีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้น้ำมีคุณสมบัติเหมือนตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถละลายสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ในความเข้มข้นสูงได้ และคุณสมบัติอีกประการหนึ่ง คือ น้ำจะมีไอออนในความเข้มข้นที่สูง เช่น ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังนั้นน้ำสถานะกึ่งวิกฤติจึงมีคุณสมบัติเหมือนตัวเร่งปฏิกิริยากรดหรือเบส (acid or base catalyst) แสดงได้ดังรูปที่ 2.7 ที่แสดงถึงค่าพีเอช (pH) ของน้ำเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น [13]



รูปที่ 2.7 ค่าพีเอช (pH) ของน้ำสถานะกึ่งวิกฤติที่อุณหภูมิต่างๆ [13]

เมื่อน้ำได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ของน้ำจะลดลงและจะเกิดผลิตภัณฑ์ในรูปไอออน (ionic product) เพิ่มขึ้น เช่น ที่ 200 องศาเซลเซียส ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำจะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเมทานอลที่อุณหภูมิห้อง และที่ 297 องศาเซลเซียส เบนซีนจะสามารถละลายในน้ำได้อย่างสมบูรณ์หรือเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้น น้ำสถานะกึ่งวิกฤติจึงเป็นตัวทำละลายที่ดีมากสำหรับสารอินทรีย์ที่ไม่ชอบละลายน้ำ (hydrophobic organics) ในสภาวะปกติ

กระบวนการที่ใช้น้ำสถานะกึ่งวิกฤติจะมีความสำคัญสองประการ คือ มีความสามารถในการละลายและย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี เพราะว่าน้ำปกติจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 80 แต่เมื่อน้ำอยู่ในสถานะที่เป็นน้ำกึ่งวิกฤติแล้ว จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเหลือเพียง 20 ถึง 30 เท่านั้น ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเมทานอลที่ใช้ละลายในน้ำมัน แสดงในรูปที่ 2.8 ดังนั้นน้ำสถานะกึ่งวิกฤติจึงสามารถละลายในน้ำมันได้



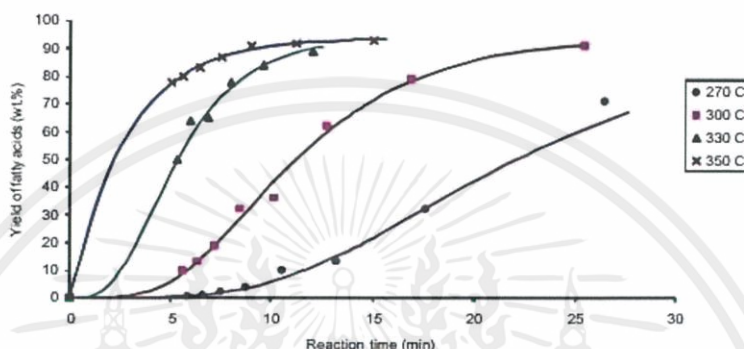
รูปที่ 2.8 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [14]

ณ อุณหภูมิที่สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส น้ำอาจจะแสดงประพฤติกรรมเป็นตัวเร่งกรดหรือตัวเร่งต่าง เนื่องจากความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่มีมากกว่าน้ำในสถานะปกติ ดังนั้น น้ำสถานะกึ่งวิกฤติจึงสามารถประพฤติกรรมเป็นตัวเร่งได้ด้วยตัวเอง (autocatalysis or autocatalytic) สำหรับปฏิกิริยาที่ปกติแล้วต้องมีการเติมตัวเร่งกรดหรือตัวเร่งต่าง [15]

เนื่องจากปฏิกิริยาที่ใช้น้ำสถานะกึ่งวิกฤติจะใช้น้ำเป็นตัวทำละลายแทนตัวทำละลายเคมี เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้นจึงค่อนข้างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความปลอดภัย ราคาถูก หาง่าย ไม่เป็นพิษและไม่ก่อให้เกิดของเสียอีกด้วย จึงมีการนำน้ำสถานะกึ่งวิกฤติไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ทั้งในด้านการสกัด (extraction) เช่น การสกัดสารแอนทราควิโนนส์จากรากยอด้วยน้ำสถานะกึ่งวิกฤติ การสกัดสารฟลาโวนอยด์และแคโรทีนอยด์จากเศษไหม้ไทยด้วยน้ำสถานะกึ่งวิกฤติ การสกัดสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในมะระขี้้นกโดยวิธีการสกัดแบบน้ำกึ่งวิกฤติ และการย่อยสลาย เช่น การไฮโดรไลซิสส่วข้าวหรือถั่วเหลืองด้วยน้ำสถานะกึ่งวิกฤติ การไฮโดรไลซิสน้ำมันเมล็ดทานตะวันด้วยน้ำสถานะกึ่งวิกฤติ เป็นต้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Alenezi และคณะ [19] ได้นำน้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤติมาใช้ในการไฮโดรไลซิสน้ำมันดอกทานตะวัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำมันอยู่ที่ 50 ต่อ 50 ปริมาตรน้ำต่อปริมาตรน้ำมัน โดยศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 270 ถึง 350 องศาเซลเซียสที่ความดัน 100 ถึง 200 บาร์ ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 8 นาที ได้ผลดังรูปที่ 2.9 จะสังเกตเห็นว่ายิ่งใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยิ่งทำให้ได้ร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นเพิ่มมากขึ้นด้วยวิเคราะห์จากวิธีการไทเทรต



รูปที่ 2.9 กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันทานตะวัน ด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ [19]

Jerry และคณะ [20] ได้ศึกษาการไฮโดรไลซิสน้ำมันถั่วเหลืองด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่องโดยไม่อาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อหาสัดส่วนของน้ำต่อน้ำมันที่ก่อให้เกิดกรดไขมันอิสระมากที่สุดภายในเวลา 7 ถึง 15 นาที ที่อุณหภูมิระหว่าง 330 ถึง 340 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของน้ำต่อน้ำมันนั้นไม่ส่งผลต่อร้อยละการเกิดกรดไขมันอิสระ

จากการทดลองของนงพงา และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาการผลิตกรดไขมันอิสระโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤตจึงสามารถนำผลงานวิจัยนี้มาใช้เปรียบเทียบกับกรณำกรตที่ใช้ในขั้นตอนกำจัดยางมาไฮโดรไลซิสด้วยว่าได้ร้อยละกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียงใด โดยที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสและเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาทีนั้นได้ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระเท่ากับ 62.79

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองสามารถแบ่งได้หลักๆเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการจัดยางและขั้นตอนการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส การกำจัดยางสามารถทำได้หลายวิธี โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้การกำจัดยางด้วยกรด เนื่องจากเล็งเห็นว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในขั้นตอนถัดไปได้ ซึ่งนำน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางโดยไม่นำกรดออกนั้นมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อผลิตกรดไขมันอิสระต่อทันที เลือกใช้น้ำความดันสูงทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพราะเป็นวิธีที่นิยมในเชิงอุตสาหกรรม แล้วหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 การกำจัดยางด้วยกรด

3.1.1 วิธีการทดลอง

3.1.1.1 สารเคมี

1. น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil, CPO)
2. กรดฟอสฟอริก

3.1.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
3. เครื่องชั่ง
4. เครื่องให้ความร้อน (hot plate)
5. เครื่องโฮโมจีไนซ์ (homogenizer)

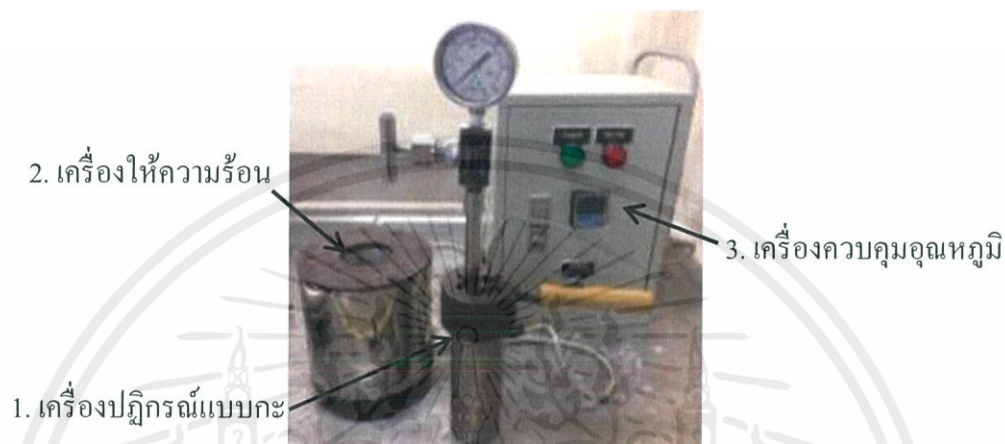
3.1.1.3 ขั้นตอนการทำการทดลอง

1. นำน้ำมันปาล์มดิบใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตรชั่งให้ได้ 200 กรัม บันทึคน้ำหนักที่แน่นอน และเติมด้วยกรดฟอสฟอริกลงไปร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก
2. นำบีกเกอร์ที่เตรียมสารไว้วางบนเครื่องให้ความร้อน แล้วนำเข้าเครื่องโฮโมจีไนซ์เพื่อเตรียมทำปฏิกิริยา
3. ตั้งความเร็วรอบเครื่องโฮโมจีไนซ์อยู่ที่ 1,000 รอบต่อนาที พร้อมตั้งอุณหภูมิของเครื่องให้ความร้อนประมาณ 90 องศาเซลเซียส โดยปล่อยให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. เก็บตัวอย่างที่ได้ส่งหาปริมาณกัมจากการวัดค่าฟอสฟอรัสเพื่อตรวจสอบว่าวิธีการกำจัดยางดังกล่าวสามารถกำจัดยางได้จริง

3.2 การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ดังแสดงในรูปที่ 3.1
2. เครื่องให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์
3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิในการให้ความร้อนเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 วิธีการทดลอง

3.2.2.1 สารเคมี

1. สารตัวอย่างน้ำมันที่ได้จากการทดลองขั้นที่ 1
2. น้ำกลั่น

3.2.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เข็มฉีดยาปริมาตร 5 มิลลิลิตร
3. กรวยแยกสาร

3.2.2.3 ขั้นตอนการทำการทดลอง

1. นำสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลองขั้นที่ 1 มาผสมกับน้ำกลั่นใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ ในการทดลองนี้กำหนดอัตราส่วนของสารตัวอย่างส่วนน้ำให้คงที่ เนื่องจากอัตราส่วนนี้ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงกำหนดเป็น 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร โดยผสมรวมกันให้ได้ 20 มิลลิลิตร วัดปริมาตรสารตัวอย่างโดยใช้เข็มฉีดยาที่ทำจากแก้วปริมาตร 5 มิลลิลิตร ฉีดใส่เครื่องปฏิกรณ์ 2 รอบเป็น 10 มิลลิลิตร ส่วนปริมาตรน้ำอาศัยการไขออกจากบิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร ลงในเครื่องปฏิกรณ์ 10 มิลลิลิตร

2. ตรวจสอบสภาพของยางโอรังที่ใช้กันรั่วระหว่างฝากับเครื่องปฏิกรณ์ต้องอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน จากนั้นจึงสามารถปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ได้
3. นำเครื่องปฏิกรณ์ใส่ลงในเครื่องให้ความร้อน ต่อสายไฟและสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับตัวควบคุมอุณหภูมิ
4. ตั้งค่าอุณหภูมิที่กำหนด (temperature set point) ไว้ที่อุณหภูมิที่ต้องการศึกษาแล้วเริ่มจับเวลาให้ทำปฏิกิริยา
5. ทำการทดลองทั้งหมด 9 ครั้ง ที่อุณหภูมิต่างๆ 3 ค่า ได้แก่ 200 220 และ 240 องศาเซลเซียส ณ เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ค่า ได้แก่ 60 80 และ 100 นาที
6. เมื่อครบเวลาที่กำหนดตั้งค่าอุณหภูมิที่กำหนดให้เป็น 0 องศาเซลเซียสเพื่อหยุดการให้ความร้อน
7. เมื่อเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส ให้เปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์แล้วเก็บผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น
8. ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเกิดการแยกชั้นของน้ำและกลีเซอรอล และชั้นของไขมันทำการแยกชั้นน้ำออกโดยใช้กรวยแยก
9. นำชั้นของไขมันมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

3.3 การวิเคราะห์หาร้อยละกรดไขมันและค่าความเป็นกรด (acid value) ด้วยเทคนิคการไทเทรต

3.3.1 การเตรียมสาร

3.3.1.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.25 โมลาร์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยใช้น้ำกลั่นให้เท่ากับ 1,000 มิลลิลิตรแล้วเขย่าให้เข้ากัน

3.3.1.2 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน เข้มข้น 1 กรัมในเอทานอล 100 มิลลิลิตร

ชั่งฟีนอล์ฟทาลีนผง 0.25 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยผสมเอทานอล เขย่าให้เข้ากัน แล้วเทสารลงในขวดสีชา

3.3.1.3 ไอโซโพรพานอลที่มีค่าพีเอชเป็นกลาง

นำสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนหยดลงในไอโซโพรพานอล ปรับค่าพีเอช โดยหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนเปลี่ยนเป็นสีชมพู

3.3.2 วิธีการทดลอง

3.3.2.1 สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์
2. ฟีนอล์ฟทาลีน

3. ไอโซโพรพานอลที่มีค่าพีเอชเป็นกลาง

3.3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร พร้อมขาตั้งและที่จับบิวเรต

3.3.2.3 ขั้นตอนการทำการทดลอง

1. ชั่งสารที่ผ่านการไฮโดรไลซิสและการแยกน้ำ จำนวน 1 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. เติมไอโซโพรพานอลที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 1 ถึง 2 หยด
4. นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์ เขย่าให้เข้ากันจนได้สารละลายสีชมพูที่คงตัวนานประมาณ 30 วินาที วัดปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตแล้วคำนวณหาร้อยละไขมันที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งคำนวณหาค่าความเป็นกรด

3.4 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

3.4.1 วิธีการทดลอง

3.4.1.1 สารเคมี

1. กรดโอเลอิก
2. กรดปาล์มมิติก
3. โมโนกลีเซอไรด์
4. เอทิลอะซิเตต
5. BSTFA
6. ผลิตภัณฑ์ 9 ตัว

3.4.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่ง
2. เครื่องให้ความร้อน (hot plate)
3. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น HP 5890
4. คอลัมน์ Zebron - 5HT inferno ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความหนา 0.10 ไมโครเมตร

3.4.1.3 ขั้นตอนการทำการทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อให้ทราบเวลาที่รีเทนชันใหม่ (retention time) ต่างๆ เกิดจากองค์ประกอบใด เริ่มจากนำกรดโอเลอิก 0.01 กรัม ไปละลายด้วยเอทิลอะซิเตตปริมาณ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิเมตร และทำให้เกิดการกลายเป็นไอง่ายขึ้นด้วยปฏิกิริยาอนุพันธ์ (Derivatization) โดยการเติมสาร BSTFA ปริมาณ 100 ไมโครลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที

2. นำสารที่ได้ฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟที่บรรจุคอลัมน์ Zebron – 5HT inferno โดยตั้งค่าเครื่องดังนี้ อัตราการไหลของแก๊สพา (split ratio) 1.5 มิลลิเมตรต่อนาที อุณหภูมิเริ่มต้น 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 340 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 นาที อุณหภูมิตำแหน่งฉีด 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิตำแหน่งเครื่องตรวจจับ 340 องศาเซลเซียส และตรวจสอบบรีเทนชันใหม่จากโครมาโทแกรมที่เกิดขึ้น

3. ทดลองหาบรีเทนชันใหม่ของสารอื่น ได้แก่ กรดปาล์มมิติก โมโนกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ด้วยวิธีข้างต้น

4. เริ่มทดสอบหาลูกประกอบของผลิตภัณฑ์ 9 ตัว ทำตามข้อ 1 และ 2 เพื่อวิเคราะห์โครมาโทแกรม

5. วิเคราะห์หาลูกประกอบสารของผลิตภัณฑ์จากการเทียบบรีเทนชันใหม่ของพีคต่างๆที่เกิดขึ้น

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การกำจัดยางด้วยกรด

จากการส่งตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางแล้วไปตรวจหาปริมาณยางโดยวิเคราะห์จากค่าฟอสฟอรัสที่บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด พบว่าน้ำมันปาล์มดิบเริ่มต้นมีค่าฟอสฟอรัสเท่ากับ 39.5 ส่วนในล้านส่วน และจากการนำน้ำมันปาล์มดิบเติมด้วยกรดฟอสฟอริกร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก เข้าเครื่องโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงพบว่ามีความฟอสฟอรัสเท่ากับ 0 ส่วนในล้านส่วน แสดงให้เห็นว่าวิธีการใช้กรดกำจัดยางนี้สามารถกำจัดยางได้ทั้งหมด จึงสามารถนำไปใช้ต่อในกระบวนการไฮโดรไลซิสได้

4.2 การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหลังจากผ่านการกำจัดยาง

4.2.1 การวิเคราะห์หาร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ด้วยเทคนิคการไทเทรต

ในการทดลอง ตั้งสมมติฐานว่าสารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันอิสระ ไตรกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ โดยมีตัวแปรเป็นอุณหภูมิและเวลา และมีการทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อทำการยืนยันความน่าเชื่อถือว่าผลการทดลองที่ได้เป็นไปในแนวทางเดียวกันในแต่ละสภาวะ การพิจารณาผลของร้อยละกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ในสภาวะต่างๆ แต่ละชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 กรดไขมันอิสระที่เกิด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	เวลาที่ใช้ใน การทำปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	
			การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
200	22	60	76.1	69.7
200	22	80	76.8	78.5
200	22	100	78.8	85.2
220	40	60	77.5	75.0
220	40	80	85.6	86.6
220	40	100	91.8	93.3
240	58	60	81.5	89.8
240	58	80	88.2	92.7
240	58	100	97.7	97.0

ผลจากตารางที่ 4.1 สันเกตได้ว่ากรดไขมันอิสระซึ่งเป็นผลผลิตหลักที่ต้องการผลิตนั้นสามารถผลิตได้จริง และผลที่เกิดจากตัวแปรที่ทำการศึกษาทั้งส่วนของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นส่งเสริมให้เกิดการไฮโดรไลซิสได้ดีขึ้นทั้งสองตัวแปร

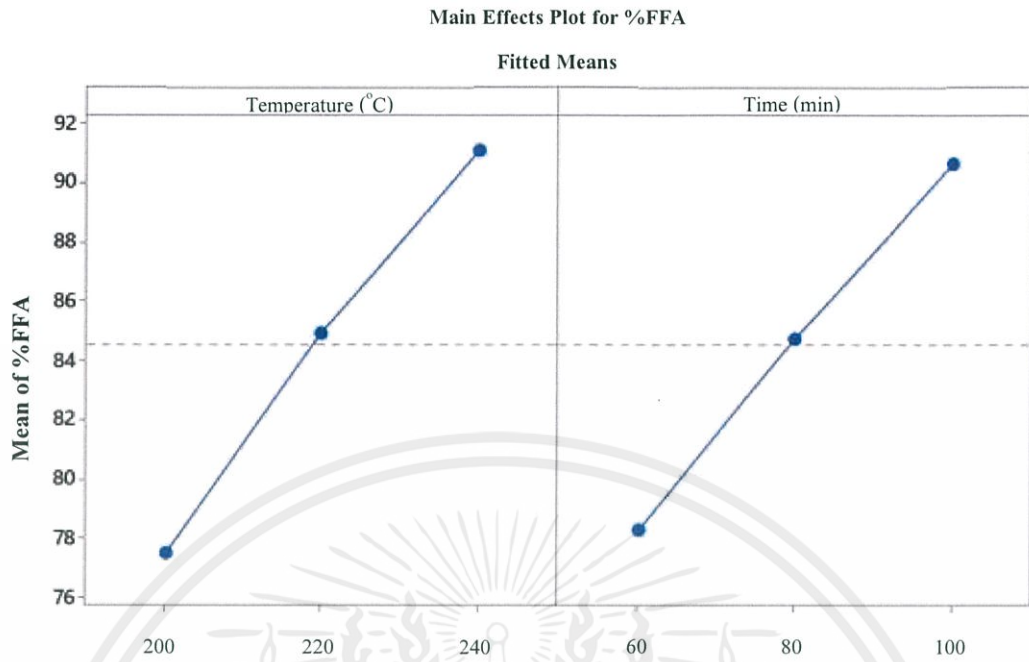
เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 ด้วยวิธีการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อหาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance)

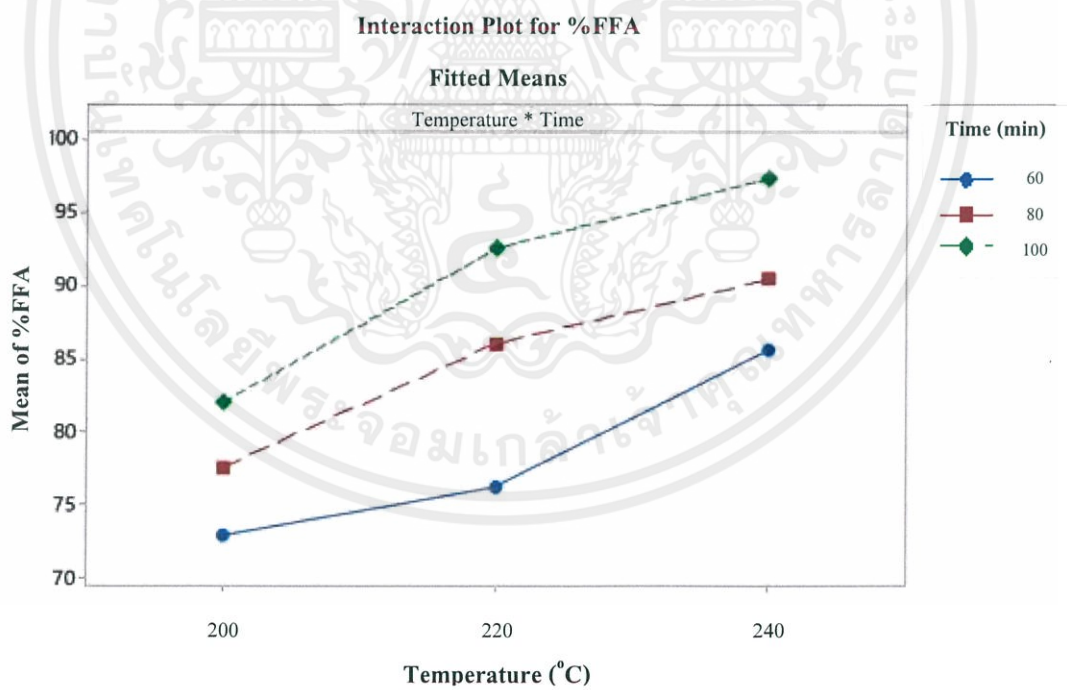
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
Model	8	1051.09	131.386	12.94	0.000
• Linear	4	1019.27	254.816	25.10	0.000
-Temperature	2	559.37	279.685	27.55	0.000
-Time	2	459.90	229.948	22.65	0.000
• 2-Way Interactions	4	31.82	7.955	0.78	0.564
-	4	31.82	7.955	0.78	0.564
Temperature*Time	4	31.82	7.955	0.78	0.564
Error	9	91.37	10.153		
Total	17	1142.46			
• Model Summary					
- S	3.18631				
- R-sq	92.00%				
- R-sq(adj)	84.89%				
- R-sq(pred)	68.01%				

จากตารางที่ 4.2 พบว่าตัวแปรหลักได้แก่อุณหภูมิ (Temperature) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (Time) มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองเป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีทิศทางการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระเมื่อเพื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในช่วงของการทดลองนี้ ในขณะที่อันตกริยาของตัวแปร 2 ตัว (2-Way Interactions) คือ อุณหภูมิกับเวลา (Temperature*Time) นั้นมีค่า P-value มากกว่า 0.05 และลักษณะกราฟไม่ได้ตัดกันซึ่งหมายความว่าเป็นตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญ แสดงได้ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลกระทบของตัวแปรหลักที่มีต่อกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น

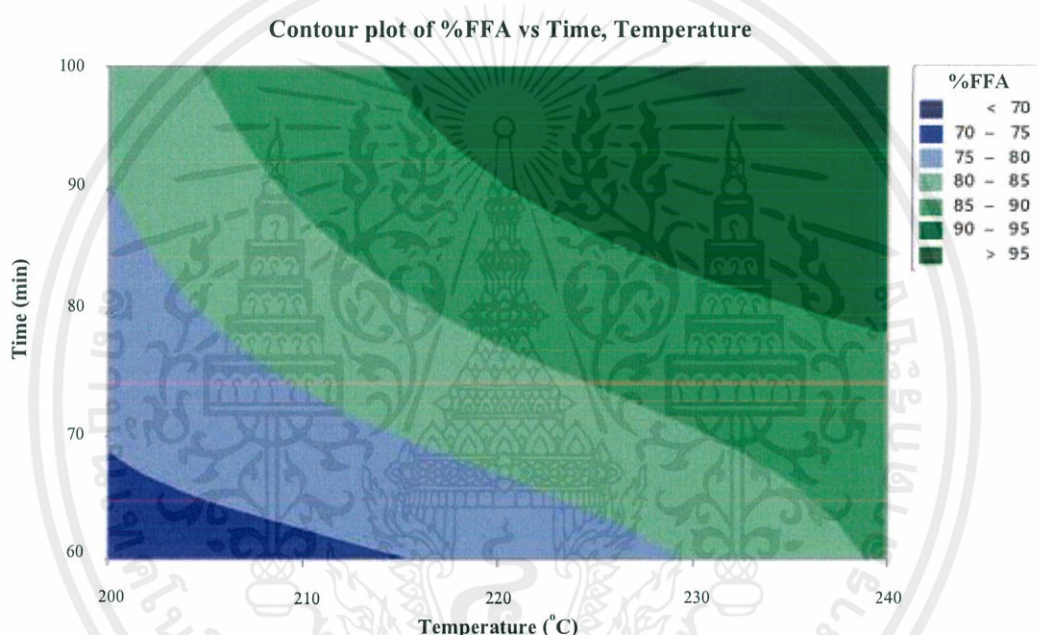


รูปที่ 4.2 ผลกระทบของตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกัน 2 ตัวที่มีต่อกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น

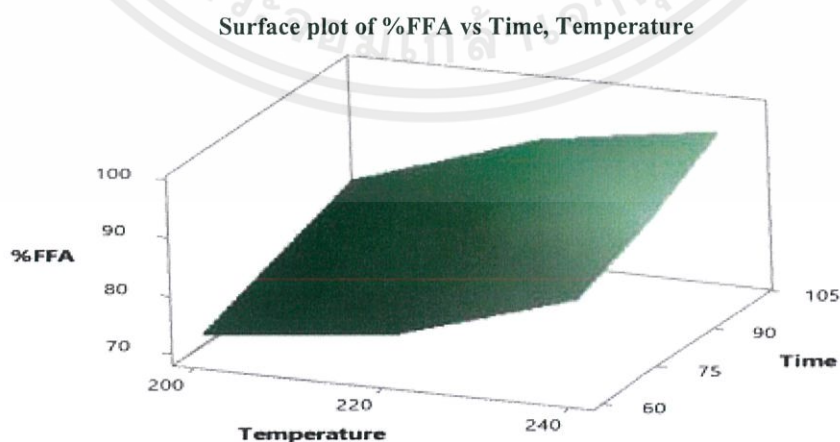
จากความสัมพันธ์ของตัวแปรอุณหภูมิ และ เวลา สามารถสร้างสมการถดถอย (Regression Equation) ได้ดังนี้

$$\%FFA = 58.53 + 6.818 \text{ Temperature} + 6.189 \text{ Time}$$

และสามารถแสดงผลในลักษณะกราฟคอนทัวร์ (contour) และกราฟพื้นผิว (surface) ปริมาณร้อยละของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการปริมาณกรดไขมันอิสระให้ได้ผลผลิตร้อยละ 90 ถึง 95 ควรจะทำการไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิมากกว่า 230 องศาเซลเซียสใช้เวลา 100 นาที



รูปที่ 4.3 กราฟคอนทัวร์ 2 มิติ ของร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.4 กราฟพื้นผิว 3 มิติ ของร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด (acid value)

เนื่องจากการคำนวณร้อยละกรดไขมันอิสระ ใช้ค่ามวลโมเลกุลเฉลี่ยในการคิด จึงนิยมใช้ค่าความเป็นกรดที่เป็นปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นมิลลิกรัมที่ใช้ในการทำตัวอย่าง 1 กรัมให้เป็นกลาง ทำให้ได้ค่าที่แม่นยำมากกว่า ดังตารางที่ 4.3 แสดงถึงค่าความเป็นกรดที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด ณ สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	เวลาที่ใช้ในการ ทำปฏิกิริยา (นาที)	ค่าความเป็นกรดชุดที่ 1 (มิลลิกรัมโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ผลิตภัณฑ์)	ค่าความเป็นกรดชุดที่ 2 (มิลลิกรัมโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ผลิตภัณฑ์)
200	22	60	158.2	145.0
200	22	80	159.6	163.1
200	22	100	163.8	177.1
220	40	60	161.0	155.9
220	40	80	177.8	180.0
220	40	100	190.8	193.6
240	58	60	169.4	183.6
240	58	80	183.4	195.6
240	58	100	203.0	204.6

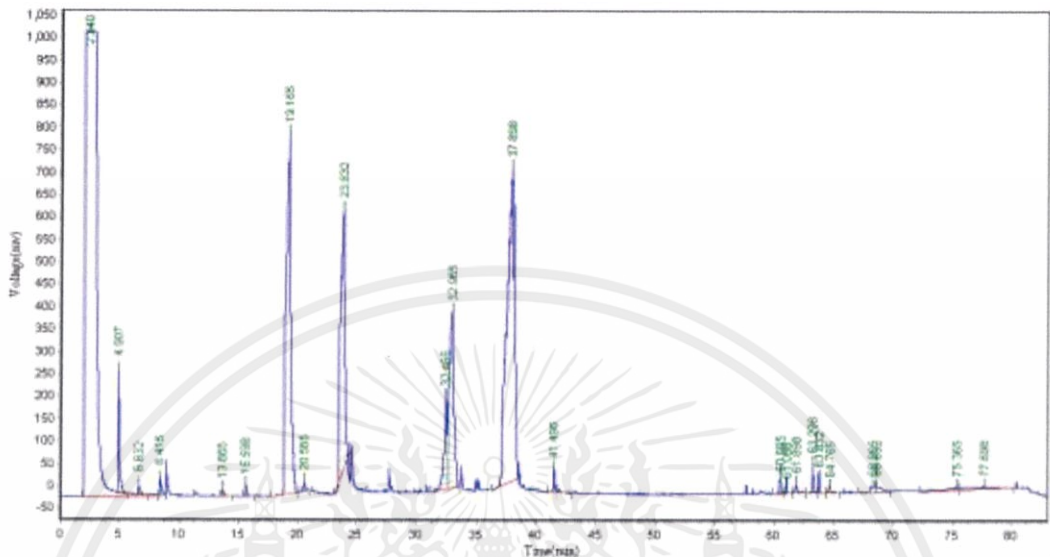
4.2.3 การวิเคราะห์หาลักษณะประกอบที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

รีเทนชันไทม์ขององค์ประกอบต่างๆในน้ำมันปาล์มดิบและผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 รีเทนชันไทม์ขององค์ประกอบต่างๆ

องค์ประกอบ	รีเทนชันไทม์ (นาที)
กรดปาล์มมิติก	19
กรดโอเลอิก	24
โมนอกลิเซอไรด์	33 และ 36.5
ไตรกลีเซอไรด์	75 78 และ 80

ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีทำให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนั้นมียังประกอบด้วย เหลือแค่กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และโมโนกลีเซอไรด์เท่านั้นดังรูปที่ 4.5 ในส่วนของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นสารตั้งต้นได้ถูกไฮโดรไลซิสทั้งหมด



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเรื่องการจัดยางพร้อมกับการไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มดิบ สามารถสรุปได้ว่าการจัดยางแล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำปฏิกิริยาต่อมันสามารถเกิดกรดไขมันอิสระได้จริงและเพิ่มค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นกรดไขมันอิสระขึ้นอีกด้วย โดยที่อัตราส่วนน้ำต่อสารตั้งต้นเท่ากับ 1 ต่อ 1 นั้น ในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 240 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 ถึง 100 นาที ผลจากการศึกษาตัวแปรอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาแปรผันตรงตลอดช่วงขอบเขตของทุกตัวแปรได้เป็นสมการถดถอยดังนี้ $\%FFA = 58.53 + 6.818 \text{ Temperature} + 6.189 \text{ Time}$

การใช้กรดฟอสฟอริกกำจัดยางของน้ำมันปาล์มดิบในเครื่องโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงสามารถกำจัดยางได้ทั้งหมด และการเลือกนํากรดที่ใช้ในการกำจัดยางมาช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์สภาพการไฮโดรไลซิสนั้นสามารถทำได้จริงสังเกตได้จากร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในสภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสและเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที อยู่ที่ 69.7 ถึง 76.1 ซึ่งแต่เดิมที่ไม่ได้เลือกใช้กรดในการกำจัดยางมาช่วยนั้นอยู่ที่ 62.8 เท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเป็นข้อดีที่ควรที่จะปรับเปลี่ยนนํากรดที่ใช้ในการกำจัดยางมาใช้ในขั้นตอนกระบวนการไฮโดรไลซิสของกระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มเพื่อเพิ่มร้อยละของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งช่วยลดขั้นตอนในการกำจัดกรดที่ใช้ในการกำจัดยางออกและลดระยะเวลาของกระบวนการผลิตลงอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรตวิธีมาตรฐาน A.O.C.S. Official Method Ca 5a-40 แม้ว่าจะมีข้อปฏิบัติมาตรฐาน แต่ในการปฏิบัติจริงอาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น เนื่องจากตัวอย่างของน้ำมันมีสีรบกวน ดังนั้นการใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาณสาร เช่น เครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง หรือ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแทนจะให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องกว่า แต่เนื่องจากวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงจากการต้องใช้สารตัวอย่างมาตรฐานที่มีความบริสุทธิ์สูงหลายตัวอย่าง จึงใช้การไทเทรตในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shahidi, F. "BAILEY'S INDUSTRIAL OIL AND FAT PRODUCTS.", 6th ed. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc. 2005.
- [2] วิชาการปาล์ม. "กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html>. 2016
- [3] Wikipedia, the free encyclopedia. . "Palmitic acid." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://en.wikipedia.org/wiki/Palmitic_acid. 2016.
- [4] Wikipedia, the free encyclopedia. . "Oleic acid." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://en.wikipedia.org/wiki/Oleic_acid. 2016.
- [5] Wikipedia, the free encyclopedia. . "Linoleic acid." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://en.wikipedia.org/wiki/Linoleic_acid. 2016.
- [6] Wikipedia, the free encyclopedia. . "Stearic acid." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://en.wikipedia.org/wiki/Stearic_acid. 2016.
- [7] Albert J. Dijkstra. "Edible Oil Processing from a Patent Perspective.". New York : Springer Science+Business Media, LLC. 2013., pp 121-155 .
- [8] Andrew Logan. "Review of Degumming and Refining Technologies." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.soci.org/~media/Files/Conference%20Downloads/2008/OFI%20Abu%20Dhabi%20Apr%202008/Logan.ashx>, 2016.
- [9] Richard D. O'Brien. "Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications.", 3rd ed. New York : Taylor & Francis Group, LLC. 2009.
- [10] Murty, V.R., Bhat, J. and Muniswaran, P.K.A. "Hydrolysis of Oils by Using Immobilized Lipase Enzyme: A Review", Biotechnol. Bioprocess Eng., vol. 7, 2002. pp 57-66.
- [11] Sulaiman A1-Zuhair, K.B. Ramachandran and Masitah Hasan. " High enzyme concentration model for the kinetics of hydrolysis of oils by lipase.", Chemical Engineering Journal, vol.103, 2004. pp 7-11.

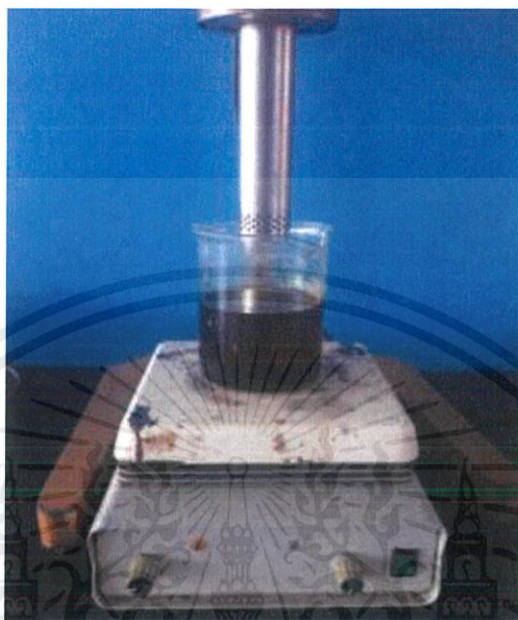
เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] Critical processes, “Change of water properties with temperature.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.criticalprocesses.com/Use%20of%20enthalpies%20to%20calculate%20energy%20needed.htm>. 2016.
- [13] Hiroyuki Yoshida, “Production of phenolic compounds from rice bran biomass under subcritical water conditions.”, Chemical Engineering Journal, vol.160, 2010. pp 259-266
- [14] Critical Processes, “SUPERHEATED WATER: MORE DETAILS.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.criticalprocesses.com/Superheated%20water%20%20More%20details.htm>. 2016.
- [15] The Association of Finnish Chemical Societies, “Subcritical water.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.greenfluids.org/html/Techniques/hot_water.html. 2016.
- [16] TSSDA. “ความรู้เกี่ยวกับสแตนเลส.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.tssda.org/index.php?actions=about&id=6>. 2016.
- [17] หจก. ยงไทยโลหะภัณฑ์. “สแตนเลส 316L.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.yongthaimetal.com/15158197/สแตนเลส-304-316l>
- [18] An SPX Brand. “Corrosion Handbook.”. New York : SPX Corporation. 2008. pp 13-14.
- [19] Alenezi, R., Leeke, G.A., Santos, R.C.D. and Khan, A.R. “Hydrolysis kinetics of sunflower oil under subcritical water conditions.”, chemical engineering research and design., vol.87, 2009. pp 867-873.
- [20] King, J.W., Holliday, R.L. and List, G.R. “Hydrolysis of soybean oil in a subcritical water flow reactor.”, Green Chem. vol.6, No.1 , 1999. pp 261-264.
- [21] นงพงา กงสิทธิ์, นที เตรียมปราบศึก และ ธนกร เดชชัชณะนาถ. “การศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

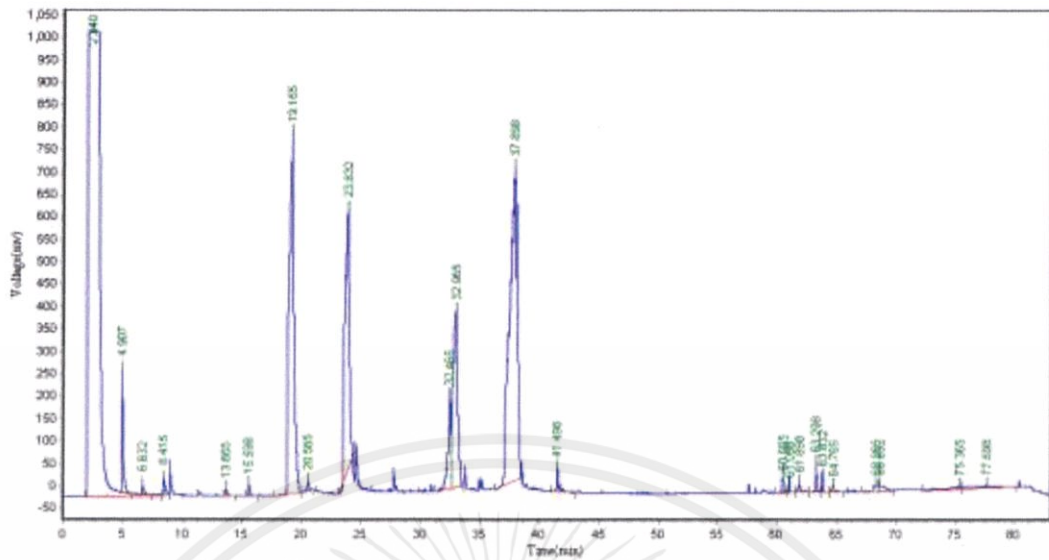


รูปที่ ก.1 การกำจัดยางด้วยกรดฟอสฟอริกโดยเครื่องโฮโมจีไนซ์



รูปที่ ก.2 การไทเทรตตรวจสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าความเป็นกรด

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในสารตั้งต้นส่วนน้ำมัน และผลิตภัณฑ์อ้างอิงวิธีมาตรฐาน A.O.C.S. Official Method Ca 5a-40 ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม ในน้ำมันปาล์มประกอบด้วยกรดไขมันหลักๆ 2 ชนิดคือ กรดปาล์มมิติกและกรดโอเลอิกซึ่งถือเป็นร้อยละ 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 คือมวลโมเลกุลของกรดไขมันอิสระ ซึ่งคือ 269.44 (กรัมต่อกรัมโมล)

m คือน้ำหนักสารตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)

จากการที่ทราบปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตสามารถนำมาคำนวณหาค่าความเป็นกรดได้จากสมการดังนี้

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{V \times C \times 56.1}{1,000 \times m}$$

ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบ

ตารางที่ ค.1 น้ำหนักสารตัวอย่างและปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ที่ใช้ในการไทเทรตชุดที่ 1

สภาวะ		น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิเมตร)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการทำ ปฏิกิริยา (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
200	60	1.0010	11.3	11.2	11.4
200	80	1.0008	11.4	11.4	11.4
200	100	1.0200	11.5	11.7	11.9
220	60	1.0068	11.5	11.5	11.5
220	80	1.0003	12.7	12.7	12.7
220	100	1.0040	13.6	13.6	13.6
240	60	1.0870	12.1	12.1	12.1
240	80	1.0331	13.1	13.3	13.2
240	100	1.0009	14.4	14.5	14.5

ตารางที่ ค.2 น้ำหนักสารตัวอย่างและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ที่ใช้ในการไทเทรตชุดที่ 2

สภาวะ		น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิเมตร)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการทำ ปฏิกิริยา (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
200	60	0.3987	4.1	4.2	4.1
200	80	0.4943	5.7	5.8	5.8
200	100	0.5994	7.6	7.6	7.6
220	60	0.6897	7.7	7.6	7.6
220	80	0.4630	5.9	6.0	5.9
220	100	0.6652	9.2	9.2	9.2
240	60	0.5186	6.8	6.8	6.8
240	80	0.5440	7.6	7.6	7.6
240	100	0.7665	11.2	11.2	11.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้