การผลิตกรดไขมันจากกลีเซอไรด์ในไขมันหมูด้วยโซดาไฟ

นางสาว อารยา ชีพสาทิศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF FATTY ACIDS FROM GLECERIDES IN LARD WITH CAUSTIC SODA

Miss Araya Cheepsathit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

PRODUCTION OF FATTY ACIDS FROM GLECERIDES IN LARD WITH CAUSTIC SODA

Miss Araya Cheepsathit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตกรดไขมันจากกลีเซอไรด์ในไขมันหมูด้วยโซดาไฟ
โดย	นางสาว อารยา ชีพสาทิศ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช)

……กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นวดล เหล่าศิริพจน์)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิวรรณ โชติพฤกษ์)

อารยา ชีพสาทิศ : การผลิตกรดไขมันจากกลีเซอไรด์ในไขมันหมูด้วยโซดาไฟ. (PRODUCTION OF FATTY ACIDS FROM GLYCERIDES IN LARD WITH CAUSTIC SODA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช, 73 หน้า.

การผลิตกรดไขมันจากไขมันหมูประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ การสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากไขมันหมูด้วยสารละลายโซดาไฟที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส การแยกกลีเซอไรด์ที่เหลือจากปฏิกิริยาออกจากเกลือของกรดไขมันด้วยตัวทำละลายเบนซีนและอะซีโตน ซึ่งปรากฏสารละลาย 3 ชั้น กลีเซอไรด์ที่เหลือจากปฏิกิริยาละลายอยู่ในเบนซีน เกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นละลายอยู่ในชั้นอะซีโตนและกลีเซอรอลที่เกิดจากปฏิกิริยาปรากฏในชั้นของน้ำ ขั้นตอนในการผลิตสุดท้ายคือการเปลี่ยนกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ให้กลายเป็นกรดไขมันด้วยสารละลายกรดเกลือที่อุณหภูมิห้อง

ไขมันหมูประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ร้อยละ 58.09 ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาร้อยละ 32.11 และองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่กลีเซอไรด์ร้อยละ 7.77 ไตรกลีเซอไรด์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้นั้นจะเกิดปฏิกิริยากับโซดาไฟสลายเป็นไดกลีเซอไรด์, โมโนกลีเซอไรด์และกลีเซอรอลตามลำดับ โดยสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งหมดในเวลา 90 นาที กรดไขมันที่ผลิตได้นั้นมีมวลโมเลกุล 286.67 ซึ่งการเพิ่มขั้นตอนการแยกกลีเซอไรด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกจากเกลือของกรดไขมันทำให้กรดไขมันที่สังเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2551

4970705221 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : LARD / GLYCERIDE / FATTY ACID / ALKALINE HYDROLYSIS

ARAYA CHEEPSATHIT : PRODUCTION OF FATTY ACIDS FROM GLYCERIDES IN LARD WITH CAUSTIC SODA. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : ASSOC. PROF. DEACHA CHATSIRIWECH, Ph.D., 73 pp.

Lard fatty acids was produced by 3 consecutive steps; reacting lard with caustic soda solution at 90°C, extracting unreacted glycerides and fatty acid salts with benzene-acetone mixture, and reacting fatty acid salts with hydrochloric solution at room temperature. All glycerides remained in benzene, fatty acid salts in acetone, and glycerol in aqueous were analyzed.

Lard contained active triglycerides 58.09 %, inactive triglyceride 32.11 % and non-glyceride 7.77 %. All active triglycerides was converted to diglyceride, monoglyceride and glycerol consecutively after 90 minutes, all active triglyceride was converted completely to glycerol. The fatty acids produced had average molecular weight of 286.67. The extraction step with benzene-acetone mixture separated relatively pure fatty acid.

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

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

Academic Year : 2551

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับการให้คำปรึกษา ความเอาใจใส่ และคำแนะนำที่ดีตลอดมา รวมทั้งกรุณาตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์เพื่อให้ได้วิทยานิพนธ์ที่มีความสมบูรณ์ถูกต้อง รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพฤกษ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวดล เหล่าศิริพจน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และความช่วยเหลือในการตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวก ช่วยเหลือในการวิจัยและการดำเนินการเรื่องงานเอกสารต่างๆด้วยดีตลอดมา และเพื่อนๆพี่น้องในแลป PSE ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาที่ดีเพื่องานวิจัยที่สมบูรณ์

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดามารดา พี่น้องและเพื่อนๆ ที่คอยช่วยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญตาราง ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1

    1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

    1.2 วัตถุประสงค์ 3

    1.3 ขอบเขตงานวิจัย 3

        1.3.1 การสกัดน้ำมันจากไขมันหมู 3

        1.3.2 การสังเคราะห์กรดไขมันจากไขมันหมู 3

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

    2.1 ไขมันและน้ำมัน 4

    2.2 องค์ประกอบของไขมันและน้ำมัน 5

    2.3 สมบัติทางกายภาพไขมันและน้ำมัน 7

    2.4 กรดไขมัน 8

        2.4.1 ชนิดของกรดไขมัน 8

        2.4.2 ประโยชน์ของกรดไขมัน 9

    2.5 ไขมันสัตว์ 10

    2.6 การสกัดน้ำมันจากไขมันสัตว์ 10

        2.6.1 การเจียวแห้ง 10

        2.6.2 การเจียวเปียก 11

    2.7 น้ำมันหมู 12

        2.7.1 คุณสมบัติของน้ำมันหมู 13

บทที่ หน้า

2.7.2 องค์ประกอบของกรดไขมัน 13
2.8 ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิส 15
2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16
3. วิธีดำเนินการวิจัย 19
3.1 การสกัดน้ำมันจากไขมันหมู 19
3.1.1 การทดสอบทางกายภาพ 19
3.1.2 การทดสอบหาองค์ประกอบของน้ำมันหมู 19
3.2 การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันหมู 20
3.2.1 การสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมูด้วยโซดาไฟ 20
3.2.2 การสกัดแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน 20
3.2.3 การสังเคราะห์กรดไขมันจากเกลือของกรดไขมันด้วยกรดเกลือ 21
3.2.4 ตัวแปรที่ใช้ศึกษา 21
3.3 การวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่างๆ 21
3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบกลีเซอไรด์ของน้ำมัน 21
3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอล 22
3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ 22
3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน 22
4. ผลการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันปาล์มดิบ 22
4.1 ปริมาณ คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันหมูที่สกัดได้จากไขมันหมู 23
4.1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน 23
4.1.2 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันหมู 23
4.1.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมัน 24
4.2 น้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน 26
4.2.1 ปริมาณของน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของ
กรดไขมันที่เวลาต่างๆ 26
4.2.2 ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ ที่ปรากฏใน
น้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน 28
4.3 กรดไขมันและกลีเซอรอล 30
4.3.1 ปริมาณของกรดไขมันและกลีเซอรอล 30

บทที่ หน้า

4.3.2 เปรียบเทียบอัตราส่วนของกรดไขมันและกลีเซอรอลที่เกิดขึ้น 31
4.4 ความสัมพันธ์ของสารตั้งต้นที่ถูกใช้และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น 33
4.4.1 ปริมาณของโซดาไฟและกรดเกลือที่ใช้ในปฏิกิริยาและกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ 33
4.4.2 ปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้น 34
4.4.3 ความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นกับน้ำมันหมูเริ่มต้นที่ใช้ทำปฏิกิริยา 35
4.5 กรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ 36
4.6 กรดไขมันที่ผลิตได้หากไม่มีขั้นตอนการแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาออกก่อนนำมาทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ 38
4.7 สัดส่วนของน้ำมันหมูที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาและกรดไขมันที่สกัดได้ 39
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผลการวิจัย 42
5.2 ข้อเสนอแนะ 43

รายการอ้างอิง 44
ภาคผนวก 46
ภาคผนวก ก. 46
ภาคผนวก ข. 50
ภาคผนวก ค. 55
ภาคผนวก ง. 64
ภาคผนวก จ. 68
ภาคผนวก ฉ. 70
ภาคผนวก ช. 71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 73

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

1.1 ราคาน้ำมันปาล์มดิบเกรด A ปี 2550 (หน่วย บาท/กิโลกรัม) 2

4.1 ปริมาณน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันที่เวลาต่างๆ 27

4.2 องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ ที่ปรากฏในน้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน 28

4.3 ปริมาณของกรดไขมันและกลีเซอรอลที่เวลาต่างๆ 31

4.4 อัตราส่วนของกรดไขมันต่อกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ 32

4.5 ร้อยละของน้ำมันที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาที่เวลาต่างๆ 40

4.6 % yield ในการทดลองของกรดไขมันเปรียบเทียบกับ % yield ที่สามารถคำนวณได้ทางทฤษฎี 40

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันหมู 13
2.2 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันหมู 14
2.3 แสดงองค์ประกอบที่พบได้ในน้ำมันหมู 14
4.1 คุณสมบัติของน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันหมู 24
4.2 องค์ประกอบในน้ำมันหมูที่สกัดได้ 25
4.3 สมการความสัมพันธ์ของน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยา 27
4.4 สมการความสัมพันธ์ของการเกิดปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ในการสังเคราะห์กรดไขมัน 28
4.5 ปริมาณของสารที่ถูกใช้และเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา 33
4.6 ปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ตรวจสอบได้ 34
4.7 น้ำหนักของผลิตภัณฑ์รวมทั้งหมดที่ตรวจสอบได้จากการทดลองที่เวลาต่างๆ ต่อน้ำหนักน้ำมันหมูเริ่มต้น 35
4.8 ปริมาณกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ 37
4.9 มวลโมเลกุลของกรดไขมันที่คำนวณได้หากไม่มีการแยก สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน 38
ก.1 องค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จากการเจียว 46
ก.2 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของน้ำมันหมู 46
ก.3 ผลการทดสอบจุดหลอมเหลวของน้ำมันหมู 47
ก.4 ผลการทดสอบหาน้ำและสารระเหยที่อยู่ในน้ำมัน 47
ก.5 ผลการทดสอบหาปริมาณกลีเซอรอลในน้ำมันหมูเริ่มต้น 48
ก.6 ผลการทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันหมูเริ่มต้น 48
ก.7 ผลการทดสอบหาปริมาณสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน 49
ก.8 ผลการทดสอบหาองค์ประกอบกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูเริ่มต้น 49
ข.1 ปริมาณโซดาไฟเริ่มต้นที่ใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน 50
ข.2 การกำจัดโซดาไฟที่มากเกินพอจากปฏิกิริยาด้วยกรดเกลือ 50
ข.3 ปริมาณกรดเกลือเริ่มต้นที่ใช้ในปฏิกิริยาเอซิดดูเลชั่น 51
ข.4 การกำจัดกรดเกลือที่มากเกินพอด้วยโซดาไฟ 51
ข.5 ปริมาณกรดไขมันที่เกิดขึ้น 52
ข.6 ปริมาณกลีเซอรอล 52

ตาราง หน้า

ข.7 ปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ตรวจสอบได้ 53
ข.8 ปริมาณสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยากลายเป็นเกลือของกรดไขมัน 53
ข.9 องค์ประกอบกลีเซอไรด์ของสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน 54
ง.1 % Experiment yield ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ 68
ง.2 สัดส่วนของน้ำมันที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาที่เวลาต่างๆ 69
ฉ.1 องค์ประกอบกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันหมู 70

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เดิมไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์มีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อการบริโภคเท่านั้น ภายหลังมีการนำไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคมี ที่ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างหลากหลายเช่น สบู่ สารซักล้าง เครื่องสำอาง สารหล่อลื่น น้ำมันซักแห้ง สารเคลือบพื้นผิว โพลีเมอร์ และ เชื้อเพลิงชีวภาพ ทดแทนการผลิตจากปิโตรเลียมเนื่องด้วยข้อดีของวัตถุดิบจากพืชและสัตว์ที่เป็นพลังงานหมุนเวียนใช้เวลารวดเร็วกว่าในการเจริญเติบโตเพื่อนำมาใช้งาน ด้วยปัจจัยและสภาวะที่สามารถควบคุมได้ ต่างจากปิโตรเลียมที่ต้องอาศัยการทับถมของซากพืชซากสัตว์ใต้ดินเป็นเวลานานหลายล้านปี ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์มีข้อดีคือสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นวัตถุดิบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และช่วยลดพลังงานในการเตรียมวัตถุดิบเนื่องจากไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์ได้จากการสกัด การบีบและการเคี่ยว ซึ่งใช้พลังงานน้อยเมื่อเทียบกับการนำปิโตรเลียมขึ้นมาจากแหล่งใต้ดินและผ่านการกลั่นแยกโดยใช้ความร้อนสูงเพื่อนำไปใช้งานแต่ละประเภท หลังจากนั้นยังต้องผ่านกระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนเช่น สารประกอบไนเตรต ไนโตรเจนซัลเฟต คาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกจากปิโตรเลียม**[1,2]**

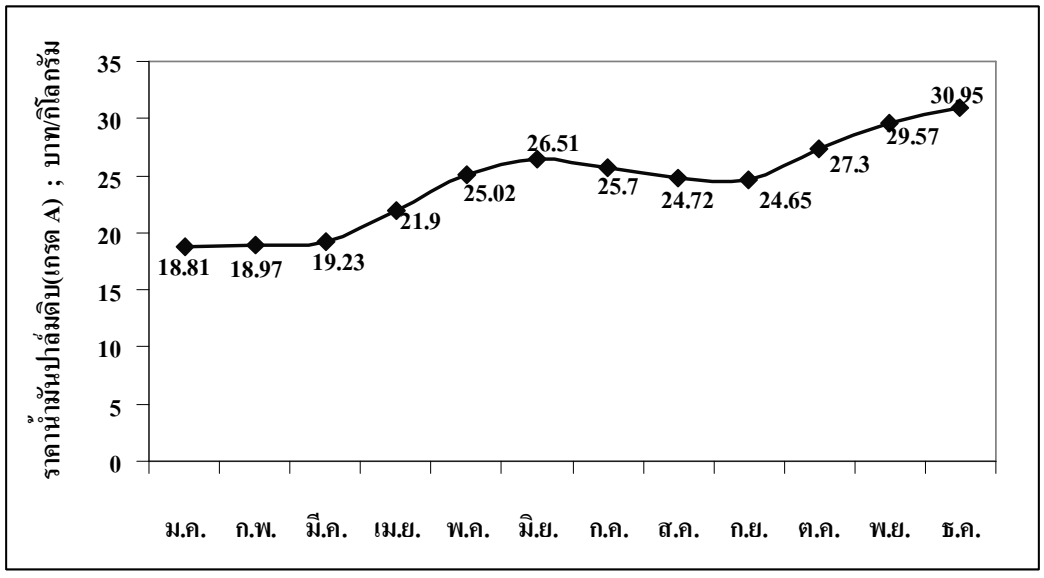
จากผลกระทบต่างๆที่มนุษย์ได้รับในรูปของภัยธรรมชาติเช่นความแปรปรวนของฤดู วาตภัย อุทกภัย การทรุดตัวของชายฝั่งจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น หรืออากาศของโลกที่ค่อยๆร้อนขึ้น ทำให้มนุษย์เริ่มรักษาและห่วงใยสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมเคมีในปัจจุบันจึงมีความคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเช่น การใช้กระบวนการผลิตที่สะอาดและใช้พลังงานต่ำลง การใช้แหล่งวัตถุดิบหมุนเวียน หรือการใช้ปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดระบบอุตสาหกรรมที่รบกวนสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวเบื้องต้นจึงควรมีการศึกษาหากระบวนการผลิตกรดไขมันที่เป็นทางเลือกเพื่อทดแทนกระบวนการผลิตกรดไขมันในปัจจุบันที่ใช้การไฮโดรไลสิสน้ำมันด้วยน้ำซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุอุปกรณ์และพลังงานมากเนื่องจากปฏิกิริยาต้องใช้สภาวะดำเนินการที่อุณหภูมิและความดันสูงซึ่งผลให้ใช้วัสดุและอุปกรณ์พิเศษที่ทนอุณหภูมิและความดันสูงตามไปด้วย เนื่องจากต้องทำให้น้ำมันสามารถละลายได้ในน้ำ ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิสโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นจึงถูกนำมาใช้เพื่อเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ให้เกิดผลิตภัณฑ์คือ

เกลือของกรดไขมันและกลีเซอรอลแล้วเปลี่ยนเกลือของกรดไขมันที่ได้ให้กลายเป็นกรดไขมันโดยใช้กรดหรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาเอซิดดูเลชั่น ซึ่งวิธีทางนี้ลดค่าใช้จ่ายพลังงานได้มากเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าและสามารถเกิดได้ที่ความดันบรรยากาศ จึงเป็นกระบวนการที่เป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตกรดไขมัน

วัตถุดิบหมุนเวียนสำคัญที่นำมาใช้ทดแทนปิโตรเลียมมีด้วยกันหลากหลายทั้งจากพืชและสัตว์ น้ำมันจากพืชสามารถสกัดได้จากพืชน้ำมันเช่น ปาล์ม, ถั่วเหลืองและมะกอก จากสัตว์ได้แก่ ไขมันจากหมู, วัวหรือไก่ ซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุในการผลิตสารเคมีต่างๆเช่นการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ การผลิตสารเคมีที่ใช้ในชีวิตประจำวันไม่ว่าจะเป็น สบู่ สารซักล้างประเภทต่างๆหรือเครื่องสำอาง ซึ่งความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้นย่อมส่งผลถึงความต้องการวัตถุดิบที่สูงขึ้นด้วย จากสาเหตุนี้ทำให้ในปี 2550 น้ำมันปาล์มดิบมีราคาเฉลี่ยสูงขึ้นเป็น 24.45 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับราคาน้ำมันปาล์มดิบเฉลี่ยปี 2549 ซึ่งมีราคา 15.81 บาทต่อกิโลกรัมพบว่าราคาเฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบสูงขึ้นร้อยละ 54.65 และมีแนวโน้มของราคาที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆดังรูปที่ 1.1

น้ำมันและไขมันสัตว์เป็นวัตถุดิบทางเลือกที่ดีเนื่องจากมักเป็นของเหลือจากโรงงานแปรรูปเนื้อสัตว์เนื่องด้วยเหตุผลด้านสุขภาพเพราะไขมันจากสัตว์มีปริมาณไขมันอิ่มตัวสูงและคอเลสเตอรอลซึ่งก่อให้เกิด โรคหัวใจ หลอดเลือดตีบ ความดันโลหิตสูง และโรคต่างๆไม่เหมาะกับการเป็นน้ำมันสำหรับบริโภค น้ำมันสัตว์เหล่านี้จึงเป็นส่วนที่ปัจจุบันมีความต้องการน้อยลงและมีราคาถูก จึงเป็นวัตถุดิบที่ดีและเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตกรดไขมัน



รูปที่ 1.1 ราคาน้ำมันปาล์มดิบเกรด A ปี 2550 (บาท/กิโลกรัม)

ที่มา : สำนักงานกรมการค้าภายในจังหวัดกระบี่ (ม.ค. 2551)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาในการสังเคราะห์กรดไขมันของ โมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ในน้ำมันหมูด้วยโซดาไฟ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การสกัดน้ำมันจากไขมันหมู

สกัดน้ำมันจากไขมันหมูโดยการเจียวแห้งโดยใช้ความร้อน 110 องศาเซลเซียส และนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพคือจุดหลอมเหลวและความถ่วงจำเพาะ องค์ประกอบของน้ำมันหมู ได้แก่ ความชื้นและสารระเหย, ปริมาณกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ, สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันและปริมาณของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์

1.3.2 การสังเคราะห์กรดไขมันจากไขมันหมู

การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันหมูประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมูด้วยโซดาไฟ หลังจากนั้นสกัดแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาโดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายเบนซีนและอะซีโตน น้ำมันที่เหลืออยู่นั้นจะนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ที่เปลี่ยนแปลง เกลือของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้นำมาทำปฏิกิริยาต่อเพื่อเปลี่ยนเป็นกรดไขมันด้วยกรดเกลือ

1.3.2.1 การเปลี่ยนไขมันหมูเป็นเกลือของกรดไขมัน

ใช้ปริมาณน้ำกลั่น 20 เท่าน้ำหนักของไขมันหมู กวนสารด้วยเตาแม่เหล็กไฟฟ้าความเร็วรอบคงที่ที่ 750 รอบต่อนาที และให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

1) ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการเกิดเกลือของกรดไขมันจากไขมันหมูที่เวลา 20, 40, 60, 90 และ 120 นาที

2) หาปริมาณโซดาไฟที่ถูกใช้ไปได้จากการสะเทินโซดาไฟที่เหลืออยู่ด้วยกรดเกลือโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

1.3.2.2 การสกัดแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน

ใช้กระบวนการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายที่มีขั้ว(อะซีโตน)และตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว(เบนซีน)ในปริมาณที่เท่ากันด้วยกรวยแยก โดยทิ้งไว้ให้แยกชั้นโดยใช้เวลา 24 ชั่วโมง นำน้ำมันที่แยกได้มาวิเคราะห์หาปริมาณไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้วิธีตามมาตรฐาน

1.3.2.3 การสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากเกลือของกรดไขมันด้วยกรดเกลือ

เติมกรดเกลือในปริมาณที่มากเกินพอในปริมาณที่เท่ากันในแต่ละการทดลองเพื่อการเปลี่ยนสบู่เป็นกรดไขมันเกิดได้อย่างสมบูรณ์และสะเทินหาปริมาณกรดเกลือที่เหลือด้วยสารละลายโซดาไฟโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอัตราการเกิดปฏิกิริยาในการสังเคราะห์กรดไขมันของโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ ในน้ำมันหมู

2. ได้กระบวนการทางเลือกในการผลิตกรดไขมันและกลีเซอรอลในระดับอุตสาหกรรมที่มีค่าใช้จ่ายด้านวัสดุอุปกรณ์และพลังงานต่ำลง

3. เพิ่มมูลค่าวัตถุดิบที่มีต้นทุนต่ำและใช้ประโยชน์ได้น้อยให้มีราคาและการนำไปใช้ประโยชน์ที่สูงขึ้น

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันเป็นเอสเทอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ เป็นสารอินทรีย์ประเภทเดียวกับไข(wax) รวมเรียกว่าลิพิด(lipid) เป็นสารประกอบที่อยู่ในพืชและสัตว์ทั่วไป ไขมันมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ส่วนน้ำมันมีสถานะเป็นของเหลว องค์ประกอบของไขมันและน้ำมันประกอบด้วยกรดไขมันและกลีเซอรอล ไขมันจากพืชส่วนใหญ่ได้จากเมล็ด เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และพืชน้ำมัน ได้แก่ ปาล์ม มะพร้าว และมะกอก ไขมันจากสัตว์ที่นิยมบริโภคโดยทั่วไป ได้แก่ น้ำมันหมูและไขวัว

2.2 องค์ประกอบของไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์นั้นนอกจากประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ยังประกอบด้วยสารอื่นๆจำพวก ฟอสโฟลิปิด สเตอรอล ไฮโดรคาร์บอน สารสีที่ละลายได้ในน้ำมันและวิตามินอี สารเหล่านี้มักอยู่ในวัตถุดิบจากพืชและสัตว์ตั้งแต่แรก แต่อาจเกิดสารประกอบบางชนิดจากกระบวนการแปรรูปหรือเกิดระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันและไขมัน เช่นกรดไขมันอิสระและสารประกอบเพอร์ออกไซด์**[3,4]**

1) ฟอสโฟลิปิด พบในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ทุกชนิดเป็นไขมันชนิดหนึ่งที่ประกอบไปด้วย กลีเซอรอล กรดไขมัน และกรดฟอสฟอริก มักพบเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอยู่ร่วมกับคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช และพบในเนื้อเยื่อของสัตว์ชนิดต่างๆ เช่น สมอง ตับ ไต หัวใจ ไข่แดง และไขมันสัตว์ ปริมาณของฟอสโฟลิปิดจะขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อและชนิดของสัตว์ เป็นวัตถุดิบในการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ ผิวพรรณ ผม และเล็บ ฟอสโฟลิปิดที่สำคัญที่พบในอาหารคือ เลซิธินซึ่งเป็นโคลีนฟอสโฟกลีเซอไรด์(Choline phosphoglyceride) ประกอบด้วยกรดไขมัน 2 โมเลกุล, กลีเซอรอล 1 โมเลกุล, กรดฟอสฟอริก 1 โมเลกุลและโคลีน 1 โมเลกุล เลซิธินเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำแต่เป็นสารช่วยในการแขวนตัวที่ดีและเป็นแหล่งที่ดีของกรดฟอสฟอริกที่จำเป็นต่อการสร้างเนื่อเยื่อใหม่ๆในร่างกายพบในไข่แดง ถั่วเหลือง ถั่วลิสงและข้าวโพด

เมื่อน้ำมันผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การทำให้บริสุทธิ์ การฟอกสี การกำจัดกลิ่น และกระบวนการต่างๆ ซึ่งเป็นการกำจัดสารต่างๆที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ ทำให้ฟอสโฟลิปิดถูกจำกัดออกไปด้วยเกือบหมดหรือเหลือในปริมาณที่น้อยมาก

2) สเตอรอล พบในไขมันและน้ำมันที่มาจากพืชและสัตว์ ที่พบในไขมันสัตว์เรียกว่า ซูโอสเตอรอล(Zoo-osterol) ได้แก่ คอเลสเตอรอล ลาโนสเตอรอล และไดไฮโดรคอเลสเตอรอล ส่วนสเตอรอลที่พบในพืชเรียกว่า ไฟโตสเตอรอล(Phytosterol) สเตอรอลพบได้ทั้งอยู่อิสระและในรูปเอสเตอร์ของกรดไขมัน สามารถแยกออกจากไขมันได้โดยการทำให้บริสุทธิ์ด้วยด่าง แต่ก็มักพบว่าหลังการกำจัดแล้วยังมีสเตอรอลหลงเหลืออยู่เล็กน้อย

คอเลสเตอรอลเป็นสารสำคัญที่พบในไขมันสัตว์แต่ไม่ปรากฏในน้ำมันพืชพบในเซลล์ของสัตว์พบมากในสมอง เนื้อเยื่อประสาทและกระแสโลหิต มีความสำคัญในการช่วยดูดซึมกรดไขมันในลำไส้เล็ก แต่โคเลสเตอรอลก็มีอันตรายต่อความผิดปกติของเส้นเลือดเนื่องจากอาจเกิดการเกาะตัวของคอเลสเตอรอลระหว่างการลำเลียงภายในเส้นเลือดทำให้การไหลเวียนของเลือดผิดปกติหรือเกิดการตีบตันได้ การรับประทานไขมันจากสัตว์มากจะทำให้คอเลสเตอรอลในเลือดสูงผิดปกติจึงควรควบคุมปริมาณการบริโภคที่เหมาะสม อาหารที่พบคอเลสเตอรอลปริมาณมากได้แก่ สมองสัตว์ ตับ และไข่แดงของสัตว์

3) ไฮโดรคาร์บอน มีปริมาณร้อยละ 0.1-1 ของไขมันและน้ำมัน ซึ่งอยู่รวมกับสเตอรอลและองค์ประกอบอื่นๆ

4) สารสี สารสีที่สามารถละลายได้ในไขมันและน้ำมันคือ แคโรทีนอยด์ เป็นสารให้สีเหลืองถึงแดงเข้มตามแต่ละชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดคือ เบตา-แคโรทีน สารแคโรทีนอยด์ไม่สามารถแยกออกได้โดยการทำให้บริสุทธิ์ด้วยด่าง แต่การไฮโดรจีเนชั่นจะช่วยทำลายจำนวนพันธะคู่ซึ่งมีผลให้สีจางลง การฟอกสีที่อุณหภูมิสูงหรือการกำจัดกลิ่นโดยใช้ไอน้ำก็เป็นการกำจัดสีอีกทางหนึ่งเนื่องจากสารแคโรทีนอยด์ไม่ทนความร้อนที่อุณหภูมิสูง

5) วิตามินอี หรือโทโคฟีรอลเป็นสารที่ละลายได้ดีในไขมันและน้ำมัน จึงทำให้เกิดการปะปนออกมาระหว่างการสกัด วิตามินอีมีประโยชน์ในการต้านการออกซิเดชั่นของน้ำมันจึงช่วยลดการหืนของน้ำมัน

2.3 สมบัติทางกายภาพไขมันและน้ำมัน

สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อองค์ประกอบทางเคมีในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมัน ดังนั้นสมบัติทางกายภาพจึงสามารถใช้จำแนกและบ่งชี้ชนิดของไขมันและกรดไขมันได้ รวมถึงการนำไขมันและน้ำมันไปใช้ประโยชน์ก็สามารถพิจารณาและกำหนดได้จากสมบัติทางกายภาพได้อีกด้วย สมบัติทางกายภาพที่สำคัญได้แก่

1) จุดหลอมเหลว(Melting point) คืออุณหภูมิที่เปลี่ยนไขมันที่สภาวะของแข็งเป็นของเหลวจนหมด จุดหลอมเหลวของไขมันมักเป็นช่วงอุณหภูมิ ช่วงแคบหรือกว้างนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในไขมัน กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำกว่า 10 อะตอมมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ถ้าจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันสูงขึ้นจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะต่ำลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น

การให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้า ไขมันจะค่อยๆหลอมตัวกลายเป็นของเหลว เมื่อทำให้เย็นตัวลงจะกลายเป็นของแข็งตามเดิม และถ้าให้ความร้อนแก่ไขมันอีกครั้งหนึ่งจุดหลอมเหลวของไขมันจะสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าทำให้ไขมันเย็นลงอย่างรวดเร็วแล้วนำไปหลอมเหลวใหม่จุดหลอมเหลวจะต่ำกว่าครั้งแรก

2) จุดแข็งตัว(Solidifying point) คืออุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็งจุดนี้มักมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2-3 องศาเซลเซียส ไขมันและน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิดจะมีจุดแข็งตัวเป็นช่วงกว้าง

3) การละลาย(Solubility) ไขมันและน้ำมันทุกชนิดนั้นไม่สามารถละลายได้ในน้ำแต่จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่ชอบน้ำ(Hydrophobic) เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน เบนซีน อีเทอร์และอะซีโตน ซึ่งไตรกลีเซอไรด์ผสมที่ไม่สมมาตรจะมีความสามารถในการละลายดีกว่าไตรกลีเซอไรด์ที่มีความสมมาตร

4) ความถ่วงจำเพาะ(Specific gravity) โดยทั่วไปมักทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ไขมันที่เป็นของแข็งมีจุดหลอมเหลวสูงนั้นอาจทดสอบที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมันจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนพันธะคู่หรือจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันมากขึ้น เมื่อให้ความร้อนแก่ไขมันและน้ำมันพืชพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าเปลี่ยนแปลงคือจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ

5) ความหนืด(Viscosity) เป็นคุณสมบัติสำคัญที่ควรคำนึงถึงในอุตสาหกรรมเนื่องจากเป็นเป็นปัจจัยที่ใช้ออกแบบระบบการขนถ่ายไขมันและน้ำมันในกระบวนการ ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น แต่จะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น

2.4 กรดไขมัน

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ซึ่งประกอบไปด้วยหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่และหมู่แอลคิล (Alkyl) มีสูตรโมเลกุลคือ R-COOH หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) มีสมบัติเป็นสารที่ชอบน้ำ(Hydrophilic) จึงทำให้ไขมันแตกตัวออกได้เป็นประจุลบ หมู่แอลคิล(-R) มีสมบัติเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีขั้ว จึงทำให้กรดไขมันมีทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำและน้ำมัน

กรดไขมันที่พบในธรรมชาตินั้นมักเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์และฟอสโฟกลีเซอไรด์ มีปริมาณน้อยมากที่จะพบในรูปของกรดไขมันอิสระ

กรดไขมันแบ่งโดยใช้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลได้ 3 กลุ่มคือ

1) กรดไขมันชนิดสายสั้น มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4-10 อะตอม กรดไขมันกลุ่มนี้จะละลายน้ำได้บ้าง ระเหยได้ เป็นสารที่ให้กลิ่น

2) กรดไขมันชนิดสายกลาง มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 12-14 อะตอม ไม่สามารถละลายน้ำได้

3) กรดไขมันชนิดสายยาว มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลมากกว่า 16 อะตอม กรดไขมันกลุ่มนี้ไม่มีกลิ่นและรสชาติ และไม่สามารถละลายน้ำได้

2.4.1 ชนิดของกรดไขมัน

สามารถแบ่งตามพันธะของหมู่แอลคิลได้ 3 กลุ่มคือ

1) กรดไขมันอิ่มตัว(Saturated fatty acid)

มีสูตรทั่วไปคือ $C_nH_{2n}O_2$ เป็นกรดไขมันที่มีพันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงไม่สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมได้อีก กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 6-10 อะตอมจะละลายน้ำได้เล็กน้อยและสามารถระเหยได้ จนถึงจำนวนคาร์บอน 12 อะตอม กรดไขมันจะไม่สามารถละลายน้ำได้ และเมื่อพิจารณาสถานะของกรดไขมันพบว่า กรดไขมันที่มีจำนวน

คาร์บอนในโมเลกุลต่ำกว่า 10 อะตอมจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง แต่กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอมขึ้นไปจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)

มีสูตรทั่วไปคือ $C_nH_{2n-2}O_2$ เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 1 ตำแหน่ง ทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลได้อีก ซึ่งพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันมีได้หลากหลายตำแหน่ง ซึ่งพบได้ในไขมันและน้ำมันพืชทั่วไป

3) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน(Polyunsaturated fatty acid)

ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18-22 อะตอม มีจำนวนพันธะคู่ 2-6 ตำแหน่ง พบมากในน้ำมันพืชและน้ำมันปลา

2.4.2 ประโยชน์ของกรดไขมัน

นำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆมากมาย เช่น**[1]**

1) กรดลอริก(Lauric acid) ใช้ทำเป็นเรซินในอุตสาหกรรมเคมี

2) กรดปาล์มมิติก(Palmitic acid) ใช้ในการเลี้ยงเชื้อราเพื่อสกัดเป็นยาปฏิชีวนะ

3) กรดโอเลอิก(Oleic acid) ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

4) กรดสเตียริก(Stearic acid) ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง สบู่เด็ก ผสมกรดปาล์มมิติกเพื่อผลิตเทียนไข

5) กรดลิโนเลอิก(Linoleic acid) ใช้เป็นยาฉีดสำหรับลดไขมันในเส้นเลือด

นอกจากนี้กรดไขมันยังเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตอนุพันธ์ของกรดไขมันต่างๆ เช่น

1) แฟตตี้ แอลกฮอลล์(Fatty alcohol) เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารลดแรงตึงผิวทั้งสารลดแรงตึงผิวแบบนอนไอออนิก(Non-ionic)และแอนไอออนิก(Anionic)เช่น แฟตตี้ อีทอกซีเลต(Fatty ethoxylates) และแฟตตี้ อีเทอร์ ซัลเฟต(Fatty ether sulphates)

2) แฟตตี้ เอมีน(Fatty amine) เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตสารประกอบแอมโมเนียมที่ใช้ในน้ำยาปรับผ้านุ่ม และ ครีมนวดผม

3) แฟตตี้ เมทธิล เอสเทอร์(Fatty methyl ester) เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการสังเคราะห์แฟตตี้ แอลกฮอลล์เพื่อใช้ผลิตสารลดแรงตึงผิว และในปัจจุบันมีการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพมากขึ้นเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันปิโตรเลียม

2.5 ไขมันสัตว์

สัตว์มีไขมันสะสมประมาณร้อยละ 12-20 ของน้ำหนักสิ่งมีชีวิต โดยกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆของร่างกาย สัตว์แต่ละชนิดย่อมมีไขมันที่สะสมไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อาหารที่ใช้เลี้ยงหรือถิ่นที่อยู่และยังมีความแตกต่างในชนิดของกรดไขมัน เช่นกรดไขมันของวัวและควายจะมีกรดไขมันอิ่มตัวที่สูงกว่าหมู เซลล์ไขมันของสัตว์มีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดใหญ่กระจายทั่วไปในเนื้อเยื่อสัตว์โดยเฉพาะบริเวณใกล้เส้นเลือด นอกจากนี้ยังพบเซลล์ไขมันที่มีขนาดใหญ่สะสมอยู่ใต้ชั้นของผิวหนัง การสร้างเซลล์ไขมันในสัตว์สามารถเกิดได้ตลอดเวลา เมื่อสัตว์เจริญเติบโตเต็มที่ปริมาณของเซลล์ไขมันจะไม่ลดลงแต่ขนาดของเซลล์จะใหญ่ขึ้นหรือเล็กลงได้ตามสภาวะของร่างกายและชนิดอาหารที่บริโภค เซลล์ไขมันมักพบอยู่ภายใต้กล้ามเนื้อบริเวณส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน(Marbling) และเป็นปัจจัยที่ใช้ตัดสินคุณภาพของเนื้อที่นำมาบริโภค การมีสัดส่วนที่พอเหมาะจะทำให้เนื้อมีความนุ่ม รสชาติที่ดีเมื่อรับประทานแล้วไม่แห้ง

เซลล์ไขมันมีความสำคัญต่อสัตว์คือ**[5]**

1) เป็นแหล่งสะสมของอาหารประเภทไขมันที่สำคัญคือ เป็นแหล่งสะสมกรดไขมันบางตัวที่จำเป็นบางชนิดและเป็นแหล่งสะสมของสารอาหารซึ่งสามารถละลายได้ในไขมันเช่น วิตามินอี

2) ไขมันที่อยู่บริเวณถัดจากชั้นของผิวหนังจะช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อนของร่างกายทำให้สามารถทนต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้

3) ป้องกันอันตรายให้กับอวัยวะภายในเช่นไขมันที่ห่อหุ้มบริเวณไตและอวัยวะภายในต่างๆ

2.6 การสกัดน้ำมันจากไขมันสัตว์

น้ำมันและไขมันที่บริสุทธิ์ไม่มีในธรรมชาติ ต้องสกัดออกจากแหล่งวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันสูงเช่น ผลหรือเมล็ดของพืช เนื้อเยื่อหรือน้ำนมของสัตว์ วิธีการสกัดแยกน้ำมันและไขมันออกจากวัตถุดิบมักมีวิธีเฉพาะสำหรับวัตถุดิบแต่ละชนิดขึ้นอยู่ลักษณะและคุณสมบัติ สำหรับการสกัดไขมันจากสัตว์นั้นมักใช้การให้ความร้อนหรือการเจียวมี 2 ลักษณะคือการเจียวแห้งและการเจียวเปียก**[6,7]**

2.6.1 <u>การเจียวแห้ง(Dry Rendering)</u>

กระบวนการสกัดน้ำมันจากไขมันสัตว์ที่ง่ายที่สุดที่นิยมใช้ในบ้านเรือน ใช้หลักการในการระเหยน้ำของจากเนื้อเยื่อไขมันจนเนื้อเยื่อไขมันเริ่มแห้งจนปราศจากน้ำ น้ำมันและไขมันจะละลาย

ออกมาจากเนื้อเยื่อไขมันสัตว์ โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 115-120 องศาเซลเซียส ในภาชนะเปิด น้ำมันที่ได้จะมีกลิ่นที่หอมเหมาะแก่การบริโภค แต่น้ำมันที่ได้อาจมีคุณภาพที่ด้อยลงเนื่องมาจากความร้อนที่สัมผัสโดยตรงกับเนื้อเยื่อไขมัน ทำให้เกิดการออกซิเดชั่นของน้ำมันบางส่วนและการไฮโดรไลซิสน้ำมันกลายเป็นกรดไขมันอิสระ น้ำมันจะถูกแยกออกจากกากโดยใช้การตกตะกอน การกรองหรือการใช้เครื่องเหวี่ยงในกรณีที่มีชิ้นส่วนเนื้อเยื่อขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ หากมีน้ำมันหลงเหลืออยู่ในกากอาจใช้การบีบเพื่อคั้นน้ำมันออกมาให้หมด

การเจียวแห้งสามารถใช้ความร้อนในการเจียวที่ต่ำลงได้ โดยใช้วิธีทางกลเพื่อบีบผนังเซลล์เนื้อเยื่อไขมันร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมินี้ไม่ทำลายโปรตีนของผนังเซลล์ที่อาจจะหลุดออกมาทำให้น้ำมันมีสีที่คล้ำ กากที่เหลือแยกโดยใช้การเหวี่ยง น้ำมันที่ได้จากวิธีการนี้จะมีสีอ่อน ไม่ค่อยมีกลิ่น มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำและมีความคงตัวต่อการออกซิเดชั่น และอีกวิธีหนึ่งคือการให้ความร้อนในภาชนะปิดที่ความดันปกติหรือความดันที่ต่ำลงเพื่อช่วยขับน้ำออก น้ำมันที่ได้จากวิธีนี้จะมีกลิ่นแรง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่นก่อนนำไปแปรรูป

การสกัดน้ำมันในอุตสาหกรรมจะใช้การเจียวในถังแนวนอนที่ให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายนอกที่มีช่องขนาดใหญ่ตรงกลางด้านบนของถังเพื่อป้อนไขมันหมูและมีใบพัดติดอยู่ภายใน ซึ่งสามารถเคี่ยวไขมันหมูได้ครั้งละ 2,300 – 4,500 กิโลกรัม โดยจะเคี่ยวไปเรื่อยๆจนได้จนไขมันแห้งตามที่ต้องการ ส่วนกากไขมันหมูที่เหลือนั้นจะนำมาบีบอัดเพื่อให้ได้น้ำมันที่มากที่สุด หลังจากนั้นจะนำน้ำมันที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการแยกตะกอน กากไขมันหมูที่ได้นั้นยังมีประโยชน์ในทางการค้าคือนำไปขายเป็นอาหารสัตว์ได้อีกด้วย

2.6.2 <u>การเจียวเปียก(Wet Rendering)</u>

กระบวนการการเจียวน้ำมันที่ต้องการน้ำมันสำหรับบริโภคในทางการค้าซึ่งคำนึงถึง สี, กลิ่นและคุณภาพที่ดี มีปริมาณสิ่งเจือปนต่ำ โดยใช้การให้ความร้อนผ่านน้ำใน 2 รูปแบบคือการใช้อุณหภูมิต่ำโดยใช้น้ำเดือดและการใช้อุณหภูมิสูงโดยใช้การพ่นไอน้ำในภาชนะปิดที่ความดันต่ำประมาณ 0.006 – 0.009 ปาสคาล และมีการไล่อากาศออกเพื่อลดการออกซิเดชั่น ความร้อนของไอน้ำจะทำลายสารประกอบโปรตีนที่ผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อไขมัน ไขมันจึงหลอมเหลวไหลออกจากเซลล์เนื้อเยื่อ โดยใช้เวลาประมาณ 4 – 6 ชั่วโมง เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนหรือใช้เครื่องเหวี่ยงน้ำมันที่ได้จะลอยอยู่ด้านบน กากจะตกตะกอนจมอยู่ด้านล่างในชั้นน้ำ น้ำมันที่ได้จากวิธีนี้มีกลิ่นอ่อนสามารถนำไปแปรรูปได้ทันทีไม่ต้องผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่น

ส่วนล่างที่ประกอบด้วยน้ำและกากนั้นจะมีโปรตีนละลายอยู่ ซึ่งอาจสูงถึงร้อยละ 2 นำไประเหยได้โปรตีนผงซึ่งเป็นผลพลอยได้ แต่การเจียวเปียกนั้นก็มีข้อด้อยเนื่องจากการแยกน้ำและน้ำมันมีความลำบาก อาจเกิดอิมัลชั่นของน้ำและน้ำมัน ซึ่งทำลายได้ยากเนื่องจากโปรตีนเป็นอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ทำให้เกิดความคงตัวของอิมัลชั่น

การเจียวเปียกนั้นใช้เวลานานและมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าการเจียวแห้ง และยังมีโอกาสการเกิดไฮโดรไลซิสระหว่างการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ การใช้ความดันในการสกัด 0.007 ปาสคาลนั้นช่วยเพิ่มอัตราการเกิดกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.06 ต่อชั่วโมง ซึ่งการเกิดกรดไขมันอิสระนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆตามอุณหภูมิที่ใช้เคี่ยว ระยะเวลาที่ใช้ในการเคี่ยว อุณหภูมิที่ใช้เก็บน้ำมันที่สกัดได้ แม้แต่ระยะเวลาของไขมันหมูก่อนนำมาเคี่ยวก็ยังมีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระยิ่งหมูผ่านการชำแหละมานานปริมาณของกรดไขมันอิสระก็สูงตาม

2.7 น้ำมันหมู

หมูมีสัดส่วนของไขมันสะสมประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัว เนื้อเยื่อส่วนที่เป็นไขมันของสัตว์มีปริมาณไขมันร้อยละ 70-90 ส่วนประกอบที่เหลือคือน้ำและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน สัตว์ที่มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือหมูมีปริมาณไขมันร้อยละ 92-95 **[8]** น้ำมันหมูเป็นน้ำมันที่นิยมนำมาใช้ในการประกอบอาหารมากมายตั้งแต่สมัยโบราณ ก่อนที่จะมีการเริ่มสกัดน้ำมันจากพืชน้ำมันเช่น ถั่วเหลือง ปาล์ม หรือผลมะกอก ด้วยกลิ่นที่มีลักษณะเฉพาะตัวของน้ำมันหมูช่วยเพิ่มความอยากอาหารได้เป็นอย่างดีทำให้เป็นน้ำมันที่มีอยู่ในครัวของของทุกบ้าน แต่ด้วยงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวกับสุขภาพพบว่าคอเลสเตอรอลอยู่ในน้ำมันหมูนั้นอาจจะสะสมบริเวณผนังหลอดเลือดเป็นตัวการที่ทำให้หลอดเลือดอุดตัน ซึ่งเมื่อเกิดที่ร่างกายส่วนใดนั้นจะทำให้เกิดอาการขาดเลือดของส่วนปลายเนื่องจากเลือดเดินทางได้ไม่ทั่วถึง เกิดภาวะขาดเลือดถ้าเป็นที่บริเวณแขนและขา ส่วนปลายจะจะดำ อาจต้องถูกตัดทิ้ง ถ้าเป็นที่บริเวณสมองจะทำให้เกิดอัมพาตครึ่งซีกล่าง ถ้าเกิดที่หัวใจจะทำให้เกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน จึงควรควบคุมปริมาณของโคเลสเตอรอลให้ปกติคือ 200-220 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เมื่อบริโภคเป็นเวลานาน **[9]**

สมาคมโรคหัวใจอเมริกันกล่าวว่าการรักษาภาวะไขมันในเลือดสูงที่ได้ผลดีคือ การควบคุมอาหาร ซึ่งการกำจัดอาหารจำพวกไขมันเพียงอย่างเดียวเพื่อให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลงร้อยละ 5-7 แต่มีผลน้อยมากในการลดระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดคือการจำกัดอาหารประเภทไขมันสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือดได้แต่ไม่สามารถควบคุมระดับไตรกลีเซอไรด์ในเส้นเลือดได้ ทางเลือกที่ดีกว่าในการใช้ควบคุมปริมาณคอเลสเตอรอลและระดับไตรกลีเซอไรด์ในเส้นเลือดคือการจำกัดอาหารประเภทไขมันร่วมกับการรับประทานอาหารที่มีกากใยอาหาร ซึ่ง

สามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ร้อยละ 11-32 และยังลดระดับไตรกลีเซอไรด์ได้ถึงร้อยละ 21-24

ด้วยเหตุผลดังข้างต้นการบริโภคน้ำมันที่ได้จากไขมันสัตว์นั้นจึงค่อยๆลดลงเรื่อย เพราะผู้บริโภคหันไปบริโภคน้ำมันที่ได้จากพืชซึ่งไม่มีคอเลสเตอรอล และมีปริมาณไขมันอิ่มตัวที่น้อยกว่าน้ำมันที่ได้จากไขมันสัตว์

2.7.1 คุณสมบัติของน้ำมันหมู

คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมันหมูนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็นอาหาร ภูมิอากาศของสถานที่เลี้ยงดู สายพันธุ์ของสุกรหรือแม้แต่อายุและเพศซึ่ง American Oil Chemists' Society(AOCS) ได้ให้คุณสมบัติของน้ำมันหมูที่มีคุณสมบัติที่ดีดังตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันหมู

คุณสมบัติ	ปริมาณ
จุดหลอมเหลว	33-45 °C
ความถ่วงจำเพาะ (อุณหภูมิ 40°C)	0.896 – 0.904
ค่าการหักเหของแสง (อุณหภูมิ 40°C)	32 – 45
ค่าซาปอนนิฟิเคชั่น	192 – 203 mg KOH/g oil
สารที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง	1 %
ปริมาณกรดไขมันอิสระสูงสุด	1.3 mg KOH/g oil

2.7.2 องค์ประกอบของกรดไขมัน

น้ำมันและไขมันหมูประกอบด้วยกรดไขมันกว่า 29 ชนิดที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลตั้งแต่ 10 – 22 มีจำนวนคู่พันธะคู่ที่มากที่สุดในกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนถึง 5 คู่*[8]* ซึ่งแสดงปริมาณขององค์ประกอบกรดไขมันหลักได้ดังตารางที่ 2.2 และยังมีกรดไขมันที่สามารถพบได้เช่น กรดคาปริก(Capric acid), กรดลอริก(Lauric acid), กรดอราชินิก(Arachinic acid) และกรดกาโดเลอิก(Gadoleic acid) ในปริมาณเล็กน้อย นอกจากองค์ประกอบกรดไขมัน น้ำมันหมูยังประกอบด้วยสารอื่นๆได้แก่แร่ธาตุ วิตามินและโคเลสเตอรอลซึ่งปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อยดังตารางที่ 2.3

ปริมาณของกรดไขมันและสารต่างๆนั้นมีความแตกต่างกันไปตามแต่สายพันธุ์ อายุ อาหารที่ใช้เลี้ยง และสภาพแวดล้อมของสถานที่เลี้ยงที่แตกต่างกัน**[8,10]** มีการศึกษาเกี่ยวกับชนิดกรดไขมันที่สะสมอยู่ในไขมันหมูที่มีอายุต่างกัน โดยให้อาหารชนิดเดียวกันคือหางนมและข้าวโพด พบว่า หมูที่อายุมากจะมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวที่สูงกว่าแต่จะมีปริมาณของกรดไลโนเลอิกที่ต่ำกว่าหมูที่มีอายุน้อย และหมูที่มีปริมาณไขมันน้อยจะมีปริมาณของกรดไลโนเลอิกสะสมที่ต่ำอีกด้วย

ตารางที่ 2.2 แสดงของกรดไขมันหลักที่พบได้ในน้ำมันหมู

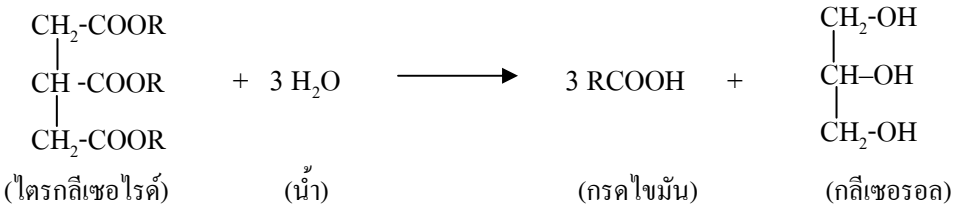
องค์ประกอบ	สูตรเคมี	มวลโมเลกุล	จุดหลอมเหลว(°C)	ปริมาณ
Saturated				
Myristic acid	$C_{14}H_{28}O_2$	228.37	58.3	1 - 4
Palmitic acid	$C_{16}H_{32}O_2$	256.42	62.6	20 - 28
Stearic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	284.48	69.3	5 - 14
Unsaturated				
Oleic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	282.46	14	41 - 51
Linoleic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	280.44	-5	2 - 15
Linolenic acid	$C_{18}H_{30}O_2$	278.43	-11	trace - 1
Arachidic acid	$C_{20}H_{40}O_2$	312.53	77	0.3 - 1.0

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบที่พบได้ในน้ำมันหมู (USDA Nutrient database)

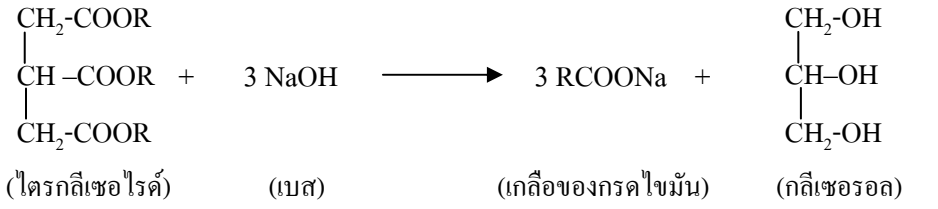
องค์ประกอบ	ปริมาณ
Zinc	0.11 mg
Selenium	0.2 mcg
Choline	49.7 mg
vitamin E	0.6 mg
Cholesterol	95 mg

2.8 ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิส(Hydrolysis)

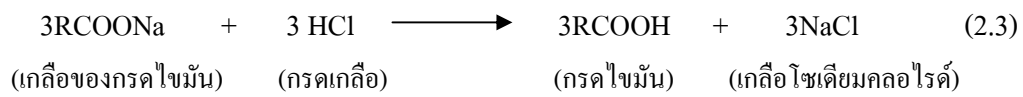
กรดไขมันสังเคราะห์ได้จากไตรกลีเซอไรด์ด้วยการสลายไขมันเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลด้วยไอน้ำที่อุณภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส ความดัน 20-60 เมกกะปาสคาล เพื่อทำให้ไอน้ำและน้ำมันสามารถละลายเข้ากันได้ หรือการทำปฏิกิริยาที่ความดันบรรยากาศโดยใช้กรดเบส หรือไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันชนิดเดียวกันได้ดังสมการที่ 2.1**[11]**



ปฏิกิริยาอีกทางเลือกหนึ่งคือการไฮโดรไลซิสโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กรดไขมันผ่านกระบวนการเกิดเกลือของกรดไขมันด้วยเบสเช่นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ ซึ่งสามารถเกิดได้ที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 2.2 ได้ผลิตภัณฑ์คือเกลือของกรดไขมันและกลีเซอรอล



นำเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้น มาเปลี่ยนเป็นกรดไขมันโดยทำปฏิกิริยาเอซิดดูเลชั่นกับกรดเกลือที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ได้ผลิตภัณฑ์คือกรดไขมันและเกลือโซเดียมคลอไรด์ ดังสมการที่ 2.3



2.9 เอกสารและงานวิจัยในอดีต

Jerry F. P.Redและคณะ**[12]** สิทธิบัตรฉบับนี้กล่าวถึงการวิจัยเพื่อสังเคราะห์ไขมันจากสบู่ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยด่างในไตรกลีเซอไรด์ ในผลิตภัณฑ์มักมีน้ำมันเหลืออยู่ร้อยละ 10-20 จึงสังเคราะห์น้ำมันที่เหลืออยู่ให้เป็นเกลือของกรดไขมันด้วยด่างมากเกินพอร้อยละ 25 ที่อุณหภูมิ 80 – 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปลี่ยนสบู่ให้เป็นกรดไขมันด้วยกรดกำมะถันเข้มข้นร้อยละ 98 หรือกรดอนินทรีย์อื่นๆ เช่น กรดโบรมิก, กรดไฮโดรเจนฟลูออไรด์ โดยมีผลผลิตข้างเคียงที่เกิดขึ้นคือ เกลือโซเดียมซัลเฟต(ถ้าใช้โซดาไฟในกระบวนการเกิดสบู่) มีค่า pH สุดท้ายอยู่ที่ 1.5-3.5 และมีปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก

C. Frank Phillips และคณะ**[13]** สิทธิบัตรฉบับนี้กล่าวถึงการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์กรดไขมันอิสระจากเกลือของกรดไขมันที่ได้จากกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยด่าง ซึ่งเกลือของกรดไขมันนั้นประกอบด้วยสารอื่นๆได้แก่ ฟอสฟาไทด์(Phosphatide)ที่ละลายน้ำได้เช่นเลซิทิน (Lecithin) กรดไขมันอิสระปริมาณเล็กน้อย กลีเซอไรด์และสารปนเปื้อนอื่นๆที่อยู่ในรูปของอิมัลชั่น กระบวนการนี้เริ่มจากสปอนนิฟิชั่นน้ำมันด้วยด่างมากเกินพอถึงร้อยละ100 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ตามด้วยปฏิกิริยาเอซิดดูเลชั่นโดยใช้กรดซัลฟิวริกหรือกรดเกลือความเข้มข้นร้อยละ 10 – 50 ที่อุณหภูมิ 90 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปกลั่นสุญญากาศที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ความดัน 0.045 เมกกะปาสคาล หลังจากนั้นนำกรดไขมันที่ได้มาทำปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นและเอซิดดูเลชั่นอีกครั้งเพื่อทำให้กรดไขมันที่สังเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์ กระบวนการนี้มีข้อดีคือกรดไขมันที่ได้มีสารปนเปื้อนและสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันปริมาณต่ำ

Douglas G.และคณะ**[14]** กล่าวถึงการแยกกรดไขมันออกจากน้ำมันของต้น Lesquerella ที่มีองค์ประกอบคือ กรดไขมันอิสระร้อยละ 35 โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 2 , และไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 38 เริ่มกระบวนการโดยใช้ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นน้ำมันด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ฟอสเฟสบัฟเฟอร์และสารละลายอินทรีย์ที่มีขั้วเช่นอะซีโตน หลังจากนั้นสกัดสารละลายที่ได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์(เฮกเซน) ได้สารละลาย 3 ชั้น คือ ชั้นบนเป็นชั้นของเฮกเซนที่ประกอบด้วยโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ ชั้นกลางเป็นชั้นของอะซีโตนที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระและสบู่ ชั้นล่างเป็นชั้นของน้ำที่ไม่มีองค์ประกอบของไขมันปะปน หลังการแยกชั้นนำสารละลายชั้นกลางที่ได้ไปทำปฏิกิริยาเอซิดดูเลชั่นกับกรดเกลือเข้มข้นเพื่อเปลี่ยนเกลือของกรดไขมันให้กลายเป็นกรดไขมัน หลังจากนั้นทำการสกัดกรดไขมันอิสระด้วยเฮกเซน กรดไขมัน

จะละลายในชั้นเฮกเซนและเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้นจะละลายอยู่ในชั้นน้ำ จากกระบวนการนี้สามารถสังเคราะห์กรดไขมันอิสระจากสารตั้งต้นได้มากกว่าร้อยละ 99 ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยกรดไขมันร้อยละ 85-90 และองค์ประกอบอื่นๆร้อยละ 10-15

D.B Todd. และคณะ**[15]** กล่าวถึงการสังเคราะห์กรดไขมันโดยใช้กระบวนการแอซิดดูเลชั่นต่อจากกระบวนการกำจัดอัลคาไลน์ที่ได้จากกระบวนการทำความสะอาดน้ำมันพืชให้มีความบริสุทธิ์ ทดลองกับเกลือของกรดไขมันที่ได้จากการกำจัดอัลคาไลน์ในน้ำมัน 4 ชนิดคือ น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันข้าวโพด โดยนำมาทำปฏิกิริยาแอซิดดูเลชั่นด้วยกรดซัลฟิวริกขณะสบู่ร้อนและตามด้วยการล้างด้วยน้ำเดือดแบบสวนทางเพื่อล้างกรดซัลฟิวริกที่มากเกินพอ สามารถสังเคราะห์กรดไขมันได้มากถึงร้อยละ 98 มีกรดหลงเหลือในสารละลายร้อยละ 1 และปริมาณความชื้นและสารระเหยร้อยละ 2 กระบวนการนี้เป็นกระบวนการแบบต่อเนื่องจากกระบวนการกำจัดอัลคาไลน์ในน้ำมันพืชซึ่งมีข้อดีที่ช่วยลดต้นทุนในกระบวนการคือ ลดแรงงานคนที่ต้องใช้การขนย้ายเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปดำเนินงานต่อและปริมาณกรดที่ใช้ก็มีความสิ้นเปลืองน้อยกว่าทำปฏิกิริยาแบบกะเนื่องจากสารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามีความหมุนเวียน

Samuel Lepkovsky และคณะ**[16]** ทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของกรดไขมันจากน้ำมันหมูและสารประกอบเอสเตอร์ของน้ำมันหมูโดยทำการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันหมูโดยใช้ 2 ขั้นตอนคือการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมูโดยใช้ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นน้ำมันหมูกับสารละลายแอลกฮอลิกโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 และ 50 และเปลี่ยนเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นกรดไขมันด้วยกรดซัลฟิวริก หลังจากนั้นระเหยน้ำให้แห้งและนำกรดไขมันที่ได้ไปกลั่นแยกที่อุณหภูมิระหว่าง 165-190 องศาเซลเซียส ซึ่งกรดไขมันบางตัวอาจต้องใช้อุณหภูมิในการกลั่นแยกถึง 230 องศาเซลเซียส แต่กรดไขมันส่วนใหญ่นั้นสามารถกลั่นแยกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส

María D. Virto และคณะ**[17]** ทำการศึกษาการใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันสัตว์ 2 ชนิดคือ น้ำมันหมูและน้ำมันวัว โดยใช้ไลเปส triacylglycerol ester hydrolase, EC 3.1.1.3 ยึดติดกับตัวดูดซับทางการค้าคือ microporous polypropylene ที่มีขนาดอนุภาค 200 – 400 ไมโครเมตร ใช้เวลาในการยึดติด 90 นาที สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำหมูคือ การทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส การกวนด้วยความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาทีโดยใช้เวลา 24 ชั่วโมง น้ำมันสามารถเกิดปฏิกิริยา

ไฮโดรไลซิสได้สูงสุดร้อยละ 95 (เวลา 90 นาทีเกิดปฏิกิริยาได้ประมาณร้อยละ 50) ซึ่งไลเปสสามารถทำปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 45 องศาเซลเซียสและนำกลับมาทำปฏิกิริยาได้สูงสุด 5 ครั้ง

Mertxe de Renobales และคณะ**[18]** ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันสัตว์ซึ่งมีจุดหลอมเหลวของน้ำมันสูงโดยใช้ไลเปสจาก Candida rugosa เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 และ 37 องศาเซลเซียสโดยไม่มีการใช้สารลดแรงตึงผิวและตัวทำละลายอินทรีย์ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ร้อยละ 95 หรือมากกว่าในเวลาการทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมงและการกวนคงที่ พบว่าน้ำมันหมูสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำมันวัว สามารถเกิดปฏิกิริยาได้สูงสุดร้อยละ 96 ที่การใช้ไลเปสต่ำกว่า 0.3 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำมันหมูและสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ถึงร้อยละ 98 ในการเพิ่มการใช้ไลเปสเป็น 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำมันหมู อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอยู่ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์กรดไขมันโดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้นคือ ไขมันหมู ที่ประกอบด้วยไขมันสูงสุดถึงร้อยละ 90 และองค์ประกอบอื่นเช่น น้ำและองค์ประกอบของโปรตีนในเนื้อเยื่อ ต้องทำการสกัดแยกน้ำมันออกจากไขมันหมูก่อนนำมาผลิตโดยใช้การเจียวก่อนนำมาผลิตกรดไขมันโดยใช้ 2 ปฏิกิริยาคือการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมูด้วยโซดาไฟและการเปลี่ยนเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นเป็นกรดไขมันด้วยกรดเกลือ โดยเพิ่มกระบวนการการสกัดแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันด้วยตัวทำละลายก่อนนำเกลือของกรดไขมันไปทำปฏิกิริยาต่อกับกรดเกลือและทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นตามวิธีการวิเคราะห์แต่ละชนิด

3.1 การสกัดน้ำมันจากไขมันหมู

ตัดมันหมูเป็นชิ้นเล็กขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วให้ความร้อนในภาชนะเปิดเพื่อละลายน้ำมันออกจากไขมันหมูที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส จนมันหมูเริ่มมีสีเหลืองจึงหยุดให้ความร้อน กรองกากมันหมูด้วยกระดาษกรอง และนำน้ำมันที่สกัดได้ กากหมูที่เหลืออยู่ไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณที่สกัดได้ และทดสอบน้ำมันหมูทางกายภาพและองค์ประกอบต่างๆดังนี้

3.1.1 การทดสอบทางกายภาพ

1) ความถ่วงจำเพาะ ทดสอบโดยใช้ภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอนตามวิธีการ ASTM D5355-95(1995))ดังภาคผนวก ค.1

2) จุดหลอมเหลว ทดสอบการหลอมเหลวของน้ำมันที่แข็งตัวในหลอดคาปิลลารีโดยการให้ความร้อนตามวิธีการ ASTM D5440-93(1995))ดังภาคผนวก ค.2

3.1.2 การทดสอบหาองค์ประกอบของน้ำมันหมู

1) ความชื้นและสารระเหย โดยให้ความร้อนแก่น้ำมันจนความชื้นและสารระเหยจนระเหยออกหมดตามวิธีการ ASTM D5556-95(1995) ดังภาคผนวก ค.3

2) กลีเซอรอล โดยทำการทดลองคล้ายกับการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมัน แต่ไม่มีการใช้สารละลายโซดาไฟคือการกวนน้ำมันกับน้ำกลั่นปริมาณ 20 เท่าของน้ำหนักน้ำมัน ด้วยความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสแล้วแยกสารละลายที่เกิดขึ้นด้วยเบนซีน นำสารละลายมาวิเคราะห์ตามวิธีการ ASTM D128-98(2003) ดังภาคผนวก ค.4

3) กรดไขมันอิสระ ทดสอบโดยใช้การไตเตรตด้วยสารละลายโซดาไฟตามวิธีการ AOCS Official Method Da 14-48 ดังภาคผนวก ค.5

4) สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน ตามวิธีการ ASTM D 1965-87(1998) ดังภาคผนวก ค.7

5) องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ หาปริมาณโดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายในซิลิกาเจลคอลัมน์ตามวิธีการ IUPAC (fifth Edition : Method II.C.7)) ดังภาคผนวก ค.6

3.2 การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันหมู

3.2.1 การสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมูด้วยโซดาไฟ

- เตรียมน้ำมันและโซดาไฟที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก(5 กรัม) ผสมด้วยน้ำปริมาณ 20 เท่าของน้ำหนักน้ำมัน
- กวนสารที่เตรียมไว้ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ด้วยความเร็ว 750 รอบต่อนาที พักของผสมที่ได้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2 การสกัดแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน

- เติมเบนซีนปริมาณ 50 มิลลิลิตรและอะซีโตนปริมาณที่เท่ากันลงในของผสมที่กวนได้ทิ้งไว้ในกรวยแยกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะแยกได้สารละลาย 3 ชั้นในกรวยแยก
- รวมสารละลายชั้นกลางและชั้นล่างนำไปสังเคราะห์กรดไขมันด้วยกรดเกลือ
- สารละลายชั้นบนนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำล้างไม่ทำปฏิกิริยากับฟีนอล์ฟทาลีนและนำไประเหยตัวทำละลายด้วยการให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ และนำสารที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ตามวิธีการแยกองค์ประกอบกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมันดังภาคผนวก ค.7

3.2.3 การสังเคราะห์กรดไขมันจากเกลือของกรดไขมันด้วยกรดเกลือ

- เติมกรดเกลือปริมาณมากเกินพอ(ประมาณ 30 มิลลิโมล)ลงในสารละลายเกลือของกรดไขมันเพื่อสังเคราะห์กรดไขมัน กวนสารละลายด้วยความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

- แยกผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยกรวยแยก(ถ้าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณน้อยให้เพิ่มปริมาตรด้วยการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เช่น เบนซีน)

- สารละลายชั้นล่างนำมากำจัดกรดเกลือที่เหลือด้วยสารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร หลังจากนั้นนำไปอบเพื่อระเหยน้ำเพื่อตรวจสอบเกลือโซเดียมคลอไรด์และกลีเซอรอลที่เกิดขึ้น

- สารละลายชั้นบนนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำล้างไม่มีความเป็นกรดทดสอบโดยการใช้กระดาษลิตมัสที่ไม่เปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นแดง นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไประเหยเบนซีนออกโดยใช้การให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ ถ้าผลิตภัณฑ์มีน้ำปะปนอยู่ให้นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเพื่อระเหยน้ำ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ความเป็นกรดเพื่อหาปริมาณของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้

3.2.4 ตัวแปรที่ใช้ศึกษา

ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนโดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมูเป็น 40, 60, 90 และ 120 นาที

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่างๆ

3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบกลีเซอไรด์ของน้ำมัน

ในการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์จะมีน้ำมันหมูที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน น้ำมันเหล่านี้จะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์และองค์ประกอบอื่นที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเช่นฟอสโฟลิปิดหรือสเตอรอล ซึ่งสามารถทดสอบเพื่อหาปริมาณของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ในน้ำมันที่เหลืออยู่ ด้วยวิธีการสกัดแยกโดยใช้ซิลิกาเจลคอลัมน์ด้วยตัวทำละลาย ตามวิธีการ IUPAC (fifth Edition : Method II.C.7))ได้ดังภาคผนวก ค.6

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอล

จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมูจะมีกลีเซอรอลเกิดขึ้นซึ่งละลายอยู่ในชั้นของน้ำ ตรวจสอบหาปริมาณกลีเซอรอลตามวิธีการ ASTM D128-98(2003) ดังภาคผนวก ค.4 ซึ่งใช้โพแตสเซียมเพอริโอเดตทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลได้กรดฟอร์มิกดังสมการที่ 3.1 และตรวจสอบกรดฟอร์มิกที่เกิดขึ้นด้วยการไตเตรตกับสารละลายโซดาไฟ

$$C_3H_8O_3 + 2KIO_4 \longrightarrow 2HCHO + HCOOH + 2KIO_3 + H_2O \qquad (3.1)$$

3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์

ระเหยสารละลายปริมาณ 50 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ที่ทราบค่าน้ำหนักโดยการให้ความร้อนด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสจนสารละลายแห้งจนน้ำหนักของคงที่ นำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นทันทีจนอุณภูมิลดลงอยู่ที่อุณหภูมิห้อง จึงนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้น

3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน

ใช้ในการตรวจสอบหากรดไขมันอิสระในน้ำมันหมูที่สกัดได้และหาปริมาณกรดไขมันของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองโดยใช้การไตเตรตเพื่อหาจุดสะเทินกรดไขมันด้วยสารละลายโซดาไฟตามวิธี AOCS Official Method Da 14-48 ดังภาคผนวก ค.5

บทที่ 4
วิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองประกอบด้วยการสกัดน้ำมันหมูจากไขมันหมูและตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันหมูที่สกัดได้ทางกายภาพและปริมาณขององค์ประกอบคือ ความถ่วงจำเพาะ ปริมาณน้ำและระเหย ปริมาณกลีเซอรอล ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันรวมถึงปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมู

หลังจากนั้นนำน้ำมันหมูที่สกัดได้มาสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันหมูที่สกัดได้โดยใช้ 3 ขั้นตอน คือการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมู และแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาออกจากเกลือของกรดไขมันโดยใช้การสกัดแยกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เกลือของกรดไขมันนั้นนำมาทำปฏิกิริยาต่อด้วยการทำปฏิกิริยากับกรดเกลือเพื่อเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน ส่วนน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันนำมาตรวจสอบปริมาณของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์, และโมโนกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ โดยปฏิกิริยาที่สนใจในงานวิจัยคือปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมูด้วยโซดาไฟ เนื่องจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนเกลือของกรดไขมันเป็นกรดไขมันนั้นเกิดได้ดีและสมบูรณ์ได้ง่ายที่อุณหภูมิ

4.1 ปริมาณ, คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันหมูที่สกัดได้จากไขมันหมู

4.1.1 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันหมู

ล้างไขมันหมูให้สะอาดซับน้ำให้แห้ง หั่นเป็นชิ้นเล็กขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และสกัดแยกโดยใช้ความร้อน 110 องศาเซลเซียส น้ำมันจะค่อยๆละลายออกมาจนชิ้นไขมันหมูเริ่มมีสีเหลืองจึงหยุดให้ความร้อน เพื่อป้องกันการให้ความร้อนที่มากเกินพอจนทำให้องค์ประกอบโปรตีนบางส่วนเกิดความเปลี่ยนแปลงและหลุดออกมาปะปนกับน้ำมัน ได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 62 กากไขมันหมูร้อยละ 17.6 องค์ประกอบที่เหลือคือ น้ำและสารต่างๆที่สามารถระเหยได้ ซึ่งระเหยออกมาระหว่างการเจียวน้ำมัน

4.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน

วิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะของน้ำมันหมูที่สกัดได้ด้วยภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอนตามวิธีการ ASTM D5355-95(1995) ดังภาคผนวก ค.1 ที่อุณหภูมิห้องน้ำมันหมูมีลักษณะเป็นของเหลวและมีผลึกไขมันของแข็งปะปนอยู่บางส่วน มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.907 ± 0.001 ทำการ

ทดลอง 3 ครั้ง เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันหมูให้ผลึกไขมันของแข็งหลอมเหลวกลายเป็นของเหลวเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.893± 0.001 ทำการทดลอง 3 ครั้ง

จุดหลอมเหลวของน้ำมันหมูทดสอบตามวิธีการ ASTM D5440-93(1995) ดังภาคผนวก ค.2 คือการทดสอบการหลอมเหลวของน้ำมันที่แข็งตัวในหลอดคาปิลลารี มีจุดหลอมเหลว 42.33 ± 0.58 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันหมู

คุณสมบัติ	ปริมาณ
ความถ่วงจำเพาะ (ที่อุณหภูมิ 60 °C)	0.893
จุดหลอมเหลว (°C)	42.33

4.1.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมัน

นำน้ำมันที่สกัดได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบเพื่อหาปริมาณของกลีเซอรอลในน้ำมันโดยทำการทดลองคล้ายกับการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันแต่ไม่มีการใช้สารละลายโซดาไฟ คือการกวนน้ำมันกับน้ำกลั่นปริมาณ 20 เท่าของน้ำหนักน้ำมันด้วยความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส, เวลา 120 นาที แล้วแยกสารละลายที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์ตามวิธีการ ASTM D128-98(2003) ดังภาคผนวก ค.4 พบว่ามีปริมาณกลีเซอรอลที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหมูที่สกัดได้ 0.49 มิลลิโมลต่อกรัมของน้ำมันหมู ซึ่งมีอยู่แล้วในธรรมชาติเกิดจากการดำเนินชีวิตและการเจริญเติบโตของหมูและอาจมีกลีเซอรอลบางส่วนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างการให้ความร้อนเพื่อเจียวไขมันหมูสกัดแยกน้ำมัน

ปริมาณกรดไขมันอิสระทดสอบด้วยวิธีการ AOCS Official Method Da 14-48 ดังภาคผนวก ค.5 คือการไตเตรตเพื่อหาจุดสะเทินด้วยสารละลายโซดาไฟ ทำการทดลอง 6 ครั้งโดยใช้ปริมาณน้ำมันทดสอบที่แตกต่างกัน 2 ค่าคือ 1.5 และ 2 กรัม พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระ 1.17 ± 0.01 มิลลิกรัมของโซดาไฟต่อกรัมน้ำมันหมูหรือ 0.03 ± 0.05 มิลลิโมลต่อกรัมน้ำมันหมู ซึ่งเกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิส ระหว่างการให้ความร้อนแก่ไขมันหมูเพื่อสกัดน้ำมันจากไขมันหมูและกรดไขมันอิสระที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติหลังการชำแหละหมู

การวิเคราะห์ปริมาณของสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันตามวิธีการ ASTM D 1965-87(1998) ดังภาคผนวก ค.7 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและเวลา 120 นาที มีปริมาณสาร

ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันที่ละลายอยู่ในชั้นของไดเอทิลอีเทอร์ ร้อยละ 7.77±0.54 ของน้ำมันหมู โดยทำการทดลอง 2 ครั้ง ซึ่งสารเหล่านี้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบอื่นที่ไม่สามารถเกิดเป็นเกลือของกรดไขมันได้เช่น สเตอรอล ฟอสโฟลิปิด สารประกอบไฮโดรคาร์บอน วิตามินต่างๆ หรือไตรกลีเซอไรด์ที่มีโมเลกุลใหญ่

การหาปริมาณความชื้นและสารระเหยที่อยู่ในน้ำมันหมูหาได้ตามวิธีการ ASTM D5556-95(1995) ดังภาคผนวก ค.3 คือการให้ความร้อนแก่น้ำมันหรือไขมันที่อยู่ในภาชนะที่ทราบค่าน้ำหนักโดยใช้อุณหภูมิไม่เกิน 130 องศาเซลเซียสจนหมดความชื้นหรือน้ำหนักของไขมันและน้ำมันคงที่ หาปริมาณของความชื้นและสารระเหยได้จากน้ำหนักของไขมันและน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าน้ำมันหมูที่สกัดได้มีความชื้นและสารระเหยปะปนอยู่เล็กน้อยคือร้อยละ 0.016

วิเคราะห์หาปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูตามวิธีการ (IUPAC (fifth Edition : Method II.C.7)) ดังภาคผนวก ค.6 คือการใช้ตัวทำละลายเบนซีนสกัดแยกไตรกลีเซอไรด์ สารละลายไดเอทิลอีเทอร์และเบนซีนในการสกัดแยกไดกลีเซอไรด์และไดเอทิลอีเทอร์ในการสกัดแยกโมโนกลีเซอไรด์โดยใช้ซิลิกาเจลคอลัมน์แสดงดังตารางที่ 4.2 น้ำมันหมูเริ่มต้นที่สกัดได้มีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลักถึงร้อยละ 87.20 มีองค์ประกอบของไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์เพียงเล็กน้อยคือ ร้อยละ 2.71 และ 0.29 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบในน้ำมันหมูที่สกัดได้

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ปริมาณกลีเซอรอลในน้ำมันหมู	0.49 mmol/ g oil
กรดไขมันอิสระ	0.03 mmol/ g oil
สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน	7.77 %
ความชื้นและสารระเหย	0.016 %
ไตรกลีเซอไรด์	87.20 %
ไดกลีเซอไรด์	2.71 %
โมโนกลีเซอไรด์	0.29 %

4.2 น้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน

เมื่อน้ำมันทำปฏิกิริยากับโซดาไฟอย่างไม่สมบูรณ์จะมีน้ำมันและองค์ประกอบบางส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยากลายเป็นเกลือของกรดไขมันผสมรวมอยู่กับเกลือของกรดไขมันและสารละลายที่เกิดขึ้น จึงแยกน้ำมันและองค์ประกอบบางส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยากลายเป็นเกลือของกรดไขมันออกก่อนนำเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นไปทำปฏิกิริยากับกรดเกลือเพื่อสังเคราะห์กรดไขมัน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้นั้นมีความบริสุทธิ์และไม่มีปริมาณของสารอื่นๆปะปนอยู่ เนื่องจากกรดไขมันที่เกิดขึ้นเป็นสารที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกับน้ำมัน ถ้าไม่มีการแยกน้ำมันและสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกสารเหล่านี้จะปรากฏรวมอยู่กับกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ทำให้กรดไขมันไม่มีความบริสุทธิ์ การแยกน้ำมันและสารอื่นที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันออกจากกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ต้องใช้การกลั่นแยกซึ่งมีความลำบากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากกว่าการแยกน้ำมันและสารอื่นๆที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันออกจากเกลือของกรดไขมันที่มีความเป็นขั้วที่แตกต่างกันก่อนนำไปสังเคราะห์ต่อเป็นกรดไขมัน

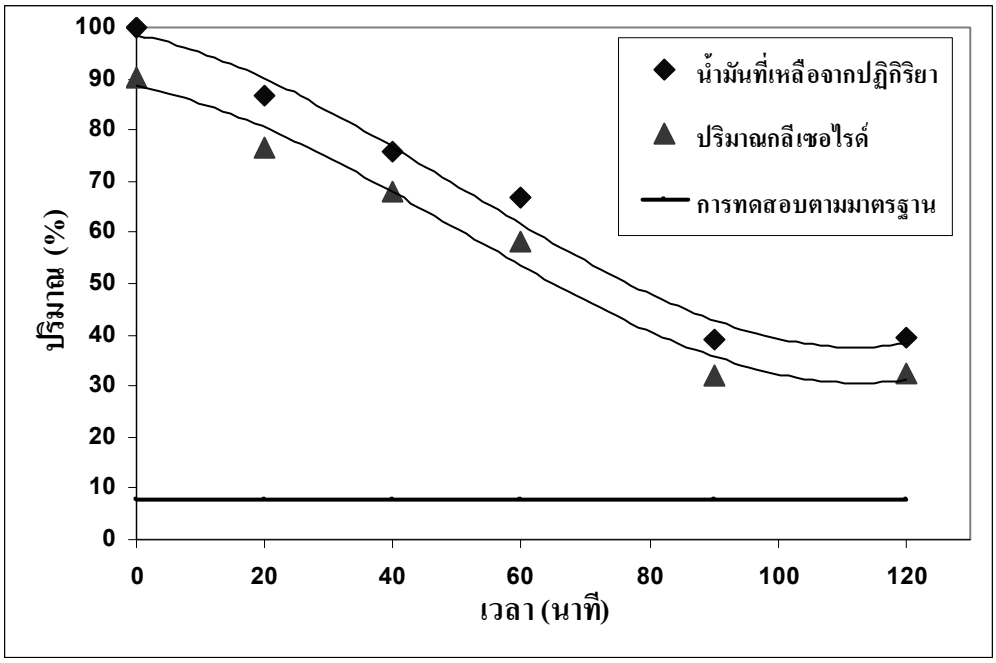
การแยกสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาใช้การสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย 2 ตัว คือเบนซีนและอะซีโตน เกลือของกรดไขมันเป็นสารที่มีขั้วและไม่มีขั้วต่างกับน้ำมันซึ่งเป็นสารที่ไม่มีขั้วเพียงอย่างเดียว จึงใช้ตัวทำละลายที่มีขั้ว(อะซีโตน)และไม่มีขั้ว(เบนซีน)ในการสกัดสารละลายที่เกิดขึ้นให้เป็นสารละลาย 3 ชั้น ชั้นบนคือสารละลายเบนซีนซึ่งมีน้ำมันและองค์ประกอบที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันละลายอยู่ ชั้นกลางสีขาวขุ่นคือสบู่และชั้นล่างสุดคือชั้นของน้ำที่ประกอบด้วยโซดาไฟที่ไม่เกิดปฏิกิริยาและกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา

4.2.1 ปริมาณของน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันที่เวลาต่างๆ

ปริมาณสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันที่สามารถแยกออกได้จากการทดลองที่เวลาต่างกันแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 ปริมาณของสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันจะลดลงเรื่อยๆ หรือในทางกลับกันแสดงว่าน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและสามารถทำปฏิกิริยาจนเหลือสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาได้ต่ำสุดร้อยละ 39.1223 เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที ซึ่งประกอบด้วยกลีเซอไรด์ทั้งหมดที่ไม่เกิดปฏิกิริยาร้อยละ 32.0108

เมื่อพิจารณาถึงการทดสอบหาสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันมาตรฐานตามวิธี ASTM D 1965-87(1998) ดังภาคผนวก ค.7 มีปริมาณร้อยละ 7.77 ถ้าปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันสามารถเกิดอย่างสมบูรณ์กลีเซอไรด์สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งหมดน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาจะมีเพียงร้อยละ 7.77 จากการทดลองพบว่ากลีเซอไรด์บางส่วนไม่สามารถ

เกิดปฏิกิริยาเกิดเป็นเกลือของกรดไขมันประมาณร้อยละ 32.0108 ที่เวลา 90 นาที การยืดเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 120 นาทีไม่สามารถเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาของกลีเซอไรด์ได้



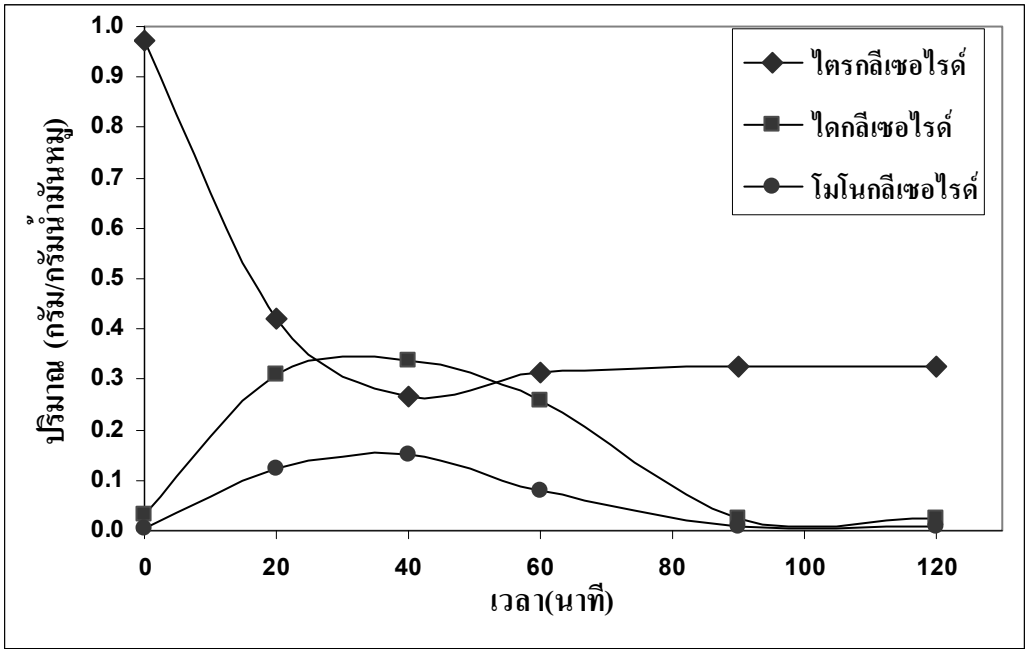
รูปที่ 4.1 ปริมาณน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันที่เวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.3 สมการความสัมพันธ์ของน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยา

ปริมาณ	สมการความสัมพันธ์	R^2
น้ำมันที่เหลือ	$y = 7*10^{-5}x^3 - 0.0101x^2 - 0.2519x + 98.556$	0.9825
กลีเซอไรด์ทั้งหมด	$y = 6*10^{-5}x^3 - 0.0095x^2 - 0.2416x + 88.564$	0.9802

4.2.2 <u>ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์, และโมโนกลีเซอไรด์ ที่ปรากฏในน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันที่สกัดแยกได้จากการทดลอง</u>

นำสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันที่สกัดแยกได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ปริมาณไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ ด้วยวิธีการตาม IUPAC (fifth Edition : Method II.C.7) ดังภาคผนวก ค.6 พบว่าไตรกลีเซอไรด์ที่ถูกใช้ในปฏิกิริยามีอัตราการถูกใช้อย่างรวดเร็วในช่วง 20 นาทีแรกและค่อยๆลดลงจนมีการถูกใช้ในปฏิกิริยาที่สูงที่สุดที่เวลา 40 นาที หลังจาก 40 นาทีไม่มีการเกิดปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์ปริมาณที่ปรากฏจึงมีปริมาณคงที่



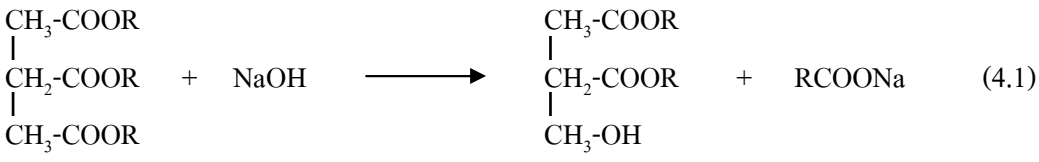
รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ที่ปรากฏในน้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน

ตารางที่ 4.4 สมการความสัมพันธ์ของการเกิดปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ในการสังเคราะห์กรดไขมัน

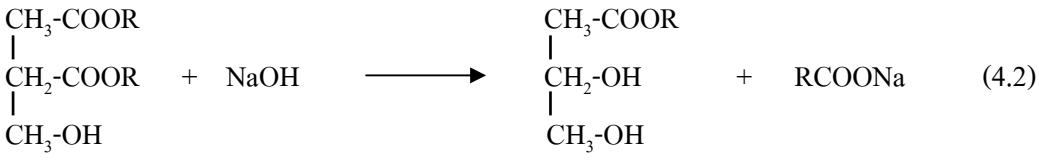
ปริมาณ	สมการความสัมพันธ์	R^2
ไตรกลีเซอไรด์	$y = 2*10^{-6}x^3 - 0.0005x^2 - 0.333x + 0.9526$	0.98
ไดกลีเซอไรด์	$y = 2*10^{-6}x^3 - 0.004x^2 - 0.0213x + 0.0301$	0.9972
โมโนกลีเซอไรด์	$y = 9*10^{-7}x^3 - 0.0002x^2 - 0.0093x + 0.0035$	0.9815

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ นั้นมีลักษณะคล้ายกัน พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น มีอัตราการเกิดอย่างสูงในช่วง 20 นาทีแรก และสูงสุดที่ 40 นาทีหลังจาก 40 นาทีจะค่อยๆลดลงจนมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ที่ปรากฏในน้ำมันหมูเริ่มต้นที่ไม่มีการทำปฏิกิริยาคือร้อยละ 2.71 และ 0.29 ตามลำดับในการทำปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน 90 นาที เมื่อสังเกตเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 120 นาทีพบว่ามีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ที่คล้ายกับการทดลองที่ 90 นาที แสดงว่าการทำปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันโดยใช้เวลา 90 นาทีมีความเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยา

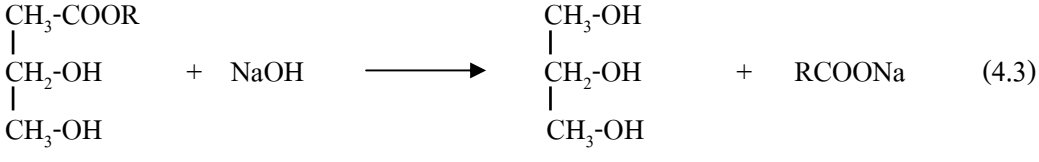
ซึ่งความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ชี้ให้เห็นว่าปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์กับสารโซดาไฟที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นตามแบบขนานดังสมการที่ 2.1 แต่น่าจะเกิดปฏิกิริยาในแบบลูกโซ่คือไตรกลีเซอไรด์จะสลายตัวแล้วเกิดเป็นไดกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้นก็จะสลายตัวเกิดเป็นโมโนกลีเซอไรด์ หลังจากนั้นโมโนกลีเซอไรด์และที่เกิดขึ้นจึงทำปฏิกิริยาต่อเกิดเป็นเกลือของกรดไขมันดังสมการที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 หลังจากนั้นเกลือของกรดไขมันจึงทำปฏิกิริยากับกรดเกลือกลายเป็นกรดไขมันดังสมการที่ 4.4



(ไตรกลีเซอไรด์) (โซดาไฟ) (ไดกลีเซอไรด์) (เกลือของกรดไขมัน) (4.1)



(ไดกลีเซอไรด์) (โซดาไฟ) (โมโนกลีเซอไรด์) (เกลือของกรดไขมัน) (4.2)



(โมโนกลีเซอไรด์) (โซดาไฟ) (กลีเซอรอล) (เกลือของกรดไขมัน) (4.3)

$$\underset{\text{(เกลือของกรดไขมัน)}}{RCOONa} + \underset{\text{(กรดเกลือ)}}{HCl} \longrightarrow \underset{\text{(กรดไขมัน)}}{RCOOH} + \underset{\text{(เกลือโซเดียมคลอไรด์)}}{NaCl} \qquad (4.4)$$

4.3 กรดไขมันและกลีเซอรอล

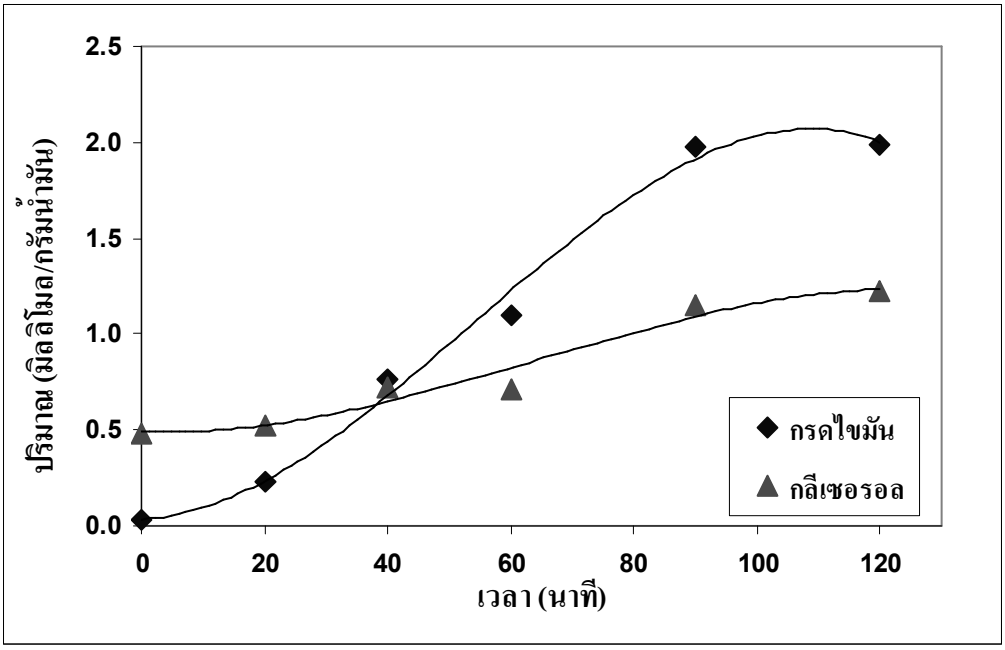
การผลิตประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยาคือการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมูด้วยโซดาไฟและการเปลี่ยนเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นกรดไขมัน ขั้นตอนแรกเริ่มด้วยการกวนน้ำมันหมูกับสารละลายโซดาไฟน้ำหนักเท่ากันผสมน้ำกลั่นปริมาณ 20 เท่าของน้ำมันหมู กวนด้วยเตาแม่เหล็กไฟฟ้า 750 รอบต่อนาที ให้ความร้อนแก่ขวดรูปชมพู่ด้วยอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20, 40, 60, 90 และ 120 นาที หลังจากนั้นแยกน้ำมันและองค์ประกอบที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด คือเบนซีนและอะซีโตน หลังจากทิ้งไว้ให้แยกชั้น ปรากฏสารละลาย 3 ชั้น ชั้นบนคือสารละลายเบนซีนซึ่งมีสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันละลายอยู่ ชั้นกลางสีขาวขุ่นคือสบู่และชั้นล่างสุดคือชั้นของน้ำที่ประกอบด้วยโซดาไฟที่มากเกินพอในการเกิดปฏิกิริยาและกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมู หลังจากนั้นนำเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นมาทำปฏิกิริยาต่อกับกรดเกลือที่มากเกินพอ ซึ่งปฏิกิริยานี้สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อสังเคราะห์กรดไขมัน

4.3.1 ปริมาณของกรดไขมันและกลีเซอรอล

ปริมาณของกรดไขมันและกลีเซอรอลในการทดลองแสดงความสัมพันธ์กับเวลาได้ดังรูปที่ 4.3 น้ำมันหมูที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่เดิม 0.03 มิลลิโมลต่อกรัมน้ำมันและกลีเซอรอล 0.49 มิลลิโมลต่อกรัมของน้ำมัน ในช่วงแรกของการทำปฏิกิริยากรดไขมันจะมีอัตราการสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นอย่างช้า จนกระทั่งเวลาในการทำปฏิกิริยาผ่านไป 40 นาที การสังเคราะห์กรดไขมันจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วขึ้น และสามารถสังเคราะห์กรดไขมันได้สูงสุดที่เวลา 90 นาที ได้ปริมาณกรดไขมัน 1.98 มิลลิโมลต่อกรัมน้ำมันเมื่อให้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นพบว่ากรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ไม่มีความเปลี่ยนแปลงดังที่แสดงในการทดลองที่ 120 นาที แสดงว่าการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 90 นาทีก็มีความเพียงพอแล้ว

เมื่อพิจารณากลีเซอรอลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกับกรดไขมัน คือเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นปริมาณกลีเซอรอลที่สังเคราะห์ได้จะสูงขึ้น แต่อัตราการเกิดของกลีเซอรอลในช่วงแรกนั้นจะมีอัตราการเกิดที่ต่ำกว่ากรดไขมันและจะคงที่เมื่อใช้เวลาใน

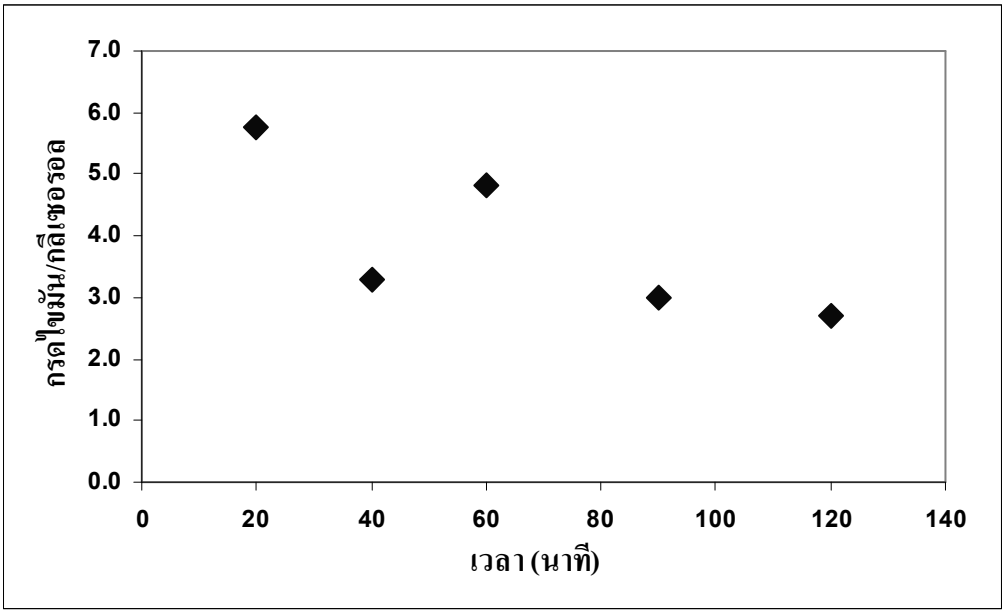
การทำปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน 90 นาที



รูปที่ 4.3 ปริมาณของกรดไขมันและกลีเซอรอลที่เวลาต่างๆ

4.3.2 <u>เปรียบเทียบอัตราส่วนของกรดไขมันและกลีเซอรอลที่เกิดขึ้น</u>

การสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูในแนวทางการเกิดปฏิกิริยาแบบขนานมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 คือการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูและปฏิกิริยาการเปลี่ยนเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นกรดไขมันตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้และปริมาณกลีเซอรอลที่เกิดจากการผลิตเกลือของกรดไขมันจากไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูพบว่า มีอัตราส่วนของกรดไขมันต่อกลีเซอรอลตามทฤษฎีเท่ากับ 3 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของกรดไขมันต่อกลีเซอรอลจากการทดลองที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อัตราส่วนของกรดไขมันต่อกลีเซอรอลจากการทดลองที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างๆ

พบว่าเวลา 60 นาทีแรกมีอัตราส่วนของกรดไขมันต่อกลีเซอรอลมีค่ามากกว่า 3 ซึ่งไม่ตรงตามทฤษฎีในการสังเคราะห์กรดไขมันจากไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูตามปฏิกิริยาแบบขนานสมการที่ 2.2 และ 2.3 แสดงว่าในช่วง 60 นาทีแรกมีอัตราการเกิดกรดไขมันมากกว่าอัตราการเกิดของกลีเซอรอลตามปฏิกิริยาซึ่งสนับสนุนแนวทางการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันแบบลูกโซ่ดังสมการที่ 4.1, 4.2, 4.3 คือไตรกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยากับโซดาไฟได้ไดกลีเซอไรด์และเกลือกรดไขมันอย่างละ 1 โมล จากนั้นไดกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยากับโซดาไฟได้โมโนกลีเซอไรด์และเกลือกรดไขมัน 1 โมล และโมโนกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับโซดาไฟได้ผลิตภัณฑ์คือเกลือกรดไขมันและกลีเซอรอล ซึ่งเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดเกลือเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน จากผลการทดลองอธิบายได้ว่าปฏิกิริยาการเกิดโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์จากไตรกลีเซอไรด์สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งหมดในช่วง 60 นาทีแรก หลังจาก 60 นาทีโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้นจึงทำปฏิกิริยากับโซดาไฟได้ผลิตภัณฑ์กลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนของกรดไขมันต่อกลีเซอรอลจึงมีค่าที่ลดลง เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาผ่านไป 90 นาทีอัตราส่วนของกรดไขมันต่อกลีเซอรอลมีค่าเท่ากับ 2.98 ซึ่งเป็นไปตามปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดไขมันจากไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีสารตั้งต้นเป็นไตรกลีเซอไรด์และสังเคราะห์ได้ผลิตภัณฑ์คือ กรดไขมัน 3 โมล และกลีเซอรอล 1 โมล และอัตราส่วนของกรดไขมันต่อกลี

เซอรอลที่การทดลอง 120 นาที ก็มีอัตราส่วนเท่ากับการทดลองที่ 90 แสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูสามารถเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นกรดไขมันได้สูงสุดเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที

4.4 ความสัมพันธ์ของสารตั้งต้นที่ถูกใช้และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

การตรวจสอบปริมาณของโซดาไฟและกรดเกลือที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมันและผลิตภัณฑ์ของกรดไขมันและเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้น เป็นตัวบ่งชี้ว่าการผลิตกรดไขมันนั้นมีการเกิดปฏิกิริยาที่ถูกต้องหรือไม่ โดยสังเกตปริมาณตามความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันด้วยโซดาไฟและปฏิกิริยาการเปลี่ยนเกลือของกรดไขมันเป็นกรดไขมันดังสมการที่ 2.2 และ 2.3

4.4.1 ปริมาณของโซดาไฟและกรดเกลือที่ใช้ในปฏิกิริยาและกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้

ปริมาณโซดาไฟที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาการเกิดเกลือของกรดไขมันนั้น จะมีความสมนัยกับปริมาณของกรดเกลือที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาการเปลี่ยนกรดไขมันจากเกลือของกรดไขมันดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ คือปริมาณของโซดาไฟจะมีปริมาณเท่ากับกรดเกลือที่ถูกใช้และยังเท่ากับปริมาณกรดไขมันที่เกิดขึ้นด้วยแสดงผลที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณของสารที่ถูกใช้และเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา (มิลลิโมลต่อกรัมของน้ำมันเริ่มต้น)

เวลา (นาที)	สารตั้งต้นที่ถูกใช้		ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น
	โซดาไฟ	กรดเกลือ	กรดไขมัน
20	0.34	0.28	0.23
40	1.23	0.78	0.77
60	1.69	1.19	1.10
90	2.00	2.05	1.98
120	2.22	2.12	1.99

เมื่อพิจารณาปริมาณของโซดาไฟและกรดเกลือที่ใช้ในปฏิกิริยาพบว่ามีการใช้โซดาไฟที่มากกว่าเล็กน้อยซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากความเคลื่อนของการใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ที่มีจุดยุติที่ค่า pH 8.3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าจุดยุติของการไตเตรตโซดาไฟและกรดเกลือซึ่งเป็นเบสแก่และกรดแก่

การไตเตรตโซดาไฟที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจึงมีค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริงตามทฤษฎี การคำนวณหาปริมาณโซดาไฟที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาจึงมีความคลาดเคลื่อนที่สูงตามและเมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของกรดเกลือที่ใช้ในปฏิกิริยาและกรดไขมันที่เกิดขึ้นก็มีความสัมพันธ์ที่สมนัยกัน

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงตามเวลาพบว่าเมื่อเวลาดำเนินไปเรื่อยปริมาณของโซดาไฟและกรดเกลือที่ถูกใช้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเวลาผ่านไป 90 นาที ปริมาณของโซดาไฟและกรดเกลือที่ถูกใช้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที แสดงว่าเวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาทีมีความเพียงพอในการทำปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมู ถ้าพิจารณาปริมาณของกรดไขมันก็พบว่ามีผลการทดลองไปในแนวทางเดียวกันคือเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันมากขึ้น

4.4.2 ปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้น

ปริมาณของโซดาไฟและกรดเกลือที่เหลือจากปฏิกิริยานั้นจะถูกสะเทินให้เป็นกลางด้วยกรดเกลือและสารละลายโซดาไฟตามลำดับ จึงสามารถตรวจสอบปริมาณของโซดาไฟและกรดเกลือที่ใช้ได้โดยตรวจสอบปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้นซึ่งเกิดจากการสะเทินทั้งสองปฏิกิริยาและการสังเคราะห์กรดไขมัน ด้วยวิธีการระเหยสารละลายที่เกิดขึ้นในภาชนะที่ทราบค่าน้ำหนักด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ตรวจสอบได้ควรมีค่าเท่ากับปริมาณของโซดาไฟและกรดเกลือที่ป้อนเข้าไปในปฏิกิริยา แสดงปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ตรวจสอบได้ดังตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้นมีความสมนัยกับปริมาณกรดเกลือและโซดาไฟที่ป้อนเข้าไปในปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ตรวจสอบได้

เวลา	น้ำหนัก	ปริมาณ	ปริมาณที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด(มิลลิโมล)	
(นาที)	(กรัม)	(มิลลิโมล)	โซดาไฟ	กรดเกลือ
20	8.93	152.72	153.56	153.26
40	8.69	148.65	151.06	149.83
60	8.75	149.65	149.15	148.59
90	8.52	145.59	145.01	145.23
120	8.42	144.04	143.90	143.38

4.4.3 ความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นกับน้ำมันหมูเริ่มต้นที่ใช้ทำปฏิกิริยา

การเปลี่ยนแปลงของกลีเซอไรด์ในการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดไขมันเป็นไปตามปฏิกิริยา 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์เป็นปฏิกิริยาแบบลูกโซ่คือไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยาได้ไดกลีเซอไรด์และกรดไขมัน หลังจากนั้นไดกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อได้โมโนกลีเซอไรด์และกรดไขมันอีก 1 โมเลกุล โมโนกลีเซอไรด์จึงทำปฏิกิริยาต่อเกิดเป็นกรดไขมันอีก 1 ปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดไตรกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุลจะสังเคราะห์กรดไขมันได้ 3 โมเลกุลและกลีเซอรอล 1 โมเลกุล น้ำหนักของน้ำมันที่เหลือจากการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคือกลีเซอรอลและกรดไขมันที่เวลาต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 น้ำหนักของผลิตภัณฑ์รวมทั้งหมดที่ตรวจสอบได้จากการทดลองที่เวลาต่างๆ ต่อน้ำหนักน้ำมันหมูเริ่มต้น

เวลา	น้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยา	กรดไขมัน	กลีเซอรอล	น้ำหนักรวม	เปลี่ยนแปลง (%)
20	0.8990	0.0648	0.0036	0.9674	-3.26
40	0.7582	0.2202	0.0214	0.9998	-0.02
60	0.6676	0.3155	0.0211	1.0042	0.42
90	0.3912	0.5670	0.0611	1.0193	1.93
120	0.3933	0.5697	0.0676	1.0305	3.05

เมื่อพิจารณาถึงการเกิดปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลในเงื่อนไขว่าน้ำมันหมูประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ทั้งหมด ไตรกลีเซอไรด์มีมวลโมเลกุลเฉลี่ย 898.08 สามารถสังเคราะห์ได้มวลโมเลกุลของกรดไขมันเฉลี่ย 286.67 จำนวน 3 โมเลกุล และมวลโมเลกุลของกลีเซอรอล 92.09 จำนวน 1 โมเลกุล ซึ่งพบว่าถ้าไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาได้ทั้งหมดนั้นอัตราส่วนน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นต่อไตรกลีเซอไรด์จะมีค่าเท่ากับ 1.0602 หรือมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.02

$$\text{ผลิตภัณฑ์รวม / ไตรกลีเซอไรด์} = \frac{3(286.67) + 92.09}{898.08} = 1.0602$$

จากตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบได้จากการทดลอง คือกรดไขมัน กลีเซอรอลและน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันเมื่อเทียบกับน้ำมันเริ่มต้น ที่เวลา 90 และ 120 นาทีพบว่ามีน้ำหนักผลิตภัณฑ์เทียบกับน้ำมันเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ซึ่งเพิ่มขึ้นจากน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาของการใช้โซดาไฟและกรดเกลือ ที่รวมเข้าไปอยู่ในโมเลกุลของกรดไขมันและกลีเซอรอลที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สามารถเพิ่มขึ้นได้สูงสุดร้อยละ 6.02 ของน้ำมันเริ่มต้นหากกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาได้ทั้งหมด แต่ในความเป็นจริงนั้นน้ำมันหมูประกอบด้วยสารประกอบอื่นๆมากมายที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับโซดาไฟเป็นเกลือของกรดไขมันได้ จากการทดลองพบว่ากลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูสามารถเกิดปฏิกิริยาได้สูงสุดร้อยละ 60.88 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนั้นจึงมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 3.05

เมื่อพิจารณาการทดลองที่เวลา 20 และ 40 นาทีพบว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบได้นั้นลดลง อาจเกิดจากการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทดลองเนื่องจากขั้นตอนในการผลิตที่ประกอบด้วยขั้นตอนถึง 3 ขั้นตอนประกอบด้วยการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน การแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาและการเปลี่ยนเกลือของกรดไขมันเป็นกรดไขมัน ซึ่งต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ในการดำเนินการแต่ละขั้นตอนทำให้น้ำหนักของสารอาจหลุดหายไปกับเครื่องแก้วได้มาก และปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นก็มีปริมาณที่น้อยทำให้ขั้นตอนการระเหยตัวทำละลายหรือการชั่งน้ำหนักเกิดความผิดพลาดได้ง่าย

4.5 กรดไขมันที่สังเคราะห์ได้

เมื่อน้ำมันทำปฏิกิริยากับโซดาไฟจะมีน้ำมันและองค์ประกอบบางส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยากลายเป็นเกลือของกรดไขมันผสมรวมอยู่กับเกลือของกรดไขมันและสารละลายที่เกิดขึ้น จึงต้องสกัดแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันนั้นออกก่อนนำเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นไปทำปฏิกิริยากับกรดเกลือเพื่อสังเคราะห์กรดไขมัน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้นั้นมีความบริสุทธิ์และไม่มีปริมาณของสารอื่นๆปะปนอยู่เนื่องจากกรดไขมันที่เกิดขึ้นเป็นสารที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกับน้ำมัน การแยกน้ำมันและสารอื่นๆที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันออกจากกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ต้องใช้การกลั่นแยกซึ่งมีความลำบากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากกว่า การแยกน้ำมันและสารอื่นๆที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันออกจากเกลือของกรดไขมันที่มีความเป็นขั้วที่แตกต่างกันก่อนนำไปสังเคราะห์ต่อเป็นกรดไขมัน

การสกัดแยกใช้ตัวทำละลาย 2 ตัว คือเบนซีนและอะซีโตน เนื่องจากเกลือของกรดไขมันเป็นสารที่มีขั้วและไม่มีขั้วต่างกับน้ำมันซึ่งเป็นสารที่ไม่มีขั้วเพียงอย่างเดียว จึงต้องใช้ตัวทำละลาย

ที่มีขั้ว(อะซีโตน)และไม่มีขั้ว(เบนซีน)ในการสกัดสารละลายที่เกิดขึ้นให้เป็นสารละลาย 3 ชั้น ชั้นบนคือสารละลายเบนซีนซึ่งมีน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันละลายอยู่ ชั้นกลางสีขาวขุ่นคือสบู่ และชั้นล่างสุดคือชั้นของน้ำที่ประกอบด้วยโซดาไฟที่ไม่เกิดปฏิกิริยาและกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ปริมาณของน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันแสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัมต่อกรัมน้ำมัน)	ปริมาณ (มิลลิโมลต่อกรัมของน้ำมัน)	มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน
20	0.07	0.23	289.68
40	0.20	0.77	265.20
60	0.32	1.10	287.57
90	0.59	1.98	301.75
120	0.57	1.99	287.37

ปริมาณกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้จะเพิ่มมากขึ้นตามเวลาและสามารถสังเคราะห์กรดไขมันได้สูงสุดเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที สามารถคำนวณมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันดังภาคผนวก ง มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันเฉลี่ยทั้ง 5 การทดลองที่เวลาต่างกัน มีค่าเท่ากับ 286.67 ± 13.21 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงกรดไขมันของน้ำมันหมูซึ่งคำนวณจากองค์ประกอบที่รายงานไว้ได้ดังภาคผนวก ฉ

4.6 กรดไขมันที่ผลิตได้หากไม่มีขั้นตอนการแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาออกก่อนนำมาทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ

หากการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันหมูไม่มีขั้นตอนการสกัดแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันออกจากเกลือของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ด้วยตัวทำละลายเบนซีนและอีเทอร์ แต่นำสารละลายของเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นทั้งหมดนั้นมาทำปฏิกิริยาการเปลี่ยนเกลือของกรดไขมันด้วยกรดเกลือ พบว่ากรดไขมันที่สังเคราะห์ได้นั้นจะรวมอยู่กับน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันไม่สามารถแยกออกได้ เนื่องจากมีความไม่มีขั้วเหมือนกัน สามารถคำนวณมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันจากการทดลองได้จากข้อมูลปริมาณของกรดไขมันที่เกิดขึ้นและน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน ซึ่งแสดงการคำนวณมวลโมเลกุลของกรดไขมันเฉลี่ยได้ดังภาคผนวก จ แสดงมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันจากการทดลองเวลาต่างๆได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 มวลโมเลกุลของกรดไขมันที่คำนวณได้หากไม่มีการแยกสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน

เวลา	มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน
20	3791.58
40	1154.86
60	826.48
90	461.17
120	446.51

มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ในกรณีที่ไม่มีการน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันออกจากเกลือของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ จะมีมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันสูงถึง 3791.58 ที่เวลา 20 นาทีและมีค่าต่ำสุดที่ 446.51 สำหรับการทดลองที่เวลา 120 นาที ถ้าพิจารณาถึงการทดลองที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพียงพอคือการทดลองที่เวลา 90 และ 120 นาที กรดไขมันที่สังเคราะห์ได้มีมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน 453.85 เมื่อเปรียบเทียบกับมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันที่ได้จากการคำนวณโดยใช้องค์ประกอบของกรด

ไขมันที่ USDA Nutrient database รายงาน แสดงวิธีการคำนวณดังภาคผนวก ฉ มีค่าเท่ากับ 274.97 พบว่ามวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่ามาก ซึ่งแสดงถึงความไม่บริสุทธิ์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้

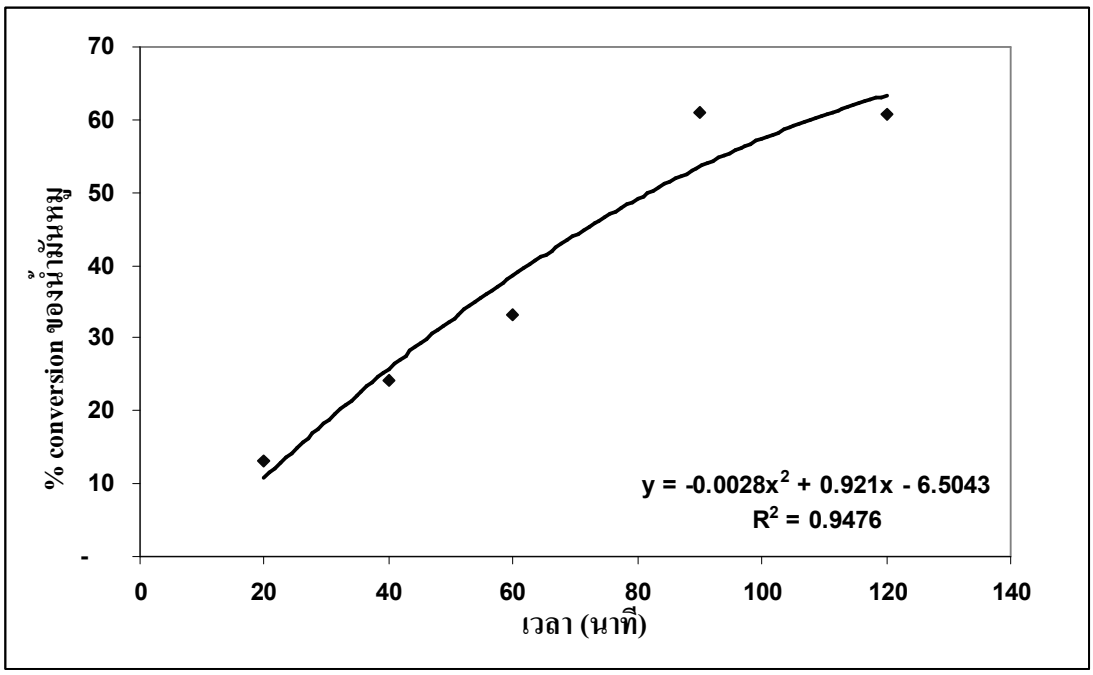
เมื่อพิจารณากรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยที่มีขั้นตอนการสกัดแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากเกลือของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้พบว่า มีมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน 286.67± 13.21 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันหมูที่มีมวลโมเลกุลของกรดไขมันเฉลี่ย 274.97 แสดงถึงความบริสุทธิ์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยที่มีสารเจือปนที่น้อยกว่าการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันหมูที่ไม่มีขั้นตอนการแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันซึ่งมีมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน 453.8

เมื่อพิจารณากรดไขมันที่ได้จากการทดลองที่เวลาต่างกันกรดไขมันที่สังเคราะห์นั้นก็มีคุณภาพที่สม่ำเสมอโดยพิจารณาจากความแกว่งของข้อมูล(ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 13.21)ที่น้อยกว่าการทดลองที่ไม่แยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาออกเกลือของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ซึ่งมีมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันสูงสุดถึง 3791.58 ที่การใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน 20 นาทีและมีมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันต่ำสุด 446.51 ที่การทดลอง 120 นาที

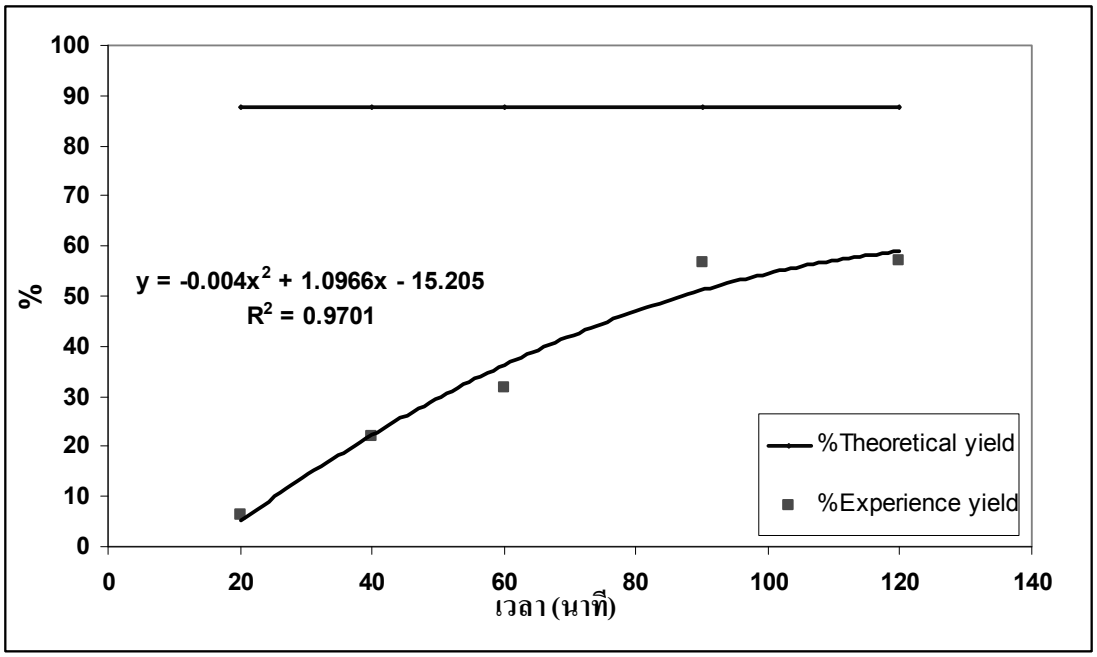
ขั้นตอนการแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันออกจากเกลือของกรดไขมันโดยใช้การสกัดแยกด้วยตัวทำละลายเบนซีนและอะซีโตนก่อนนำเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นไปสังเคราะห์กรดไขมันด้วยกรดเกลือ จึงมีส่วนสำคัญต่อคุณภาพและความบริสุทธิ์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้

4.7 สัดส่วนของน้ำมันหมูที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาและกรดไขมันที่สกัดได้

จากการทดลองทั้ง 5 ทดลองมีมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน 286.67 ± 13.21 สามารถคำนวณหามวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ของน้ำมันหมูได้ดังนี้ 898.07, 681.44 และ 416.77 ตามลำดับ (แสดงวิธีการคำนวณดังภาคผนวก ง) เมื่อนำองค์ประกอบกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูและมวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์,ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์มาคำนวณสามารถหามวลโมเลกุลเฉลี่ยของกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูได้เท่ากับ 889.99 เท่ากับว่าในน้ำมันหมู 1 กรัมมีปริมาณของกลีเซอไรด์เฉลี่ย 1.01 มิลลิโมลซึ่งแสดงตัวอย่างการคำนวณดังภาคผนวก ง



รูปที่ 4.5 ร้อยละของน้ำมันที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4.6 % yield ในการทดลองของกรดไขมันเปรียบเทียบกับ % yield ที่สามารถคำนวณได้ทางทฤษฎี

สามารถหาร้อยละองค์ประกอบของน้ำมันที่ถูกใช้และร้อยละองค์ประกอบของการเกิดกรดไขมันและกลีเซอรอลได้ดังรูปที่ 4.5 พบว่าการเกิดปฏิกิริยาของน้ำมันหมูดีขึ้นเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นและสามารถเกิดปฏิกิริยาได้สูงสุดที่เวลา 90 นาที มีร้อยละองค์ประกอบของน้ำมันที่ ถูกใช้ 60.88

น้ำมันหมูมีองค์ประกอบหลักคือไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันได้แต่ก็ยังประกอบด้วยสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันร้อยละ 7.77 ซึ่งเป็นสารจำพวกสเตอรอล ฟอสโฟลิปิด สารไฮโดรคาร์บอน และวิตามินต่างๆ การคำนวณหาอัตราการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันหมูแสดงดังภาคผนวก ง แสดงผลถึงการเกิดที่เวลาต่างๆดังรูปที่ 4.6 พบว่าน้ำมันหมูสามารถสังเคราะห์กรดไขมันได้สูงสุดร้อยละ 87.53 จากการทดลองพบว่าการสังเคราะห์กรดไขมันจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและสูงสุดที่เวลา 90 นาที สามารถสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันได้สูงสุดร้อยละ 56.69

กรดไขมันที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณสูงสุดที่สามารถสังเคราะห์ได้ตามทฤษฎีเนื่องจากการเพิ่มขั้นตอนการแยกน้ำมันและสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันโดยใช้การสกัดแยกด้วยตัวทำละลายเบนซีนและอะซีโตนซึ่งเข้าไปอาจเกิดจากเกลือของกรดไขมันบางส่วนที่เกิดขึ้นอาจไปรวมอยู่สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาในการใช้การสกัดแยกด้วยตัวทำละลายเนื่องมาจากชนิดตัวทำละลายหรือการใช้ตัวทำละลายในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดปริมาณกรดไขมันที่น้อยที่ควรจะได้จากการคำนวณ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การสกัดน้ำมันจากไขมันหมูสามารถสกัดได้ปริมาณน้ำมันหมูร้อยละ 62 กากไขมันหมูร้อยละ 17.7

2. น้ำมันหมูที่สกัดได้มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.893 ที่อุณหภูมิห้องและมีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.907 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและมีจุดหลอมเหลวที่ 42.33 องศาเซลเซียส

3. น้ำมันหมูที่สกัดได้ประกอบด้วยหลายองค์ประกอบคือ กลีเซอรอลในน้ำมันเริ่มต้น 2.42 มิลลิโมลต่อกรัมของน้ำมันหมู, กรดไขมันอิสระ 0.03 มิลลิโมลต่อกรัมของน้ำมันหมู, สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันซึ่งใช้การสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์ร้อยละ 7.77 ของน้ำมันหมู และมีองค์ประกอบกลีเซอไรด์ดังนี้ ไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 87.20 ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์เพียงเล็กน้อยคือ ร้อยละ 2.77 และ 0.30 ตามลำดับ

4. การสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันจากน้ำมันหมูที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส, การกวน 750 รอบต่อนาทีและใช้ปริมาณโซดาไฟน้ำหนักเท่ากับน้ำมันหมู ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 90 นาที

5. การเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมันหมูในปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันมีลักษณะเป็นปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ดังสมการที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ คือไตรกลีเซอไรด์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นไดกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาเป็นโมโนกลีเซอไรด์ และเกิดปฏิกิริยากับโซดาไฟได้ผลิตภัณฑ์คือ เกลือของกรดไขมันและกลีเซอรอล

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้สามารถสังเคราะห์กรดไขมันจากกลีเซอไรด์ในไขมันหมูได้ร้อยละ 58.99 ในการนำงานวิจัยครั้งนี้ไปใช้ในการกระบวนการผลิตควรมีการศึกษาพัฒนากระบวนการบางขั้นตอนให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นก่อนนำไปใช้ในการผลิตทางการค้า เช่นการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิอเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา

2. กระบวนการแยกสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันในงานวิจัยนี้ใช้เบนซีนและอะซีโตนสกัดแยกเพียงครั้งเดียวจึงอาจสกัดแยกได้ไม่มากนัก ควรมีการศึกษาถึงวิธีการสกัดแยกน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมันที่เหมาะสมโดยเพิ่มจำนวนครั้งของการสกัด เปลี่ยนชนิดตัวทำละลายหรือเปลี่ยนสัดส่วนของตัวทำละลายเพื่อการสกัดแยกที่ดีขึ้น

2. งานวิจัยนี้ทำการทดลองในอุปกรณ์ขนาดเล็ก ซึ่งไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้งานได้โดยตรงในการผลิตทางการค้า ควรทำการทดลองเพิ่มเติมโดยขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้น เพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการผลิตทางการค้า ซึ่งการทดลองในระดับใหญ่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ตาม

3. งานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้นำกรดไขมันที่ได้ไปใช้งานต่อ จึงมีการใช้อินดิเคเตอร์เพื่อกำจัดโซดาไฟและกรดเกลือที่เหลือจากปฏิกิริยา ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถแยกอินดิเคเตอร์ออกได้หลังจบกระบวนการ แต่เนื่องจากอินดิเคเตอร์ที่ใส่ไปนั้นมีปริมาณเพียงเล็กน้อยและไม่ส่งผลต่อปฏิกิริยาในกระบวนการ การนำข้อมูลไปใช้ในการผลิตกรดไขมันจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้ อินดิเคเตอร์เพราะผลจะมีการปะปนในผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

รายการอ้างอิง

[1] Ting Kueh Soon. An overview of the asean oleochemical market. Malaysian Oil Science and Technology. 10(2001) : 59-71.

[2] Karlheinz Hill. Fats and oils as oleochemical raw materials. Pure Appl. Chem. 72(2000) : 1255-1264.

[3] นิธิยา รัตนาปนนท์. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน : โอเดียนสโตร์, 2548.

[4] ศศิเกษม ทองยงค์, พรรณี เดชกำแหง. เคมีอาหารเบื้องต้น : โอเดียนสโตร์, 2530.

[5] คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

[6] R.J. Hamilton. Development in Oils and Fat : Chapman & Halls, 1995.

[7] Frank A. Norris. Extraction of fats and oils. In D.Swern (ed.), Bailey's Industrial Oil and Fat Products (third ed.), pp.637-718. United States : John Wiley & Sons, 1964.

[8] Daniel Swern. Composition and characteristic of individual fats and oils. In D.Swern (ed.), Bailey's Industrial Oil and Fat Products (third ed.), pp.165-247. United States : John Wiley & Sons, 1964.

[9] ทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ. คู่มือนักกิน : บริษัท แกลเลอรี มีเดีย แอนด์ โปรดักส์ จำกัด, 2535.

[10] K. Nürnberg, J. Wegner, and K. Ender. Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals. Livestock Production Science. (56)1998 : 145-156.

[11] Charlie Scrimgeour. Chemistry of fatty acids . In Fereidoon Shahidi (ed.), Bailey's Industrial Oil and Fat Products (Sixth ed.), pp.1-43. United States : John Wiley & Sons, 2005.

[12] Jerry F. P.Red, Juan B. Ilagan. Fatty Acid Recovery From Soapstock. United States Patent. 4,118,407, 1997.

[13] C. Frank Phillips, Dwight E. Leavens. Process for Obtaining Free Fatty Acids from Soap Stock. United States Patent. 4,100,181, 1997.

[14] Douglas G. H., Kenneth D. C., and Robert K. The isolation of hydroxy acids from lesquerella oil lopolysate by a saponification/extraction technique. JAOCS. 73(1996) : 1113-1119.

[15] D.B Todd, and j.B. Morren. Continuous soapstock acidulation. Am. Oil Chemists' Soc.. 42(1965) :172A-178A.

[16] Samuel lepkovsky, Roy A. Ouer, Herbert M. Evans. The nutritive value of the fatty acids of lard and some of their esters. The journal of biological chemistry. (November 1934) :431-438.

[17] María D. Virto, Isabel Agudt, Sol Montero, Alicia Blanco, Rodoifo Solozabalt, José M. Lascaray, María J. LlamaS, Juan L. Serra, L. Carlos Landetat, and Mertxe de Renobales. 1994. Hydrolysis of animal fats by immobilized Candida rugosa lipase. Enzyme Microb. Technol. 16(January 1994) : 61-65.

[18] Mertxe de Renobales, I. Agud, J. M. Lascaray, J. C. Múgica, L. C. Landeta and R. Solozábal, Hydrolysis of animal fats by lipase at temperature below their melting point. Biotechnology letters. 14(August 1992) : 683-688.

[19] C. Paquot. IUPAC: Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives : Pergamon press, 1979.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ก.1 การสกัดน้ำมันที่ได้จากไขมันหมู 500 กรัม

ตารางที่ ก.1 องค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จากการเคี่ยว

องค์ประกอบ	น้ำหนัก(กรัม)	ร้อยละ
น้ำมันหมู	310	62
กากหมู	88	17.6
น้ำและสารระเหยอื่นๆ	102	20.4

ก.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของน้ำมันหมู

ขวดวัดความหนาแน่น น้ำหนัก 16.634 กรัม, ปริมาตร 9.977 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของน้ำมันหมู

อุณหภูมิ	ครั้งที่	ความถ่วงจำเพาะ
อุณหภูมิห้อง (31 องศาเซลเซียส)	1	0.907
	2	0.907
	3	0.908
	ค่าเฉลี่ย	**0.907**
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**0.001**
60 องศาเซลเซียส	1	0.894
	2	0.893
	3	0.892
	ค่าเฉลี่ย	**0.893**
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**0.001**

ก.3 การทดสอบจุดหลอมเหลวของน้ำมันหมู

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบจุดหลอมเหลวของน้ำมันหมู

ครั้งที่	จุดหลอมเหลว(องศาเซลเซียส)
1	42.00
2	43.00
3	42.00
ค่าเฉลี่ย	**42.33**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**0.57**

ก.4 การทดสอบความชื้นและสารระเหยที่อยู่ในน้ำมันหมู

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบความชื้นและสารระเหยที่อยู่ในน้ำมัน

ครั้งที่	น้ำมันรวมบีกเกอร์(กรัม)		บีกเกอร์	น้ำมัน(กรัม)		ปริมาณน้ำและสารระเหย
	ก่อน	หลัง	(กรัม)	ก่อน	หลัง	(ร้อยละ)
1	123.0631	123.0620	103.0585	20.0046	20.0035	0.0055
2	122.4680	122.4627	102.4575	20.0105	20.0052	0.0265
					ค่าเฉลี่ย	**0.0160**
					ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**0.0148**

ก.5 การทดสอบหาปริมาณกลีเซอรอลในน้ำมันหมูเริ่มต้น

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบหาปริมาณกลีเซอรอลในน้ำมันหมูเริ่มต้น

ครั้งที่	น้ำมัน (กรัม)	สารละลาย (มิลลิลิตร)	สารละลายโซดาไฟ			ปริมาณกลีเซอรอลในน้ำมันหมู
			ความเข้มข้น	ปริมาตร	ปริมาณ	
			(โมล/ลิตร)	(มิลลิลิตร)	(มิลลิโมล)	(มิลลิโมล/กรัมน้ำมัน)
1	5.0475	153	0.0495	3.20	2.4235	0.48
2	5.0635	160	0.0496	3.15	2.4948	0.49
					ค่าเฉลี่ย	**0.49**
					ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**0.01**

ก.6 การทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันหมูเริ่มต้น

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันหมูเริ่มต้น

ครั้งที่	น้ำมัน(กรัม)	สารละลายโซดาไฟ			ปริมาณกรดไขมันอิสระ
		ความเข้มข้น	ปริมาตร	ปริมาณ	
		(โมล/ลิตร)	(มิลลิลิตร)	(มิลลิโมล)	(มิลลิโมล/กรัมน้ำมัน)
1	1.5011	0.0601	0.70	1.6813	0.03
2	1.5088	0.0601	0.70	1.6813	0.03
3	1.5045	0.0601	0.70	1.6813	0.03
1	2.0178	0.0601	1.00	2.4018	0.03
2	2.0024	0.0601	1.00	2.4018	0.03
3	2.0060	0.0601	0.90	2.1616	0.03
				ค่าเฉลี่ย	**0.03**
				ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**0.0012**

ก.7 การทดสอบหาปริมาณสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบหาปริมาณสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน

ครั้งที่	น้ำมัน	สารละลายโซดาไฟเริ่มต้น			สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน		
		ความเข้มข้น	ปริมาตร	ปริมาณ	(กรัม)	(กรัม/น้ำมันหมู)	ร้อยละ
		(โมล/ลิตร)	(มิลลิลิตร)	(มิลลิโมล)			
1	5.0643	6.3987	19.60	125.4145	0.3742	0.0739	7.3890
2	5.1074	6.3987	19.60	125.4145	0.4163	0.0815	8.1509
						ค่าเฉลี่ย	**7.7699**
						ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**0.5388**

ก.8 การทดสอบหาปริมาณไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูเริ่มต้น

ปริมาณน้ำมันหมูที่ใช้ทดสอบ 1.0186 กรัม

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบหาปริมาณไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูเริ่มต้น

องค์ประกอบ	ปริมาณ	
	(กรัม)	ร้อยละ
ไตรกลีเซอไรด์	0.8883	87.20
ไดกลีเซอไรด์	0.0276	2.71
โมโนกลีเซอไรด์	0.0030	0.29

ภาคผนวก ข

ข.1 ปริมาณโซดาไฟเริ่มต้นที่ใช้ในปฏิกิริยาสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน

ตารางที่ ข.1 ปริมาณโซดาไฟเริ่มต้น

เวลา	น้ำมัน	สารละลายโซดาไฟเริ่มต้น		
		ความเข้มข้น	ปริมาตร	ปริมาณ
(นาที)	(กรัม)	(โมล/ลิตร)	(มิลลิลิตร)	(มิลลิโมล)
20	5.0321	6.0947	20.50	124.94
40	5.0133	6.0947	20.50	124.94
60	5.0056	6.1995	20.17	125.04
90	5.0038	6.3254	19.80	125.24
120	5.0211	6.2190	20.10	125.00

ข.2 ปริมาณของโซดาไฟที่ใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน

ตารางที่ ข.2 การกำจัดโซดาไฟที่มากเกินพอจากปฏิกิริยาด้วยกรดเกลือ

เวลา	กำจัดโซดาไฟด้วยกรดเกลือ			ปริมาณโซดาไฟที่ถูกใช้	
	ความเข้มข้น	ปริมาตร	ปริมาณ		
(นาที)	(โมล/ลิตร)	(มิลลิลิตร)	(มิลลิโมล)	(มิลลิโมล)	(มิลลิโมลต่อกรัมของน้ำมัน)
20	1.5306	80.50	123.21	1.72	0.34
40	1.5229	78.00	118.78	6.15	1.23
60	1.4587	79.90	116.55	8.49	1.69
90	1.4753	78.10	115.22	10.01	2.00
120	1.4587	78.05	113.85	11.14	2.22

ข.3 ปริมาณกรดเกลือเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตกรดไขมัน

ตารางที่ ข.3 ปริมาณกรดเกลือเริ่มต้นที่ใช้ในปฏิกิริยาเอซิดดูเลชั่น(Acidulation)

เวลา	กรดเกลือเริ่มต้น		
	ความเข้มข้น	ปริมาตร	ปริมาณ
(นาที)	(โมล/ลิตร)	(มิลลิลิตร)	(มิลลิโมล)
20	2.3292	12.90	30.05
40	2.3292	12.90	30.05
60	1.4587	20.60	30.05
90	1.4639	20.50	30.01
120	1.4476	20.40	29.53

ข.4 ปริมาณของกรดเกลือที่ใช้ในปฏิกิริยาการผลิตกรดไขมัน

ตารางที่ ข.4 การกำจัดกรดเกลือที่มากเกินพอด้วยโซดาไฟ

เวลา	กำจัดกรดเกลือด้วยโซดาไฟ			ปริมาณกรดเกลือที่ถูกใช้	
	ความเข้มข้น	ปริมาตร	ปริมาณ		
(นาที)	(โมล/ลิตร)	(มิลลิลิตร)	(มิลลิโมล)	(มิลลิโมล)	(มิลลิโมลต่อกรัมของน้ำมัน)
20	0.9605	29.80	28.62	1.42	0.28
40	0.9605	27.20	26.12	3.92	0.78
60	0.9923	24.30	24.11	5.93	1.19
90	0.9790	20.20	19.77	10.23	2.05
120	0.9692	19.50	18.89	10.63	2.12

ข.5 ปริมาณกรดไขมันที่เกิดขึ้น

ตารางที่ ข.5 ปริมาณกรดไขมันที่เกิดขึ้น

เวลา	น้ำหนัก	ปริมาณ		มวลโมเลกุล
(นาที)	(กรัม)	(มิลลิโมล)	(มิลลิโมลต่อกรัมของน้ำมัน)	
20	0.3294	1.13	0.23	289.68
40	1.0211	3.85	0.77	265.20
60	1.5843	5.51	1.10	287.57
90	2.9864	9.89	1.98	301.75
120	2.8673	9.98	1.98	287.37
			ค่าเฉลี่ย	**286.68**
			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**13.21**

ข.6 ปริมาณกลีเซอรอล

ปริมาณกลีเซอรอลที่ตรวจสอบนั้นประกอบด้วยกลีเซอรอลที่มีอยู่เดิมในน้ำมันหมูเริ่มต้น 0.49 มิลลิโมล/กรัมน้ำมันหมู

ตารางที่ข.6 ปริมาณกลีเซอรอลที่เกิดขึ้น

เวลา	กลีเซอรอล		
	ปริมาณ		ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา
(นาที)	(มิลลิโมล)	(มิลลิโมล/กรัมของน้ำมัน)	(มิลลิโมล/กรัมของน้ำมัน)
20	2.6	0.53	0.04
40	3.6	0.72	0.23
60	3.59	0.72	0.23
90	5.75	1.15	0.66
120	6.12	1.22	0.73

ข.7 ปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ตรวจสอบได้

ตารางที่ ข.7 ปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ตรวจสอบได้

เวลา	น้ำหนัก	ปริมาณ	คำนวณจากปริมาณที่ใช้ทั้งหมด(มิลลิโมล)	
(นาที)	(กรัม)	(มิลลิโมล)	โซดาไฟ	กรดเกลือ
20	8.9344	152.7248	153.5643	153.2614
40	8.6964	148.6564	151.0670	149.8359
60	8.7549	149.6557	149.1568	148.5993
90	8.5175	145.5983	145.0186	145.2349
120	8.4268	144.0479	143.9009	143.3823

ข.8 ปริมาณน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน

ตารางที่ ข.8 ปริมาณน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน

เวลา	น้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เกลือของกรดไขมัน	
(นาที)	(กรัม)	(กรัม/กรัมของน้ำมัน)
20	4.3730	0.8990
40	3.8011	0.7582
60	3.3416	0.6676
90	1.9576	0.3912
120	1.9746	0.3933

ข.9 องค์ประกอบกลีเซอไรด์ของน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน

ตารางที่ ข.9 องค์ประกอบกลีเซอไรด์ของน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน (กรัม/กรัมน้ำมันหมู)

เวลา(นาที)	สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยา	ไตรกลีเซอไรด์	ไดกลีเซอไรด์	โมโนกลีเซอไรด์
20	0.8690	0.3793	0.2772	0.1083
40	0.7582	0.2405	0.3012	0.1361
60	0.6676	0.2805	0.2314	0.0715
90	0.3912	0.2912	0.0218	0.0071
120	0.3925	0.2938	0.0219	0.0066

ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์**[19]**

ค.1 การวิเคราะห์หาความหนาแน่นไขและน้ำมัน (ASTM D5355-95(1995))

วัสดุและอุปกรณ์

- ขวดวัดความหนาแน่น (Pycnometer)
- กระดาษกรองน้ำมัน
- อ่างน้ำร้อน(Water Bath)
- เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดลอง

1. กรองน้ำมันเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนด้วยกระดาษกรองน้ำมัน
2. กำจัดน้ำและสารระเหยด้วยวิธีการ ดังภาคผนวก ค.3
3. เติมน้ำมันที่ได้ในขวดวัดความหนาแน่นให้เต็มโดยไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น
4. ชั่งน้ำหนักขวดวัดความหนาแน่นที่มีน้ำมันบรรจุอยู่
5. หาความหนาแน่นจากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{ปริมาตร}}$$

6. หาความหนาแน่นของนำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง
7. ทดสอบโดยให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสด้วยอ่างน้ำร้อน(Water bath)โดยวิธีการดียวกัน

การคำนวณผล

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน} = \frac{\text{ความหนาแน่นของน้ำมัน}}{\text{ควาหนาแน่นของน้ำกลั่น}}$$

ค.2 การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวของไขและน้ำมัน (ASTM D5440-93(1995))

วัสดุและอุปกรณ์

- หลอดคาปิลลารี (Capillary globe tube)
- กระดาษกรองน้ำมัน
- บีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร
- เตาไฟฟ้าให้ความร้อน
- เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดลอง

1. กรองน้ำมันเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนด้วยกระดาษกรองน้ำมัน
2. กำจัดน้ำและสารระเหยด้วยวิธีการ ดังภาคผนวก ค.3
3. จุ่มหลอดคาปิลลารีลงในน้ำมันตัวอย่างให้มีความสูง 10 มิลลิเมตร จำนวน 3 หลอด
4. วางคาปิลลารีในบีกเกอร์แล้วนำไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 – 10 องศาเซลเซียสตลอดคืน
5. ให้ความร้อนแก่น้ำในบีกเกอร์ที่มีเทอร์โมมิเตอร์แช่อยู่ระดับ 30 มิลลิเมตรจากก้นบีกเกอร์ ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 8-10 องศาเซลเซียส
6. จุ่มหลอดคาปิลลารีที่มีน้ำมันตัวอย่างอยู่ในบีกเกอร์ให้ความร้อนเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 0.5 องศาเซลเซียสต่อนาที บันทึกเวลาที่น้ำมันในหลอดคาปิลลารีหลอมเหลวจนหมด

ค.3 การวิเคราะห์ความชื้นและสารระเหยในไขมันและน้ำมัน(ASTM D5556-95(1995))

วัสดุและอุปกรณ์

- บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- เตาไฟฟ้าให้ความร้อน
- กระจกนาฬิกา

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำมัน 20 กรัมในบีกเกอร์ที่แห้ง
2. วางกระจกนาฬิกาบนปากบีกเกอร์และให้ความร้อนแก่บีกเกอร์อย่างช้าๆ โดยให้อุณหภูมิต่ำกว่า 130 องศาเซลเซียส
3. สังเกตุไอน้ำบนกระจกนาฬิกาที่เกิดขึ้น ถ้าไอน้ำบนกระจกนาฬิกาหายไปหมดจึงหยุดให้ความร้อน
4. ลดอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิห้องโดยเก็บสารไว้ในโถดูดความชื้น(Desiccator)

ค.4 การวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอล(ASTM D128-98(2003))

เกิดปฏิกิริยาดังสมการ

$$C_3H_8O_3 + 2KIO_4 \longrightarrow 2HCHO + HCOOH + 2KIO_3 + H_2O$$

วัสดุและอุปกรณ์

- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- บิวเรต ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- เตาไฟฟ้าให้ความร้อน
- กรวยแก้ว
- กระดาษกรอง

สารเคมี

- โปแตสเซียมเพอริโอเดต(Potassium periodate)
- สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 0.05 N
- ฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้น 1% ในเอทิลแอลกฮอลล์

วิธีการทดลอง

1. แบ่งสารละลายตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรเติมด้วยโปแตสเซียมเพอริโอเดต(Potassium periodate)น้ำหนัก 3 กรัมในสารละลายตัวอย่างเขย่าประมาณ 120 นาที
2. กรองของแข็งที่เหลืออยู่ด้วยกระดาษกรอง
3. ไตเตรตสารละลายที่กรองได้ด้วยสารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 0.05 N โดยใช้ใช้ฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้น 1% ในเอทิลแอลกฮอลล์เป็นอินดิเคเตอร์จนถึงจุดยุติ
4. คำนวณหาปริมาณกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นจากปริมาณโซดาไฟที่ใช้สะเทิน

การคำนวณผล

$$\text{ปริมาณกลีเซอรอล} = \frac{V \times T \times V_T}{10}$$

V = ปริมาณสารละลายโซดาไฟที่ถูกใช้ (มิลลิลิตร)

T = ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ (โมลต่อลิตร)

V_T = สารละลายทั้งหมด (มิลลิลิตร)

ค.5 การวิเคราะห์ ปริมาณกรดไขมัน(AOCS Official Method Da 14-48)

วัสดุและอุปกรณ์

- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- บิวเรต ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ปิเปต ขนาด 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- เตาไฟฟ้าให้ความร้อน

สารเคมี

- เอทิลแอลกฮอลล์ 95 %
- ฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้น 1% ในเอทิลแอลกฮอลล์
- สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 0.05 N

วิธีการทดลอง

1. ไตเตรตเอทิลแอลกฮอลล์ 95 % ด้วยสารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 0.05 N ให้มีสภาพเป็นกลาง แล้วให้ความร้อนจนเอทิลแอลกฮอลล์มีอุณหภูมิประมาณ 60 – 70 องศาเซลเซียส

2. เติมแอลกฮอลล์ที่ร้อนในกรดไขมันที่ทราบค่าน้ำหนัก(น้ำหนักประมาณ 1-2 กรัม) 50 มิลลิลิตร กวนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

3. ไตเตรตสารละลายที่ได้ด้วยสารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 0.05 N โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์จนถึงจุดยุติ

ค.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบกลีเซอไรด์ของน้ำมัน (IUPAC (fifth Edition : Method II.C.7))

วัสดุอุปกรณ์

- บิวเรต ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ซิลิกาเจล
- เส้นใยแก้ว
- บีกเกอร์
- กรวยแยกขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สารเคมี

- คลอโรฟอร์ม(Chloroform)
- เบนซีน(Benzene)
- ไดเอธิลอีเทอร์(Diethyl Ether)
- เอทิลแอลกฮอลล์ 95 %
- ฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้น 1% ในเอทิลแอลกฮอลล์
- สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 0.05 N

การเตรียมซิลิกาเจลคอลัมน์

1. ชั่งซิลิกาเจลครั้งละ 10 กรัมในบีกเกอร์แล้วนำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง

2. นำซิลิเจลกลับไปอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก แล้วนำกลับไปอบอีกครั้ง ทำซ้ำเรื่อยๆจนน้ำหนักของซิลิกาเจลคงที่

3. บรรจุเส้นใยแก้วบริเวณคอของบิวเรตเล็กน้อย

4. ชั่งซิลิเจลที่เตรียมไว้ 30 กรัมในบีกเกอร์ 150 มิลลิลิตรเติมเบนซีน 50-6- มิลลิลิตรกวนอย่างช้าจนฟองอากาศหายไปหมด

6. เติมสารที่กวนได้ลงในบิวเรตและเปิดบิวเรตให้สารละลายไหลผ่านแต่ให้คงไว้เหนือซิลิกาเจล 2 เซนติเมตร

วิธีการทดลอง

1. หลอมเหลวน้ำมันให้อยู่ในสถานะของเหลว ชั่งน้ำมัน 1 กรัม เติมด้วยคลอโรฟอร์ม 15 มิลลิลิตร และให้ความร้อนถ้ามีความจำเป็นแต่ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสค่อยๆ หยดสารละลายที่ได้ลงในซิลิกาเจลโครมาโตกราฟฟี

2. หยดเบนซีนปริมาณ 200 มิลลิลิตรลงในซิลิกาเจลโครมาโตกราฟฟีอย่างช้าอัตรา 2 มิลลิลิตรต่อนาที(ด้วยกรวยแยก)เพื่อสกัดแยกไตรกลีเซอไรด์โดยคงสารละลายไว้อยู่เหนือซิลิกาเจล 2 เซนติเมตร

3. หยดสารละลาย 10% โดยปริมาตรของไดเอทิลอีเทอร์ในเบนซีน ปริมาณ 200 มิลลิลิตรลงในซิลิกาเจลโครมาโตกราฟฟีอย่างช้าเพื่อแยกไดกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ

4. หยดอีเทอร์ปริมาณ 200 มิลลิลิตรลงในซิลิกาเจลโครมาโตกราฟฟีอย่างช้าเพื่อสกัดแยกโมโนกลีเซอไรด์

5. ระเหยสารละลายที่ได้จากข้อ 2, 3 และ 4 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่เพื่อหาปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ในองค์ประกอบ

6. ตรวจสอบการปะปนของกรดไขมันอิสระใน ไดกลีเซอไรด์ ด้วยการนำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันดังภาคผนวก ค.5

การคำนวณผล

$$\text{ร้อยละของไตรกลีเซอไรด์} = \frac{m_1 \times 100}{m} - U$$

$$\text{ร้อยละของไดกลีเซอไรด์} = \frac{m_2 \times (100 - A)}{m}$$

$$\text{ร้อยละของโมโนกลีเซอไรด์} = \frac{m_3 \times 100}{m}$$

m_1 = น้ำหนักของสารที่แยกได้จากเบนซีน (กรัม)
m_2 = น้ำหนักของสารที่แยกได้จากสารละลายไดเอทิลอีเทอร์ในเบนซีน (กรัม)
m_3 = น้ำหนักของสารที่แยกได้จากเบนซีน (กรัม)
m = น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ทดสอบ (กรัม)

A = ร้อยละของกรดไขมัน(กรดโอเลอิก)ในสารที่แยกได้จาก ไดเอทิลอีเทอร์

U = ร้อยละของสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน

$$A = \frac{V \times T \times 282}{10 \times m_4}$$

V = ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

T = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลต่อลิตร)

m_4 = น้ำหนักของสารที่แยกได้จากสารละลายไดเอทิลอีเทอร์ในเบนซีน (กรัม)

เนื่องจากสารละลายที่สกัดได้โดยเบนซีนประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์และสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน จึงสามารถหาปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่แท้จริงได้โดยการลบปริมาณของสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันออก

ค.7 การวิเคราะห์สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน (ASTM D 1965-87(1998))

วัสดุอุปกรณ์

- เตาไฟฟ้าให้ความร้อน
- กรวยแยกขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สารเคมี

- ไดเอธิลอีเทอร์(Diethyl Ether)
- ฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้น 1% ในเอทิลแอลกฮอลล์
- โซดาไฟ

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำมันหมู 5 กรัม และโซดาไฟในปริมาณที่เท่ากันเติมน้ำกลั่น 20 เท่าของน้ำหนักน้ำมัน

2. กวนโดยใช้ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3. สกัดสารละลายโดยใช้กรวยแยก ด้วยไดเอทิลอีเทอร์ครั้งละ 50 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

4. ล้างชั้นไดเอทิลอีเทอร์ที่สกัดได้ด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 50 มิลลิลิตร จนกระทั่งน้ำล้างชั้นไดเอทิลอีเทอร์เป็นกลางคือไม่ทำปฏิกิริยากับฟีนอล์ฟทาลีน

5. ระเหยไดเอทิลอีเทอร์โดยใช้อ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

ภาคผนวก ง

ง.1 การคำนวณจากผลการทดลอง

ตัวอย่างของการคำนวณโดยยกตัวอย่างการทดลองที่เวลา 90 นาที ซึ่งมีสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาต่อน้ำหนักน้ำมันหมูเริ่มต้น 1 กรัมดังนี้

- กรดไขมัน 0.5968 กรัม หรือ 1.9778 มิลลิโมล
- กลีเซอรอล 0.4864 มิลลิโมล
- สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน 0.3912 กรัม ซึ่งประกอบด้วย

ไตรกลีเซอไรด์	0.2912 กรัม
ไดกลีเซอไรด์	0.0218 กรัม
โมโนกลีเซอไรด์	0.0071 กรัม
สารที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้	0.0777 กรัม

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ

$$TG + 3\,NaOH \longrightarrow 3\,Soap + Glycerol$$

$$3\,Soap + 3\,HCl \longrightarrow 3\,Fatty\ acid + NaCl$$

ซึ่งสามารถรวมปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$TG + 3\,NaOH + 3\,HCl \longrightarrow Glycerol + 3\,Fatty\ acid + NaCl$$

$$\text{จำนวนโมลของกลีเซอรอล} = \frac{\text{น้ำหนักของกลีเซอรอล}}{\text{มวลโมเลกุลของกลีเซอรอล}}$$

$$\text{น้ำหนักของกลีเซอรอล} = 0.4864 \times 10^{-3}(92.0935) = 0.0448 \text{ กรัม}$$

$$\text{จำนวนโมลของกรดไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักของกรดไขมัน}}{\text{มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน}}$$

$$\text{มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน} = \frac{0.5968}{1.9778 \times 10^{-3}} = 301.75$$

คำนวณทั้ง 5 การทดลองจะมีค่าเฉลี่ยของมวลโมเลกุลของกรดไขมันอยู่ที่ 286.67 ± 13.21

ซึ่งสามารถคำนวณหามวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ ได้ดังนี้ (มวลโมเลกุล C = 12.01, H = 1.0079, O = 15.9994)

มวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ = 3(มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน) + 38.0479

= 3(286.67) + 38.04

= 898.07

มวลโมเลกุลของไดกลีเซอไรด์ = 2(มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน) + 108.09

= 2(286.67) + 108.09

= 681.44

มวลโมเลกุลของโมโนกลีเซอไรด์ = มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน + 130.09

= 286.67 + 130.09

= 461.71

สามารถหามวลโมเลกุลเฉลี่ยของกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูได้จากปริมาณของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมันเริ่มต้นได้ดังนี้

น้ำมัน 1 กรัมประกอบด้วย

ไตรกลีเซอไรด์ = 0.8720 กรัม

ไดกลีเซอไรด์ = 0.0271 กรัม

โมโนกลีเซอไรด์ = 0.0029 กรัม

มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกลีเซอไรด์ (ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้) $= \dfrac{898.07\,(0.8720) + 681.44\,(0.0271) + 461.71\,(0.0029)}{0.9021}$

= 889.99

คำนวณหาจำนวนโมลของน้ำมันหมู 1 กรัมโดยคิดว่าน้ำมันหมูประกอบด้วยกลีเซอไรด์ทั้งหมด

น้ำมันหมู 1 กรัม $= \dfrac{1}{889.99} =$ 1.0136 มิลลิโมล

สามารถคำนวนร้อยละของการถูกใช้สารต่างๆได้ดังนี้

% Experimental yield ของกรดไขมัน = กรดไขมันที่เกิดจากการทดลอง $\times$ $M.W_{fatty\ acid}$ $\times$ 100%

$= 1.9778 \times 10^{-3} \times 286.6767 \times 100\%$

= 56.6994 %

ตารางที่ ง.1 % Experiment yield ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้

เวลา (นาที)	% Experiment yield ของกรดไขมัน
20	6.4780
40	22.0167
60	31.5513
90	56.6994
120	56.9671

$$\%\ \text{Conversion ของน้ำมันหมู} = \frac{(\text{น้ำมันเริ่มต้น} - \text{สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยา}) \times 100\%}{\text{น้ำมันเริ่มต้น}}$$

$$= \frac{(1 - 0.3912) \times 100\%}{1}$$

$$= 60.8777\ \%$$

ตารางที่ ง.2 สัดส่วนของน้ำมันที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	สัดส่วนของน้ำมันที่ถูกใช้ในปฏิกิริยา(%)
20	13.0979
40	24.1797
60	33.2428
90	60.8777
120	60.6740

ง.2 การคำนวณหากรดไขมันที่สามารถสังเคราะห์ได้ทางทฤษฎี

มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันทางทฤษฎีสามารถหาได้จากการคำนวณองค์ประกอบของกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันหมูดังภาคผนวก ฉ มีค่าเท่ากับ 274.97 คำนวณหามวลโมเลกุลเฉลี่ยของกลีเซอไรด์ในน้ำมันหมูเท่ากับ 855.30 น้ำมัน 1 กรัมประกอบด้วยกลีเซอไรด์ 1.0547 มิลลิโมล

$$\%\ \text{Theoretical yield ของกรดไขมัน} = \frac{\text{กรดไขมันทั้งหมดที่สามารถเกิดได้} \times 100\%}{\text{น้ำมันเริ่มต้น}}$$

$$= \frac{3\,(1.0547\times 10^{-3})(274.97) \times 100\%}{1}$$

$$= 87.0017\ \%$$

ภาคผนวก จ

การคำนวณมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันหากไม่มีการเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้นก่อนนำไปทำปฏิกิริยาเอซิดดูเลชั่นกับกรดเกลือ

ยกตัวอย่างการคำนวณที่เวลา 90 นาที ซึ่งมีสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาต่อน้ำหนักน้ำมันหมูเริ่มต้น 1 กรัมดังนี้

- สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมัน(Unsapon) ที่วิเคราะห์ได้ตามวิธีการ ASTM D 1965-87(1998) ร้อยละ 7.7699 หรือ 0.0776 กรัม
- สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันที่แยกได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย 0.3912 กรัม
- กรดไขมัน 0.5935 กรัม
- ปริมาณกรดไขมันที่วิเคราะห์ได้ 1.9667 มิลลิโมล

หากไม่มีขั้นตอนการแยกน้ำมันและสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยากรดไขมันที่สังเคราะห์ได้จะรวมอยู่กับน้ำมันและสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยา

น้ำหนักกรดไขมันที่ปรากฏ = กรดไขมัน + สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยา

= 0.5935 + 0.3912

= 0.9847 กรัม

$$\text{มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักกรดไขมันที่ปรากฏ - สารที่ไม่เกิดปฏิกิริยา(ASTM)}}{\text{จำนวนโมลของกรดไขมัน}}$$

$$= \frac{0.9847 - 0.0777}{1.9667}$$

$$= 461.17$$

ตารางที่ จ.1 การคำนวณมวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันในกรณีที่ไม่มีการแยกสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเป็นเกลือของกรดไขมันที่เวลาต่างๆ

เวลา	กรดไขมันที่ปรากฏ (กรัม)	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิโมล)	กรดไขมันที่ได้-Unsapon (กรัม)	มวลโมเลกุล
20	0.9345	0.2260	0.8568	3791.58
40	0.9613	0.7651	0.8836	1154.86
60	0.9825	1.0948	0.9048	826.48
90	0.9847	1.9667	0.9070	461.17
120	0.9631	1.9828	0.8854	446.51

ภาคผนวก ฉ

การคำนวณหามวลโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันหมู

ตารางที่ ฉ.1 องค์ประกอบกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันหมู

Fatty acid		โครงสร้าง	มวลโมเลกุล	องค์ประกอบ(%)
10:00	Capric acid	$C_{10}H_{20}O_2$	172.26	0.1
12:00	Lauric acid	$C_{12}H_{24}O_2$	200.32	0.2
14:00	Myristic acid	$C_{14}H_{28}O_2$	228.37	1.3
16:00	Palmitic acid	$C_{16}H_{32}O_2$	256.42	23.8
18:00	Stearic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	284.48	13.5
20:00	Arachidic acid	$C_{20}H_{40}O_2$	312.53	0.3
16:01	Palmitoleic	$C_{16}H_{30}O_2$	254.41	2.7
18:01	Oleic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	283.48	41.2
20:01	Gadoleic acid	$C_{20}H_{36}O_2$	308.00	1
18:02	Linoleic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	280.46	10.2
18:03	Alpha -Linolenic acid	$C_{18}H_{30}O_2$	278.43	1
			องค์ประกอบทั้งหมด	95.3

ที่มา : USDA Nutrient database

$$\text{มวลโมเลกุลของกรดไขมันเฉลี่ย} = \frac{\sum (\%\text{กรดไขมัน})(\text{มวลโมเลกุลของกรดไขมัน})}{\%\text{กรดไขมันทั้งหมด}}$$

มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันในน้ำมันหมู = 274.97

ภาคผนวก ช

การคำนวณต้นทุนการสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันหมูที่ปริมาณโซดาไฟเริ่มต้น โดยการทดลองใช้ปริมาณน้ำมันหมู 5 กรัม สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที อุปกรณ์ทำความร้อน LAUDA (A 100) Made in Germany 1.6 กิโลวัตต์ 230 โวลต์ ทำการให้ความร้อนจากอุณหภูมิ เริ่มต้น 32 องศาเซลเซียส ถึง 90 องศาเซลเซียส

ต้นทุนของสารเคมี

น้ำมันหมู 1 กิโลกรัม	30 บาท
กรดเกลือเข้มข้น 2.5 ลิตร	350 บาท
โซดาไฟ 1 กิโลกรัม	290 บาท
เบนซีน 2.5 ลิตร	1050 บาท
อะซีโตน 2.5 ลิตร	400 บาท

ต้นทุนพลังงานโดยการคิดเงินค่าไฟฟ้าตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก อัตรา 2.1.2 (อัตราปกติแบบอัตราก้าวหน้า)

ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า	12	กิโลโวลต์
มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า	2,000	หน่วยต่อเดือน
การปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (F_t)	3.00	สตางค์/หน่วย

ต้นทุนของสารเคมี

- โซดาไฟ 0.4004 โมล = 3.176 กรัม ราคา 0.12 บาท

- กรดเกลือ 0.0102 โมล ราคา 0.12 บาท

รวมราคาต้นทุนสารเคมี 0.12 + 0.12 = 0.24 บาท

ค่าใช้จ่ายในการสกัดแยกสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยา

- เบนซีน 50 มิลลิลิตร ราคา 21 บาท

- กรดเกลือ 50 มิลลิลิตร ราคา 8 บาท

รวมราคาต้นทุนในการสกัดแยกสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยา 21 + 8 = 29 บาท

ต้นทุนพลังงาน

พลังงานทั้งหมด = 3.2 หน่วย (กิโลวัตต์.ชั่วโมง)

- ค่าพลังงานไฟฟ้า (หน่วยที่ 1-150) = 3.2 x 1.8047 = 5.7750 บาท
- ค่าไฟฟ้าผันแปร (F_t) = จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า F_t = 3.2 x 0.03 = 0.0960 บาท
- ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% = (ค่าพลังงานไฟฟ้า + ค่า F_t) x 7/100 = (5.7750+0.096) x 7/100

  = 0 .4110 บาท

รวมราคาต้นทุนพลังงาน = 5.7750 + 0.0960 + 0.4110 = 6.2820 บาท ต่อ น้ำมันปาล์มดิบ 5 กรัม

ต้นทุนทั้งหมดในการสังเคราะห์

= 0.24 + 29 + 6.2820 = 35.52 บาท ต่อน้ำมันหมู 5 กรัม

ซึ่งสกัดได้กรดไขมัน 2.9864 กรัม

ค่าใช้จ่ายในการสกัดกรดไขมัน 1 กรัม = 11.89 กรัม

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอารยา ชีพสาทิศ เกิดเมื่อวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2548 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551