



รายงานโครงการวิจัย

เรื่อง

Fatty Acids Production from Crude Para Rubber Seed Oil
in Subcritical Water

การผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤต

โดย

นายณัฐพล	บุษสาย	5832924323
นางสาวพนัชกร	มาละ	5832932323

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ.ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสุทธิธิ์

โครงการการเขียนการเสนอเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2561
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
The abstract and full text of senior projects are uploaded to the University Intellectual Repository (UIR)
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

CHEMICAL TECHNOLOGY

การผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤต

นายณัฐพล

บุษสาย

นางสาวพนัชกร

มาละ

โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Fatty acids production from Crude Para Rubber Seed Oil in Subcritical Water

Natthapol Bussai

Phanatchakorn Mala

A Senior Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Bachelor of Science Program in Chemical Technology Department

Faculty of Science Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

ชื่อโครงการ การผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤต
 ชื่อนิสิตผู้ทำโครงการ นายณัฐพล บุชสาย 5832924323
 นางสาวพนัชกร มาละ 5832932323
 อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. สมเกียรติ งานประเสริฐวิสิทธิ์
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว
 ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของไทย ซึ่งนอกจากน้ำยางพาราแล้วเมล็ดยางพารายังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การสกัดน้ำมันเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ การทำน้ำมันเคลือบเงา การทำสบู่ สารเติมแต่งในเครื่องสำอาง อีกทั้งเนื้อภายในเมล็ดยังสามารถนำมาทำเป็นอาหารสุกรได้อีกด้วย แม้เมล็ดยางพาราจะมีประโยชน์หลายอย่างแต่ในปัจจุบันเมล็ดยางพารามักถูกทิ้งเป็นของเสียจำนวนมาก ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงศึกษาการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์จากเมล็ดยางพารา โดยกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตสารลดแรงตึงผิว การผลิตอาหารเสริม การผลิตสารทำความสะอาด เป็นต้น การผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำภาวะกึ่งวิกฤตจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงและใช้เวลาน้อย นอกจากนี้ยังไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงช่วยลดของเสียในกระบวนการโครงการวิจัยนี้ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆต่อการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพารา ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนโดยโมลของไตรกลีเซอไรด์กับน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ขนาด 4.24 มิลลิลิตร จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิและเวลามีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการผลิตกรดไขมันอิสระโดยเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นร้อยละกรดไขมันที่ได้จะสูงขึ้น ซึ่งภาวะที่เหมาะสมกับการผลิตกรดไขมันคืออุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อน้ำ 1:50 ที่ความดันคงที่ 10 เมกะพาสคัล ได้ร้อยละกรดไขมัน 78.46 ± 1.17

คำสำคัญ: กรดไขมัน, น้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ, ไฮโดรไลซิส, น้ำภาวะกึ่งวิกฤต

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิสิต ณัฐพล บุชสาย

พนัชกร มาละ

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

สมเกียรติ งานประเสริฐวิสิทธิ์

Title Fatty Acids Production from Crude Para Rubber Seed Oil in Subcritical Water

Student name Mr. Natthapol Bussai 5832924323

Miss Phanatchakorn Mala 5832932323

Advisor Prof. Dr. Somkiat Ngamprasertsith

Co-advisor Dr. Ruengwit Sawangkeaw

Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University,
Academic Year 2018

ABSTRACT

Para rubber is an important economic crop and is widely cultivated in the south of Thailand. However, only rubber latex and wood were utilized nowadays. In rubber plantation farm, the seed is left in the field and largely conserved as waste. This research project proposes to study the free fatty acids production from para rubber seed oil in subcritical water in order to add the value of the rubber seeds. These fatty acids can be used as a precursor in industries such as surfactants, supplementary foods and cleaning agents etc. With a catalyst-free process, high purity of free fatty acids is obtained with short reaction time. Moreover, this process generates lower waste products. In this study, the effect of temperature, reaction time, and molar ratio of triglycerides to water was investigated to find out the optimal condition. The reaction was performed in a 4.24- mL batch reactor. From the results of the experiment, it was found that temperature and time had a significant effect on the production of free fatty acids. When temperature and time increased, the percentage of fatty acids obtained increased. The optimal conditions of production fatty acids are temperature of 325 degree Celsius, the reaction time of 20 minutes, the ratio of oil to water 1.50 by mole and pressure of 10 MPa that obtained 78.46 ± 1.17 percentage of fatty acids.

Keywords: Fatty acids, Crude Para Rubber Seed Oil, Hydrolysis, Subcritical Water

Department of Chemical Technology

Student's signature

Natthapol Bussai

Phanatchakorn Mala

Major: Chemical Engineering

Advisor's signature

Somkiat Ngamprasertsith

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนระดับปริญญาตรีในโครงการการเรียนการสอน เพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2561 ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีชื่อโครงการว่า “การผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤต”

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร.เรืองวิทย์ สว่างแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และดร.วินัญฐา ศักดาศรี ที่เสียสละเวลาอันมีค่ามาช่วยเหลือ ให้ความรู้ ดูแล การทำวิจัย แนะนำ-ข้อคิดเห็น ตลอดจนแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆตลอดทั้งงานวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้ ห้องปฏิบัติการ ตลอดจนให้คำแนะนำด้านเครื่องมือและความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องมือ

ขอขอบคุณหน่วยงานห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์และพี่ๆจากสถาบันวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยช่วยเหลือในเรื่องอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในโครงการวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ ตลอดจนให้กำลังใจในการทำงาน เสมอมา

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจาก โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

คณะผู้จัดทำ

สารบัญเนื้อหา

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเนื้อหา	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ยางพารา	3
2.1.1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ	3
2.2 กรดไขมัน (Fatty Acid)	4
2.2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันที่พบมากในน้ำมันยางพารา	4
2.2.2 การนำกรดไขมันไปใช้ประโยชน์	6
2.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับน้ำ	6
2.4 น้ำภาวะกึ่งวิกฤต	7
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	9
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	9
3.1.1 อุปกรณ์	9
3.1.2 วัสดุดิบและสารเคมี	10

3.2 รายละเอียดวิธีการทดลอง	10
3.2.1. การเตรียมน้ำมันและน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์	11
3.2.2. การผลิตกรดไขมัน	11
3.2.3. การวิเคราะห์ร้อยละผลได้กรดไขมันโดยการไทเทรต	12
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	14
4.1. การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ	14
4.2. การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ	15
4.3. การศึกษาปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องต่อการผลิตกรดไขมัน	15
4.3.1. ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน	18
4.3.2. ผลของอัตราส่วนโดยโมลต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน	19
4.3.3. ผลของเวลาต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน	20
4.3.4. ผลรวมของอุณหภูมิและเวลาต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน	20
4.4. การหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดไขมันอิสระ	22
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในงานวิจัย	23
5.1. สรุปผลการทดลอง	23
5.2. ข้อเสนอแนะในงานวิจัย	23
ภาคผนวก	24
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	25
บรรณานุกรม	30

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกรดลิโนเลอิก	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดโอเลอิก	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของกรดลิโนเลนิก	5
รูปที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับน้ำ	7
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์	9
รูปที่ 3.2 อ่างทรายฟลูอิดไคซ์	9
รูปที่ 3.3 เครื่องซังดีจิตอล 4 ตำแหน่ง	9
รูปที่ 3.4 ตู้อบ	10
รูปที่ 3.5 ไมโครปิเปตขนาด 1000 ไมโครลิตร	10
รูปที่ 4.1 ผลจากการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	14
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละผลได้ที่ได้จากการทดลองกับค่าจากสมการ	18
รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ที่ของกรดไขมันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:50 เวลา 15 นาที	19
รูปที่ 4.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมลต่อร้อยละผลได้ที่ของกรดไขมันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที	19
รูปที่ 4.5 ผลของอัตราส่วนโดยโมลต่อร้อยละผลได้ที่ของกรดไขมันที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมล 1:30	20
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลากับร้อยละผลได้ที่กรดไขมัน	21
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อร้อยละผลได้ที่ของกรดไขมันที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส	21
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลและอุณหภูมิกับร้อยละผลได้ที่เวลา 20 นาที	22
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ที่กรดไขมันที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส	23
รูป ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ที่กรดไขมันที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส	27
รูป ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ที่กรดไขมันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	27
รูป ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ที่กรดไขมันที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส	28

- รูป ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้กรดไขมันที่อัตราส่วนโดยโมล
น้ำมันต่อน้ำ 1:30 28
- รูป ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้กรดไขมันที่อัตราส่วนโดยโมล
น้ำมันต่อน้ำ 1:50 29
- รูป ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้กรดไขมันที่อัตราส่วนโดยโมล
น้ำมันต่อน้ำ 1:70 29

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในน้ำมันเมล็ดยางพารา	3
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดยางพารา	4
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดยางพารา	5
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ	14
ตารางที่ 4.2 ปัจจัยทั้งหมดในการทดลองที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล	15
ตารางที่ 4.3 การออกแบบการทดลองและร้อยละของกรดไขมันที่ได้ที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล	16
ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของปัจจัยต่างๆในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบกับน้ำภาวะกึ่งวิกฤต	17
ตารางที่ ก.1 การคำนวณหาร้อยละของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ	25
ตารางที่ ก.2 การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ	25
ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองหาร้อยละผลได้ของไขมันจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤต	26
ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองหาร้อยละผลได้ของไขมันเฉลี่ยจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤต	26

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ยางพาราเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจของไทยที่นอกจากน้ำยางพาราแล้วยังพบว่ามีการนำเมล็ดยางพาราไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ อีก เช่น นำเนื้อในเมล็ดผสมทำเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสุกร นำไปสกัดเป็นน้ำมันผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ น้ำมันเคลือบเงา ทำสบู่ และใช้เป็นสารเติมแต่งในเครื่องสำอาง อย่างไรก็ตามการนำเมล็ดยางพาราไปใช้ประโยชน์มีเพียงเล็กน้อยและส่วนใหญ่ถูกทิ้งให้กลายเป็นของเสียจำนวนมาก ดังนั้นการนำน้ำมันเมล็ดยางพารามาผลิตเป็นกรดไขมันจึงเป็นอีกทางเลือกที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ โดยกรดไขมันสามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ผลิตสารทำความสะอาด ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว ใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และยา เป็นต้น

การผลิตกรดไขมันอิสระผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำภาวะกึ่งวิกฤตเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ได้รับความสะดวก เนื่องจากมีข้อดีคือเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงทำให้ลดขั้นตอนการผลิตและลดการเกิดของเสียจากกระบวนการ นอกจากนี้กรดไขมันที่ได้ยังมีความบริสุทธิ์สูงและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาล้น โดยน้ำภาวะกึ่งวิกฤตนี้สามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิและความดันใกล้เคียงหรือต่ำกว่าจุดวิกฤตของน้ำ คือ อุณหภูมิวิกฤตที่ 374 องศาเซลเซียส และความดันวิกฤตอยู่ที่ 22 เมกะพาสคัล โครงการนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราติบในภาวะกึ่งวิกฤตของน้ำ โดยศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ อัตราส่วนโดยโมลของไตรกลีเซอไรด์ต่อน้ำ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน และหาภาวะที่ให้ร้อยละผลได้สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราติบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤตในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์

1.2.2 หาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดไขมันอิสระโดยศึกษาปัจจัยต่างๆเช่น อุณหภูมิ อัตราส่วนโดยโมลของไตรกลีเซอไรด์ต่อน้ำ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาปัจจัยของภาวะการเกิดปฏิกิริยาต่อการผลิตกรดไขมันอิสระเพื่อได้ร้อยละผลได้สูงที่สุด ประกอบด้วย อุณหภูมิ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำต่อน้ำมัน และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละกรดไขมันและได้ภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางพารา

ยางพารา (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Hevea brasiliensis*) เป็นพืชที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในลุ่มน้ำอะเมซอน ประเทศบราซิลและประเทศเปรู โดยโจเซฟ พรีสต์ลีย์ พบว่ายางพาราสามารถนำมาสกัดได้น้ำมันได้ จึงเรียกว่า ยางลบหรือตัวลบ (rubber) ซึ่งที่มาของชื่อยางพารามาจากชื่อรัฐปารา (Pará) ของประเทศบราซิล [1] ที่เป็น ศูนย์กลางการเพาะปลูกและซื้อขายยางในอเมริกาใต้แต่ดั้งเดิม ยางพาราถือเป็นพืชทางเศรษฐกิจที่สำคัญชนิด หนึ่งของไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ปลูกยางพาราเป็นอันดับสามของโลกรองจากประเทศ มาเลเซีย และประเทศอินโดนีเซีย ยางพาราเป็นพืชที่มีเมล็ดแต่ปัจจุบันกลับไม่มีใครนำเมล็ดยางพารามาใช้ ประโยชน์อย่างจริงจัง โดยจากงานวิจัยพบว่าหลังกระเทาะเปลือกแล้วจะได้น้ำมัน 25-30% โดยน้ำหนัก [2]

น้ำมันจากเมล็ดยางพาราส่วนมากถูกนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมเนื่องจากไม่สามารถนำมาบริโภคได้ เพราะปริมาณของกรดเพิ่มเมื่อเก็บน้ำมันไว้นานเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ น้ำมันเมล็ดยางพาราที่บริสุทธิ์ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้ และเนื่องจากน้ำมันเมล็ดยางพารามีค่าความร้อนที่ค่อนข้างสูงจึง สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้ [3]

2.1.1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันเมล็ดยางพารามีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก และมีปริมาณ ของกรดไขมันแสดงดังตารางที่ 2.1 น้ำมันเมล็ดยางพารามีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีสีเหลืองเข้ม โดยสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดยางพาราแสดงดังที่ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันที่พบในน้ำมันเมล็ดยางพารา [4]

ชนิดของกรดไขมัน	สูตรทางเคมี	ร้อยละ
กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid)	C 18:2	41.38
กรดโอเลอิก (Oleic acid)	C 18:1	24.43
กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid)	C 18:3	15.55
กรดปาลมิติก (Palmitic acid)	C 16:1	9.89
กรดสเตียริก (Stearic acid)	C 18:0	7.96
กรดอะราคิดิก (Arachidic acid)	C 20:0	0.27
กรดปาลมิโตเลอิก (Palmitoleic acid)	C 16:1	0.24
กรดอีโคซีโนอิก (Eicosenoic acid)	C 20:1	0.17
กรดไมริสติก (Myristic acid)	C 14:0	0.11

ชนิดของกรดไขมัน	สูตรทางเคมี	ร้อยละ
รวม		100

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดยางพารา [4]

สมบัติทางกายภาพ	หน่วย	ค่า
ความหนาแน่น	g/cm ³	0.8874
ความถ่วงจำเพาะ		0.8883
จุดวาบไฟ	°C	187
ค่าไอโอดีน	g _{I₂} /100 g _{oil}	82.9
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส	mm ² /s	4.456
ปริมาณน้ำ	ppm	1760
ค่าความเป็นกรด	mg _{KOH} /g	0.18

2.2 กรดไขมัน (Fatty Acid)

กรดไขมัน (Fatty acid) เป็นกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) ซึ่งมีส่วนหางเป็นแบบอะลิฟาติก (Aliphatic) [5] หรือหมายถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทที่ไม่มีวงแอโรมาติกต่อกันเป็นสายโซ่ยาว กรดไขมันส่วนใหญ่มีจำนวนของคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่และมีอย่างน้อย 8 อะตอม กรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่ เรียกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) กรดไขมันที่มีพันธะคู่เรียกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) [6] โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามจำนวนพันธะคู่ ดังนี้

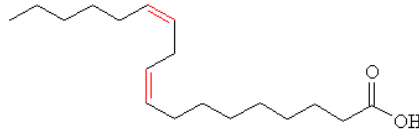
- กรดไขมันที่มี 1 พันธะคู่ (Monounsaturated fatty acids)
- กรดไขมันที่มีมากกว่า 1 พันธะคู่ (Polyunsaturated fatty acids) [7]

2.2.1. องค์ประกอบของกรดไขมันที่พบมากในน้ำมันยางพารา

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดีบประกอบไปด้วย กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) 41.38% กรดโอเลอิก (Oleic acid) 24.43% และกรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) 15.55% และเป็นกรดไขมันอื่นอีก 18.64% สมบัติทางกายภาพของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราแสดงในตารางที่ 2.3

2.2.1.1. กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid)

กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) หรือโอเมก้า 6 เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม และมี 2 พันธะคู่ (C18:2) อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 12 มีชื่อเคมีว่า 9, 12-octadecadienoic acid จัดเป็น polyunsaturated fatty acid [8] โครงสร้างของกรดลิโนเลอิกแสดงดังรูปที่ 2.1

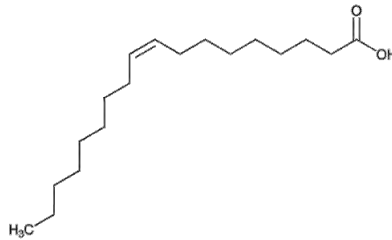


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกรดลิโนเลอิก [9]

2.2.1.2. กรดโอเลอิก (Oleic acid)

กรดโอเลอิก (Oleic acid) หรือโอเมก้า 9 เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม และมี 1 พันธะคู่ (C18:1) อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 จัดเป็น mono unsaturated fatty acid [10]

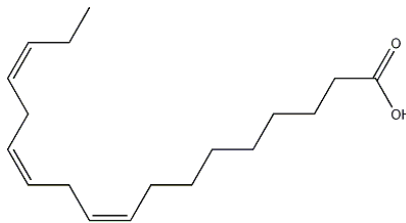
โครงสร้างของกรดโอเลอิกแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดโอเลอิก [11]

2.2.1.3. กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid)

กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) แบ่งเป็นแอลฟาไลโนเลนิกหรือโอเมก้า 3 กับบีต้าไลโนเลนิกเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม และมี 3 พันธะคู่ (C18:3) อยู่บนคาร์บอนตำแหน่งที่ 9 12 และ 15 จัดเป็น polyunsaturated fatty acid [12] โครงสร้างของกรดลิโนเลนิกแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของกรดลิโนเลนิก [13]

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดพืชบางชนิด

สมบัติทางกายภาพ	กรดลิโนเลอิก [14]	กรดโอเลอิก [15]	กรดลิโอเลนิก [16]
สูตรโมเลกุล	$C_{18}H_{32}O_2$	$C_{18}H_{34}O_2$	$C_{18}H_{30}O_2$
น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	280.452	282.468	278.436
จุดเดือด ($^{\circ}C$)	230	360	231
จุดหลอมเหลว ($^{\circ}C$)	-6.9	13.4	-16.5

2.2.2. การนำกรดไขมันไปใช้ประโยชน์

2.2.2.1 ด้านอุตสาหกรรม

กรดลิโนเลอิกและกรดโอเลอิกถูกนำมาใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier) ซึ่งจะช่วยให้ อิมัลชัน (Emulsion) คงตัวด้วยการลดแรงตึงผิว (Surface tension) หรือสามารถทำหน้าที่ประสาน ให้ของเหลวสองชนิดที่ละลายกันไม่ได้สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ จึงสามารถใช้ทำสบู่ ผงซักฟอก หรือน้ำยาล้างจาน นอกจากนี้ น้ำมันที่มีกรดลิโนเลอิกประกอบอยู่จะเป็นน้ำมันที่แห้งไว (Quick-drying oil) จึงสามารถนำมาใช้ทาบนผิวหนังเพื่อป้องกันการติดเชื้อ (Anti-inflammatory) [17]

2.2.2.2. ด้านความงาม

กรดลิโนเลอิก แอลฟาไลโนเลนิก และกรดโอเลอิก ถูกนำมาในผลิตภัณฑ์ด้านความสวย ความงามเนื่องจากสามารถช่วยให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวหนัง ลดริ้วรอยบนหน้า ลดสิว รวมถึงสามารถใช้ รักษาอาการทางผิวหนังบางชนิดได้ เช่น รังแค ผดผื่นคัน เป็นต้น แอลฟาไลโนเลนิกถูกใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์รักษาผิว ครีมกันแดดและวิตามินบำรุงเส้นผม [18]

2.2.2.3. ด้านโภชนาการและการแพทย์

กรดลิโนเลอิก เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential fatty acid) เนื่องจากไม่สามารถ สังเคราะห์ได้เองต้องได้รับจากการรับประทานอาหารเท่านั้น กรดลิโนเลอิกช่วยลดอาการปวดและ อาการอักเสบต่าง ๆ ช่วยลดการสะสมของไขมันที่ผนังหลอดเลือดซึ่งเป็นสาเหตุของโรคความดันโลหิต- สูงและโรคหัวใจ ช่วยลดระดับคอเรสเตอรอลชนิดร้าย (LDL) เพิ่มคอเรสเตอรอลชนิดดี (HDL) และมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดและชะลออาการเสื่อมของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย [19]

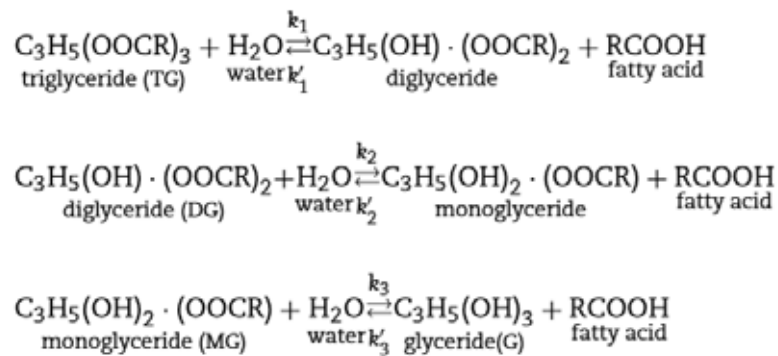
กรดโอเลอิกช่วยลดระดับคอเรสเตอรอลชนิดร้าย (LDL) และเพิ่มคอเรสเตอรอลชนิดดี (HDL) สามารถป้องกันโรคหัวใจและกลุ่มโรคหลอดเลือดตีบตันได้ ทั้งยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโต ของเซลล์มะเร็ง ช่วยในเรื่องระบบความจำและช่วยในการทำงานของสมอง [20]

แอลฟาไลโนเลนิกถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์คือ ใช้รักษาโรคสมาธิสั้น โรคไขข้ออักเสบ โรคเส้นเลือดตีบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการมองเห็นรวมถึงลดอาการปวดกล้ามเนื้อ [21]

2.3 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับน้ำ

ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นปฏิกริยาหนึ่งที่ใช้ในการผลิตกรดไขมัน โดยการสลายพันธะ เอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ด้วยน้ำ ทำให้ได้กรดไขมัน (Fatty acid) และผลพลอยได้เป็น กลีเซอรอลโดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา อย่างไรก็ตามกระบวนการมีข้อเสีย คือ ใช้เวลานานใน การเกิดปฏิกริยาหากไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกริยา

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับน้ำนั้นมีทั้งหมดสามขั้นตอนเรียกว่าปฏิกิริยาเอกพันธ์อันดับหนึ่งเสมือนที่สามารถผันกลับได้ (pseudo-homogenous first order reversible reaction) แสดงได้ตามสมการในรูปที่ 2.4 โดยขั้นที่หนึ่ง ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์จะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำกลายเป็นไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) กับกรดไขมัน (Fatty acid) ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) จะถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) กับกรดไขมัน (Fatty acid) และโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) จะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกลีเซอรอล (Glycerol) กับกรดไขมัน (Fatty acid) [22]



รูปที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับน้ำ

2.4 น้ำภาวะกึ่งวิกฤต

จากที่กล่าวไปข้างต้นในหัวข้อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับน้ำจำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด เบสหรือเอนไซม์ อย่างไรก็ตามการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีข้อเสียคือ เบสสามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการได้ เช่น สบู่ ดังนั้นจึงต้องทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์ (Purification) ในขั้นสุดท้าย ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในกระบวนการมากขึ้น นอกจากนี้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยายังก่อให้เกิดน้ำเสียขึ้นในกระบวนการ จึงต้องทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์โดยผ่านกระบวนการสะเทิน (Neutralization) ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเกิดของเสียจำนวนมากจากการทำปฏิกิริยา

เพื่อลดปัญหาข้างต้นการทำปฏิกิริยาในน้ำในภาวะกึ่งวิกฤต (Subcritical water) จึงเป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่น่าสนใจ โดยน้ำภาวะกึ่งวิกฤตจะสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือความดันให้อยู่ใกล้จุดวิกฤต (Critical point) ของน้ำ คือที่อุณหภูมิ 374 องศาเซลเซียส และความดัน 22 เมกะพาสคัล ดังนั้นช่วงภาวะกึ่งวิกฤตคือช่วงอุณหภูมิ 270-350 องศาเซลเซียส และช่วงความดัน 10-20 เมกะพาสคัล ที่ภาวะกึ่งวิกฤตนี้จะมีสมบัติพิเศษ คือ

- ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) หรือความเป็นขั้วของน้ำลดลงจนมีสมบัติคล้ายกับอะซิโตนหรือเมทานอลที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นจึงสามารถใช้น้ำที่ภาวะกึ่งวิกฤตเป็นตัวทำละลายสารประกอบอินทรีย์ได้ [23]

- พลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของน้ำสูงขึ้น ทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Reaction rate) เพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [24]

จากข้อดีข้างต้นทำให้กระบวนการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ลดการเกิดของเสียในกระบวนการ นอกจากนี้กรดไขมันที่ได้ยังมีความบริสุทธิ์สูงและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

H. Y. Shin และคณะ [23] ศึกษาการผลิตกรดไขมันด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์กับน้ำภาวะกึ่งวิกฤต เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดไขมันจากผลการทดลองในภาวะกึ่งวิกฤตของน้ำที่อุณหภูมิ 300-370 องศาเซลเซียส ที่ความดันคงที่ 20 เมกะพาสคัล และเวลา 0-30 นาที พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการได้ผลผลิตมากที่สุดที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส ที่เวลาน้อยกว่า 30 นาที และความดัน 20 เมกะพาสคัล โดยได้ร้อยละผลได้สูงสุดคือร้อยละ 97.2

R. Alenezi และคณะ [25] ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันดอกทานตะวัน โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 270-350 องศาเซลเซียส และเวลา 0-30 นาที ที่ความดันคงที่ 20 เมกะพาสคัล พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิมิมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของร้อยละผลได้ของกรดไขมันอย่างมีนัยสำคัญ โดยร้อยละของผลได้เพิ่มขึ้นจาก 26.2-92.8 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 270-350 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 นาที

M. Bruna [24] ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดไขมันด้วยวิธีไฮโดรไลซิสกับน้ำภาวะกึ่งวิกฤตและหาปริมาณเอสเทอร์จากกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันจากน้ำมันเมล็ดครัมป์ (crambe) จากงานวิจัยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดไขมัน ได้แก่ อุณหภูมิ สัดส่วนโดยโมลของน้ำต่อน้ำมัน ปริมาณของตัวทำละลายร่วมและเวลา โดย พบว่าภาวะที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส สัดส่วนโดยโมลของน้ำต่อน้ำมัน 1:1 ใช้ปริมาณตัวทำละลายร่วมร้อยละ 75 และใช้เวลา 14 นาที ให้ร้อยละผลได้ของกรดไขมันร้อยละ 98

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (Batch reactors) ปริมาตร 4.24 มิลลิลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร ความยาว 14.9 เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

- อ่างทรายฟลูอิดाइซ์ (Fluidized sand bath) ยี่ห้อ OMEGA รุ่น FSB-4



รูปที่ 3.2 อ่างทรายฟลูอิดाइซ์

- เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น ME204



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง

- ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ BINDER รุ่น ED 115



รูปที่ 3.4 ตู้อบ

- ไมโครปิเปต 1000 ไมโครลิตร (Micro pipette 1000 microlite)



รูปที่ 3.5 ไมโครปิเปตขนาด 1000 ไมโครลิตร

3.1.2 วัตถุดิบและสารเคมี

- น้ำมันดิบเมล็ดยางพารา (Para rubber oil)
- น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
- เอทานอล เข้มข้นร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก (Ethanol 95% wt) จาก SAC SCI-ENG
- โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล (NaOH 0.1 N) จาก Ajax Finechem
- สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (KHP 0.1 N) จาก CARLO ERBA REAGENTI

3.2 รายละเอียดวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันดิบเมล็ดยางพาราในน้ำภาวะกึ่งวิกฤต เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราส่วนโดยโมลของไตรกลีเซอไรด์ต่อน้ำ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาและหาค่าร้อยละผลได้สูงสุดในช่วงที่ศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1. การเตรียมน้ำมันและน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

สำหรับการเตรียมน้ำมันและน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ สำหรับการเตรียมน้ำมันและน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ได้มาจากการคำนวณจากสมการเพง-โรบินสัน (Peng-Robinson Equation) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$V^3 - \frac{RT}{P}V^2 + \frac{1}{P} \left(\frac{a}{\sqrt{T}} - bRT - Pb^2 \right) V - \frac{ab}{P\sqrt{T}} = 0 \quad (1)$$

โดยที่ $a = \frac{0.42748R^2T_c^{2.5}}{P_c}$ และ $b = \frac{0.08662RT_c}{P_c}$

V	=	ปริมาตรโมลาร์ (cm ³ /gmol)
R	=	ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ 8.314472 J/(mol K)
T	=	อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)
P	=	ความดันสัมบูรณ์ (atm)
P _c	=	ความดันวิกฤต (atm)
T _c	=	อุณหภูมิวิกฤต (K)
V _c	=	ปริมาตรโมลาร์วิกฤต (cm ³ /gmol)

3.2.2. การผลิตกรดไขมัน

ในงานวิจัยนี้ใช้อ่างทรายฟลูอิดไคซ์เป็นเครื่องให้ความร้อนสำหรับการผลิตกรดไขมัน โดยวิธีการทำการทดลองดังนี้

1. เพิ่มอุณหภูมิเครื่องให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการทำปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิ 275 300 และ 325 องศาเซลเซียส
2. นำเครื่องปฏิกรณ์แขวนกับเครื่องเขย่า
3. ระหว่างทำปฏิกิริยาเครื่องเขย่าจะเขย่าสารในเครื่องปฏิกรณ์ในแนวตั้ง ชั้ยขึ้น-ลง เพื่อให้ของผสมในเครื่องปฏิกรณ์เกิดปฏิกิริยาดีขึ้น งานวิจัยนี้ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 20 และ 25 นาที
4. หลังจากทำปฏิกิริยาครบตามเวลาที่กำหนด นำเครื่องปฏิกรณ์ออกจากเครื่องให้ความร้อน และหยุดการเกิดปฏิกิริยาด้วยการนำเครื่องปฏิกรณ์แช่ลงในถังน้ำผสมน้ำแข็ง
5. รอปฏิกิริยาถูกหยุดอย่างสมบูรณ์ประมาณ 3-4 นาที จากนั้นเปิดเครื่องปฏิกรณ์ นำสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาออกมาใส่ขวดเก็บตัวอย่าง

3.2.3. การวิเคราะห์ร้อยละผลได้กรดไขมันโดยการไทเทรต

การไทเทรตสารละลายผลิตภัณฑ์ถูกประยุกต์มาเพื่อหาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ตามมาตรฐาน IUPAC 1979 และ American Oil Chemists' Society (AOCS Cd 9F93.20) โดยการคำนวณผ่านปริมาณกรดไขมันผ่านการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าที่ได้จากการไทเทรตจะนำไปคำนวณเป็นค่าความเป็นกรดของสาร โดยตั้งสมมติฐานว่ากรดไขมันที่ได้เป็นกรดโอเลอิกทั้งหมด

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดชั้นน้ำมันของสารตัวอย่างมาประมาณ 0.5-0.6 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
2. ให้ความร้อนเอทานอล 95% ในขวดรูปชมพู่บนเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส
3. ตวงเอทานอลปริมาตร 25 มิลลิลิตร โดยใช้กระบอกตวง ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีสารตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากัน
4. หยดฟีนอล์ฟทาลีนจำนวน 3-5 หยดเป็นอินดิเคเตอร์
5. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล 1000 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการไทเทรต
6. ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในข้อที่ 5 จนกว่าสารตัวอย่างในขวดรูปชมพู่จะเปลี่ยนจากสีใสเป็นสีชมพูอ่อน ซึ่งสีต้องอยู่อย่างน้อย 1 นาที
7. บันทึกปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตเป็นหน่วยมิลลิลิตร
8. คำนวณค่าความเป็นกรดของสารตัวอย่าง จากสมการที่ 2

$$AV = \frac{40 \times N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}}{M_{\text{prod.}}} \quad (2)$$

โดยที่	AV	=	ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์
	N_{NaOH}	=	ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหน่วยนอร์มอล (N)
	V_{NaOH}	=	ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)
	$M_{\text{prod.}}$	=	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ในชั้นน้ำมันที่นำมาใช้ในการไทเทรต (g)

ร้อยละของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์ชั้นน้ำมันสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3 ในสมมติฐานที่ว่ากรดไขมันในชั้นน้ำมันของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเป็นกรดโอเลอิก เนื่องจากพบกรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ

$$\% \text{FFA as oleic} = \frac{28.2 \times N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}}{M_{\text{prod.}}} \quad (3)$$

โดยที่	%FFA as oleic	=	ร้อยละของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์ชั้นน้ำมัน
	N_{NaOH}	=	ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหน่วยนอร์มอล (N)
	V_{NaOH}	=	ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)
	M_{prod}	=	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ในชั้นน้ำมันที่นำมาใช้ในการไทเทรต (g)

จากนั้นนำค่าร้อยละของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์ชั้นน้ำมันไปคำนวณหาร้อยละผลได้ของกรดไขมันจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสตามสมการที่ 4

$$\text{Yield} = \frac{\% \text{FFA} \times M_{\text{prod.}}}{M_{\text{oil}}} \quad (4)$$

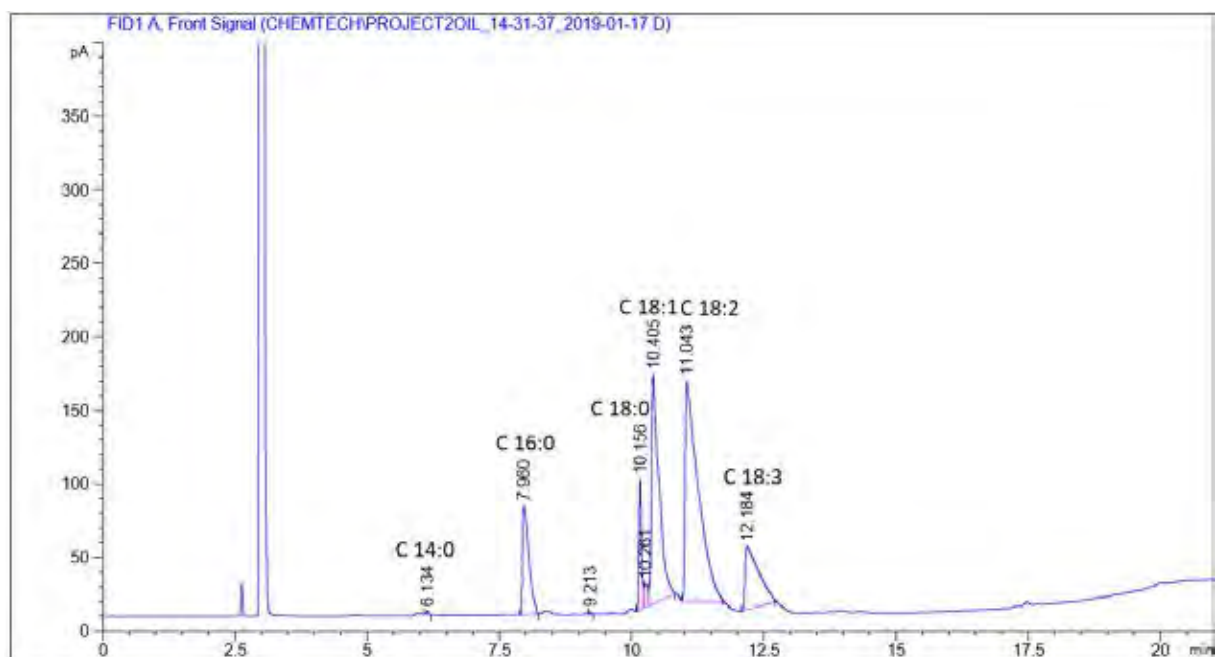
โดยที่	Yield	=	ร้อยละผลได้ของกรดไขมันจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส
	%FFA	=	ร้อยละของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์ชั้นน้ำมัน
	M_{prod}	=	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ในชั้นน้ำมันที่นำมาใช้ในการไทเทรต (g)
	M_{oil}	=	น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (g)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1. การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ

รูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography) จากผลการวิเคราะห์พบกรดลิโนเลอิก (C18:2) ร้อยละ 43.52 ตามด้วยกรดโอเลอิก (C18:1) ร้อยละ 25.93 กรดลิโนเลนิก (C18:3) ร้อยละ 13.08 กรดปาล์มิติก (C16:0) ร้อยละ 10.68 กรดสเตียริก (C18:0) ร้อยละ 5.20 กรดไมริสติก (C14:0) ร้อยละ 0.12 และองค์ประกอบอื่นๆ ร้อยละ 1.47 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ

องค์ประกอบในน้ำมัน	สูตรทางเคมี	ร้อยละ
กรดไขมัน		98.53
กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid)	C 18:2	43.52
กรดโอเลอิก (Oleic acid)	C 18:1	25.93
กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid)	C 18:3	13.08
กรดปาล์มิติก (Palmitic acid)	C 16:1	10.68

องค์ประกอบในน้ำมัน	สูตรทางเคมี	ร้อยละ
กรดสเตียริก (Stearic acid)	C 18:0	5.20
กรดไมริสติก (Myristic acid)	C 14:0	0.12
องค์ประกอบอื่นๆ		1.47
รวม		100

4.2. การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันเมล็ดยางพาราติบ

สมการที่ 5 แสดงสมการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันเมล็ดยางพาราติบจากการหาผลรวมของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดไขมันแต่ละชนิดที่พบในน้ำมัน จากการคำนวณได้น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันเมล็ดยางพาราติบ 872.81 กรัมต่อโมล

$$MW_{oil} = \sum x_i \times MW_i \quad (5)$$

โดยที่	MW_{oil}	=	น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันเมล็ดยางพาราติบ (g/mol)
	X_i	=	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดไขมันที่พบในน้ำมันเมล็ดยางพาราติบ
	MW_i	=	น้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (g/mol)
	i	=	ชนิดของกรดไขมัน

4.3. การศึกษาปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องต่อการผลิตกรดไขมัน

การหาภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณกรดไขมันสูงสุดสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสใช้โปรแกรม Design Expert 7.0.0 เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อน้ำ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ตารางที่ 4.2 แสดงปัจจัยทั้งหมดในการทดลองซึ่งกำหนดความดันคงที่ที่ 10 เมกะพาสคัล และตารางที่ 4.3 แสดงผลของการใช้โปรแกรมออกแบบการทดลองและร้อยละของกรดไขมัน

ตารางที่ 4.2 ปัจจัยทั้งหมดในการทดลองที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล

ปัจจัยที่ศึกษา	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง		
อุณหภูมิ (°C)	A	275	300	325
อัตราส่วนโดยโมล	B	1:30	1:50	1:70
เวลาในการทำปฏิกิริยา (min)	C	15	20	25

ตารางที่ 4.3 การออกแบบการทดลองและร้อยละของกรดไขมันที่ได้ที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล

ครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	อัตราส่วนโดยโมล	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min)	ร้อยละผลได้ของกรดไขมัน
1	275	1:30	15	30.87
2	325	1:30	25	53.22
3	325	1:50	20	78.46
4	325	1:30	15	58.15
5	275	1:30	15	23.00
6	325	1:70	25	55.39
7	325	1:30	15	57.12
8	275	1:70	15	46.45
9	325	1:70	15	59.57
10	275	1:70	25	56.34
11	300	1:70	20	61.84
12	300	1:50	20	66.79
13	300	1:50	25	66.14
14	275	1:70	25	48.73
15	325	1:70	15	69.18
16	300	1:70	20	54.48
17	300	1:50	15	62.27
18	275	1:30	25	70.05
19	300	1:50	25	64.80
20	300	1:30	20	50.88
21	275	1:50	20	47.53
22	275	1:30	25	61.77
23	275	1:50	20	48.08
24	275	1:70	15	40.70
25	300	1:50	20	64.53
26	325	1:30	25	53.22

ครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	อัตราส่วนโดยโมล	เวลาในการทำปฏิกิริยา (min)	ร้อยละผลได้ของกรดไขมัน
27	325	1:50	20	83.12
28	300	1:30	20	53.00
29	325	1:70	25	59.25
30	300	1:50	15	60.07

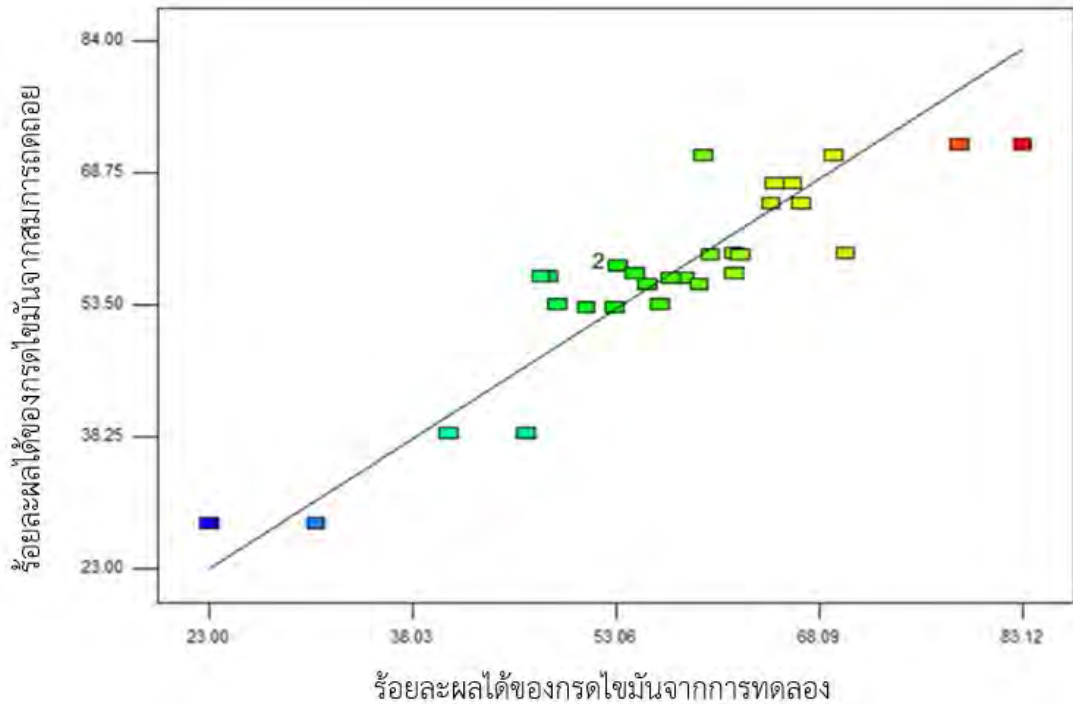
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของปัจจัยต่างๆในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันเมล็ดยางพาราติดกับน้ำภาวะกึ่งวิกฤต จากการสังเกตค่า p-value ซึ่งแสดงระดับนัยสำคัญของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน ($P\text{-value} < 0.05$) พบว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญคืออุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และผลรวมของอุณหภูมิกับเวลา จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างสมการถดถอยดังแสดงในสมการที่ 6 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ร้อยละ 81.50 โดยปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมันมากที่สุดคืออุณหภูมิ รองลงมาคือผลรวมของอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของปัจจัยต่างๆในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันเมล็ดยางพาราติดกับน้ำภาวะกึ่งวิกฤต

Source	Sum of square	Degree of freedom	Mean Square	F-Value	P-value
Model	0.3585	9	0.0398	9.7908	< 0.0001
A	0.1173	1	0.1173	28.8290	< 0.0001
B	0.0083	1	0.0083	2.0308	0.1696
C	0.0332	1	0.0332	8.1691	0.0097
AB	0.0014	1	0.0014	0.3526	0.5593
AC	0.0882	1	0.0882	21.6848	0.0002
BC	0.0267	1	0.0267	6.5525	0.0187
A ²	0.0003	1	0.0003	0.0743	0.7880
B ²	0.0516	1	0.0516	12.6766	0.0020
C ²	0.0016	1	0.0016	0.3845	0.5422
Residual	0.0814	20	0.0041		

$$Yield (\%) = 0.077A + 0.020B + 0.041C + 9.469 * 10^{-3}AB - 0.074AC - 0.041BC - 4.667x10^{-3}A^2 - 0.1B^2 - 0.017C^2 + 0.65 \quad (6)$$

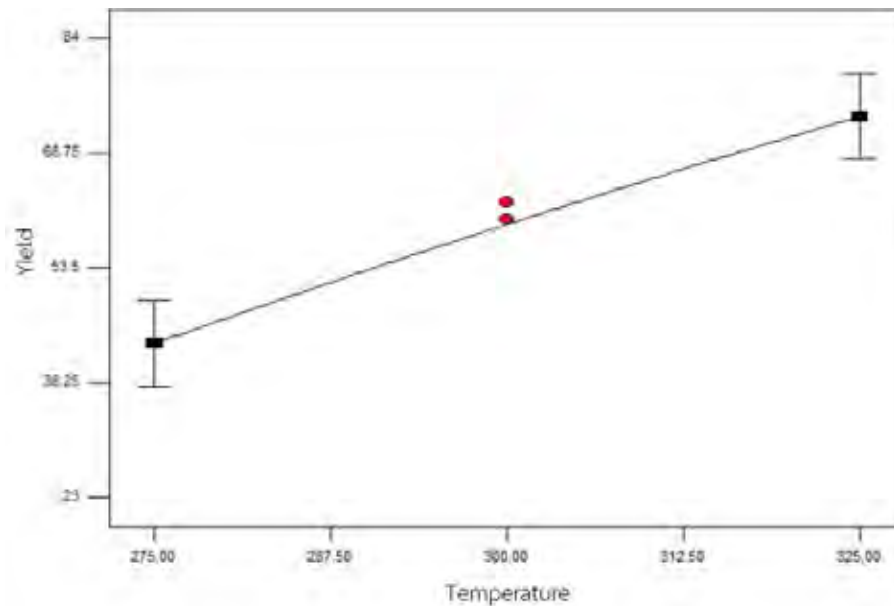
จากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของสมการโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละผลได้ของกรดไขมันจากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าจากสมการถดถอยในรูปที่ 4.2 พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่หนาแน่นอยู่บริเวณใกล้กับเส้นกราฟที่สร้างจากสมการถดถอย ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสมการถดถอยที่สร้างขึ้นเชื่อถือได้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละผลได้ที่ได้จากการทดลองกับค่าจากสมการ

4.3.1. ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน

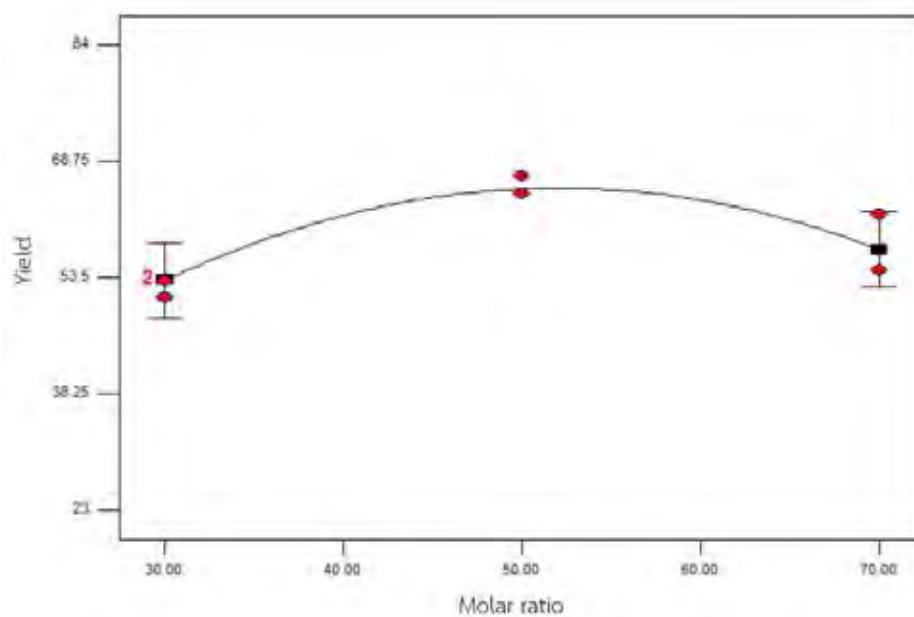
ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 275, 300 และ 325 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนโดยโมล 1:50 เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาทีแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจาก 275 ถึง 325 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลได้ของกรดไขมันเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 43.51 เป็น 73.68 โดยที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียสให้ร้อยละผลได้ของกรดไขมันมากที่สุด เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังรายงานในงานวิจัยของ Bruna และคณะ [24] ศึกษาการผลิตกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดครัมป์ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิช่วง 305 องศาเซลเซียส เป็น 320 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลได้ของกรดไขมันเพิ่มขึ้นจาก 84 เป็น 88



รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:50 เวลา 15 นาที

4.3.2. ผลของอัตราส่วนโดยโมลต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน

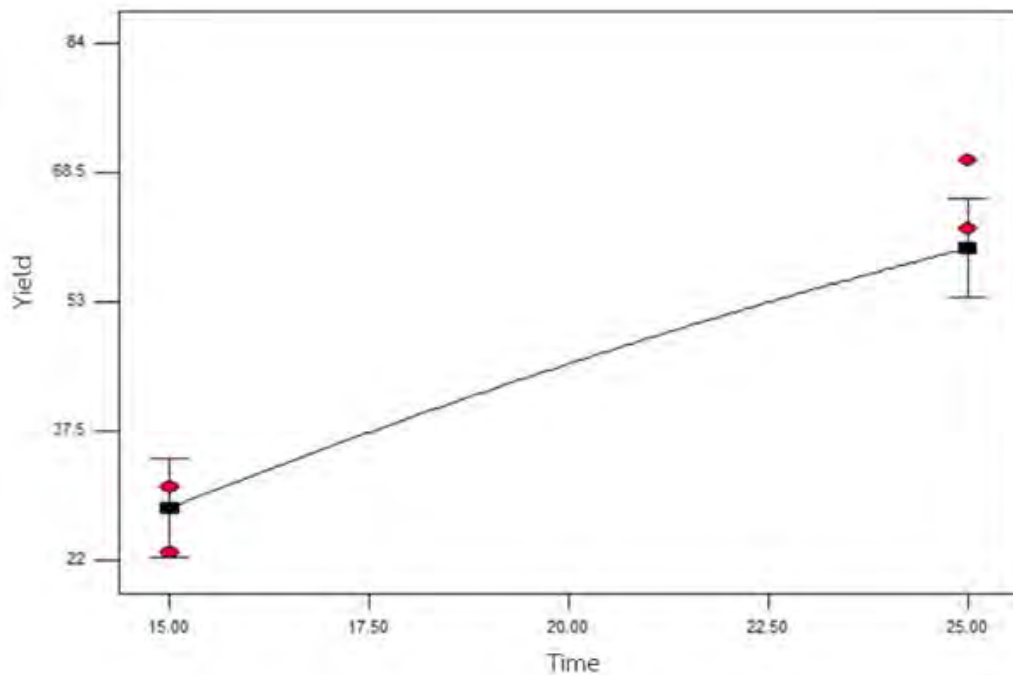
จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าผลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อน้ำส่งผลน้อยมากต่อผลการผลิตกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤต จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนโดยโมลจาก 1:30 เป็น 1:70 ทำให้ได้ร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 53.14 เป็นร้อยละ 57.20 ซึ่งผลคล้ายกับรายงานในงานวิจัยของ Pinto และ Lancas [26] ที่ศึกษาการผลิตกรดไขมันจากน้ำมันข้าวโพด พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของน้ำให้ร้อยละผลได้ของกรดไขมันเพิ่มขึ้นจาก 70 เป็น 75



รูปที่ 4.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมลต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

4.3.3. ผลของเวลาต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน

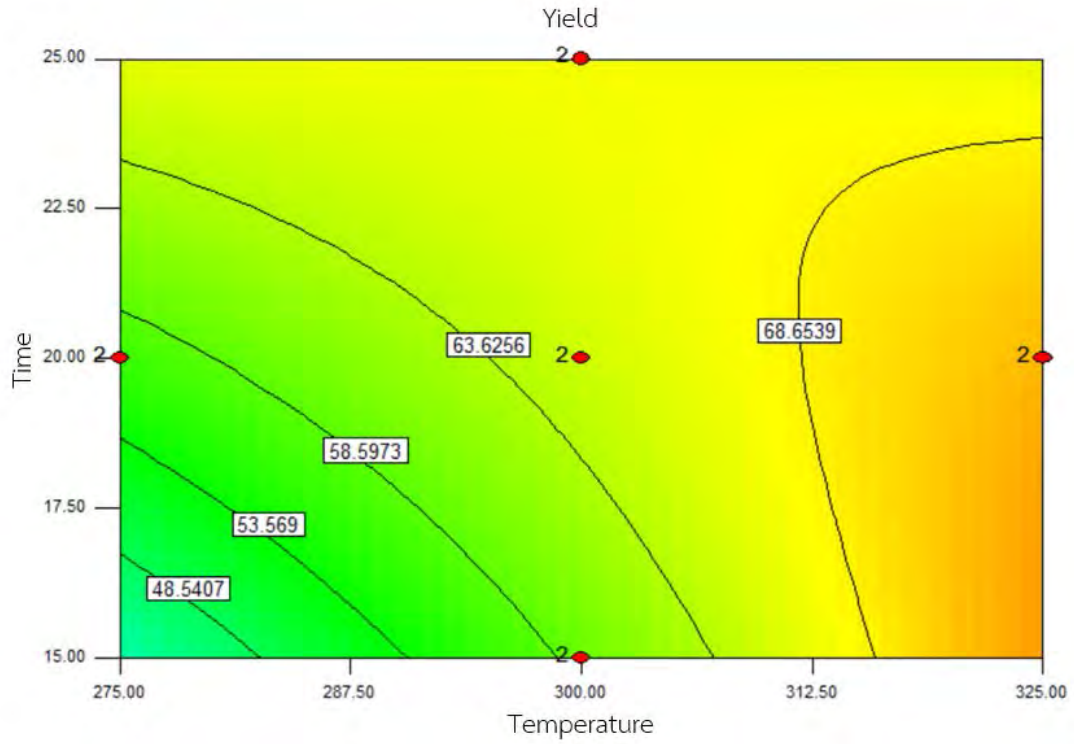
ผลการทดลองที่เวลาทำปฏิกิริยา 15, 20 และ 25 นาทีที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมล 1:30 แสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่าการเพิ่มขึ้นของเวลาจาก 15 เป็น 25 นาที มีแนวโน้มที่จะเกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น แสดงให้เห็นจากร้อยละผลได้ของกรดไขมันที่สูงขึ้นจากร้อยละ 28.33 เป็น 59.50 เพราะที่เวลา 15 นาทีปฏิกิริยายังไม่ถึงจุดสมดุล สารตั้งต้นจึงสามารถเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ดังที่รายงานในงานวิจัยของ Milliren และคณะ [27] ศึกษาการผลิตกรดไขมันจากน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าการเพิ่มเวลาของการทำปฏิกิริยาทำให้ร้อยละผลได้ของกรดไขมันเพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 88



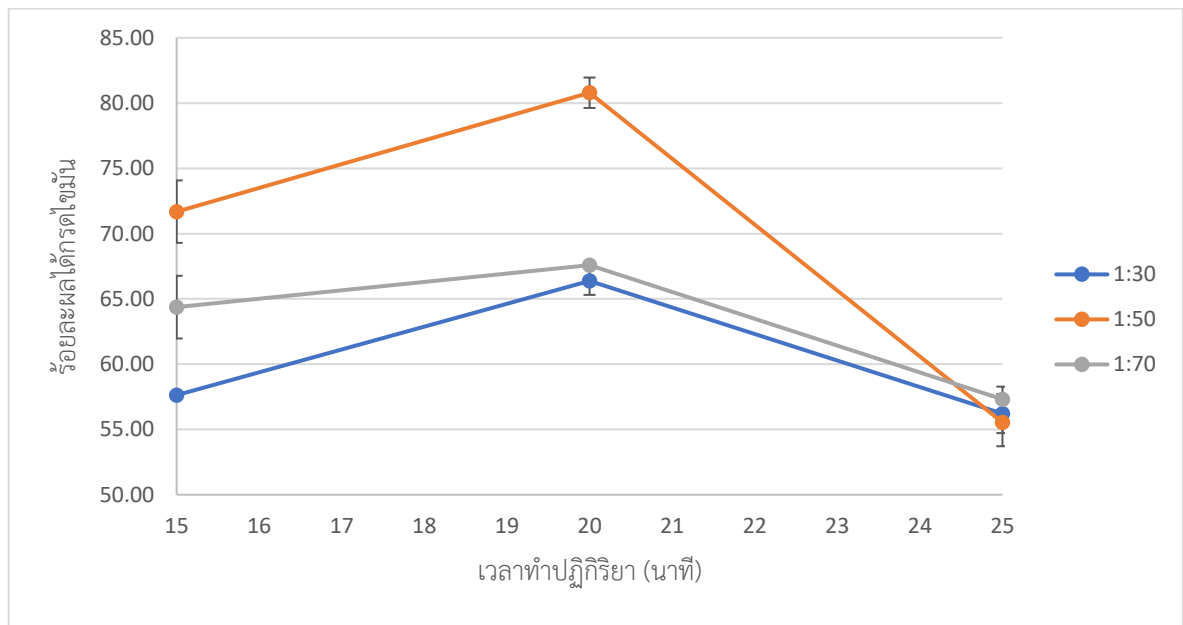
รูปที่ 4.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมันที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมล 1:30

4.3.4. ผลร่วมของอุณหภูมิและเวลาต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงผลของการเพิ่มอุณหภูมิจาก 275 ถึง 325 องศาเซลเซียสต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจาก 275 เป็น 325 องศาเซลเซียส ทำให้ร้อยละผลได้ของกรดไขมันเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส และเวลา 25 นาทีร้อยละผลได้ของกรดไขมันลดลงในทุกอัตราส่วนโดยโมล เนื่องจากเกิดการสลายตัวจากความร้อน (thermal decomposition) ของกรดลิโนเลอิกซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ ดังรายงานในงานวิจัยของ Shin และคณะ [23] กรดลิโนเลอิกเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส



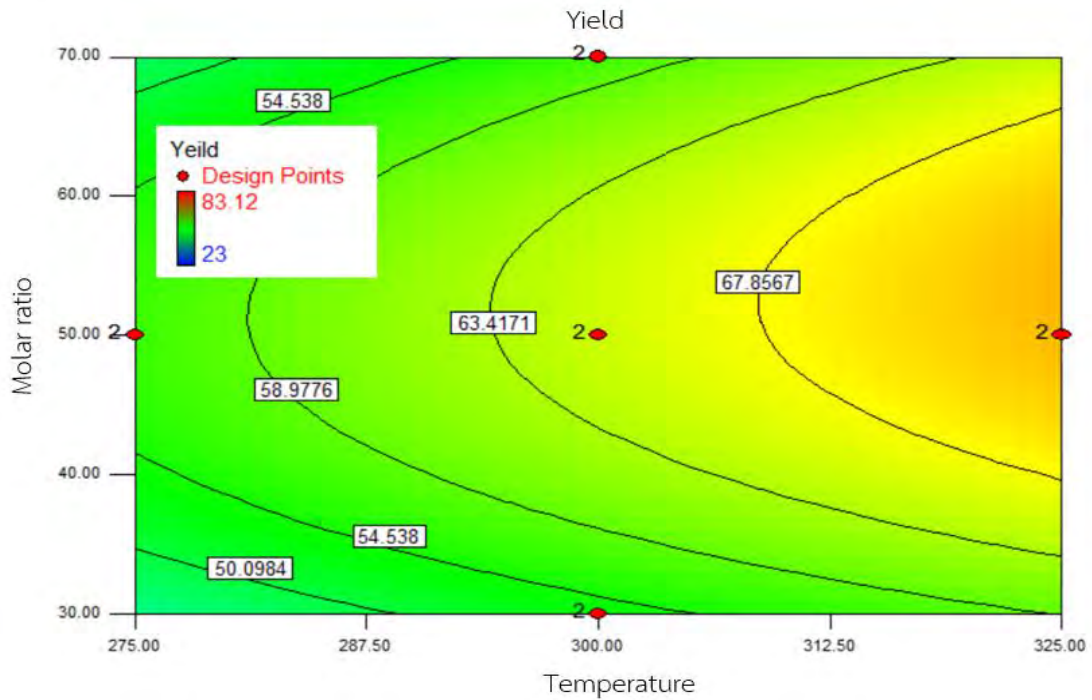
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลากับร้อยละผลได้กรดไขมัน



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมันที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส

4.4. การหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดไขมันอิสระ

จากการวิเคราะห์ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดไขมันอิสระด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface methodology) คือ อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อน้ำ 1:50 ให้ได้ร้อยละผลได้สูงสุด 71.82 และเมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบที่ภาวะดังกล่าวพบว่าได้ร้อยละผลได้ของกรดไขมัน 78.46 ± 1.17 คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 9.24



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลและอุณหภูมิกับร้อยละผลได้ที่เวลา 20 นาที

บทที่ 5

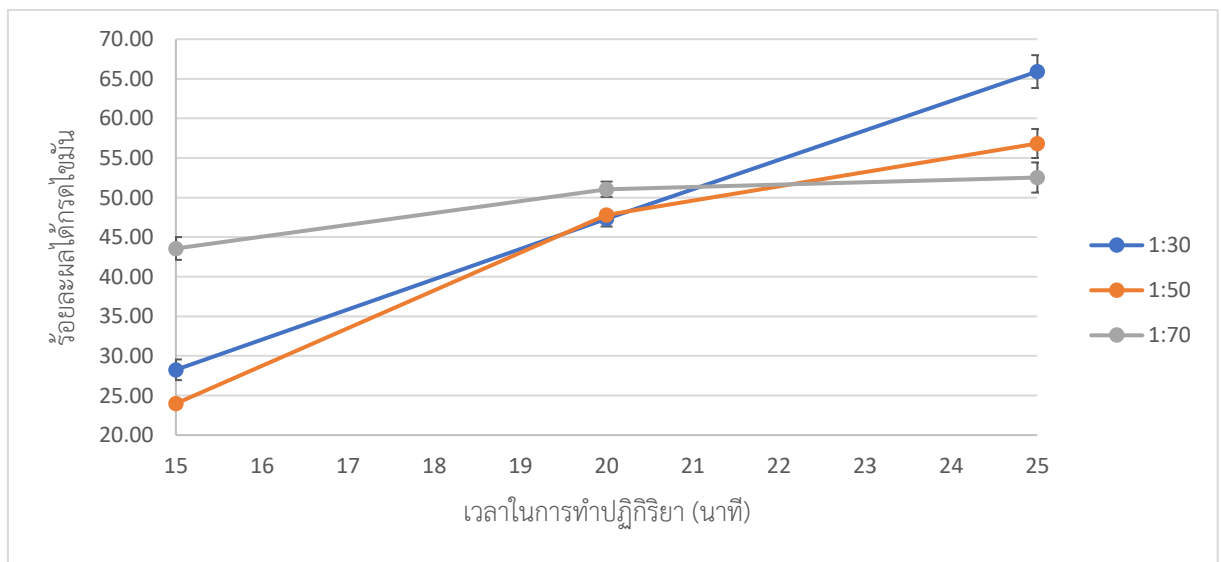
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในงานวิจัย

5.1. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองผลิตกรดไขมันจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำกึ่งวิกฤตพบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยามีผลต่อร้อยละผลได้ของกรดไขมัน โดยการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาจะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของกรดไขมันเพิ่มขึ้น อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อน้ำไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลรวมของอุณหภูมิกับเวลาพบว่าที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียสและเวลา 25 นาที จะทำให้ร้อยละผลได้ของกรดไขมันลดลงเนื่องจากการสลายตัวของความร้อนของกรดไขมัน และจากการวิเคราะห์หาภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของกรดไขมันสูงสุดจากสมการถดถอย พบว่าภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อน้ำ 1:50 ได้กรดไขมันร้อยละ 71.82 และเมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบที่ภาวะดังกล่าวได้กรดไขมันร้อยละ 78.46 ± 1.17 คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 9.24

5.2. ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

การทดลองนี้เป็นผลการทดลองเบื้องต้นและสามารถใช้เป็นข้อมูลในการขยายขนาดการผลิตในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง แต่จากผลการทดลองพบว่าเมื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละผลได้ของกรดไขมันที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 5.1 พบว่าที่เวลา 20 นาที อัตราส่วนโดยโมล 1:30 และ 1:50 มีช่วงความคลาดเคลื่อน (error bar) ทับกัน เนื่องจากในผลิตภัณฑ์พบชั้นน้ำมันน้อยทำให้แยกชั้นน้ำมันออกจากชั้นน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อยาก โดยผู้ทดลองจะนำข้อผิดพลาดนี้ไปแก้ไขปรับปรุงในอนาคตต่อไป



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้กรดไขมันที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 การคำนวณหาร้อยละของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ

องค์ประกอบ	retention time	พื้นที่	ร้อยละกรดไขมัน
C 14:0	6.134	7.18233	0.12
C 16:0	7.96	630.52722	10.68
C 18:0	10.156	307.02817	5.20
C 18:1	10.405	1530.30627	25.93
C 18:2	11.043	2568.16260	43.52
C 18:3	12.184	771.63220	13.08
อื่นๆ	9.213	4.13155	0.07
	10.261	82.38665	1.40
รวม		5901.35699	100

ตาราง ก.2 การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ

สูตรโมเลกุล		องค์ประกอบในไตรกลีเซอไรด์*				องค์ประกอบในน้ำมัน	
จำนวนคาร์บอนอะตอม	จำนวนพันธะคู่	C	H	O	น้ำหนักโมเลกุล	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	น้ำหนักโมเลกุล
14	0	45	86	6	723.16	0.00	0.89
16	0	51	98	6	807.32	0.11	87.54
18	0	57	110	6	891.48	0.05	47.07
18	1	57	104	6	885.44	0.26	233.02
18	2	57	98	6	879.39	0.44	388.39
18	3	57	92	6	873.34	0.13	115.89
					รวม	1.00	872.81

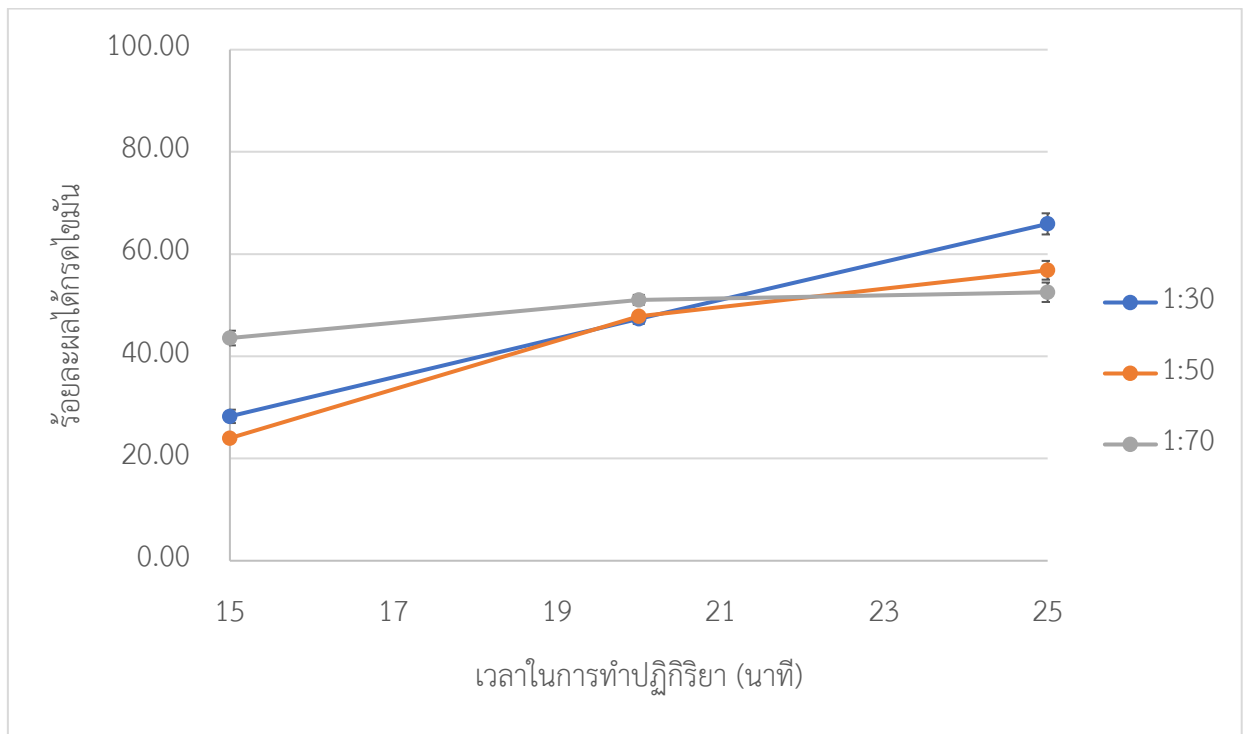
*องค์ประกอบในไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันเพียงชนิดเดียว

ตาราง ก.3 ผลการทดลองหาร้อยละผลได้ของไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤตที่ อุณหภูมิ 275, 300, 325 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อน้ำ 1:30, 1:50, 1:70 เวลาที่ใช้ในการทำ ปฏิกริยา 15, 20, 25 นาที ความดัน 10 เมกะพาสคัล

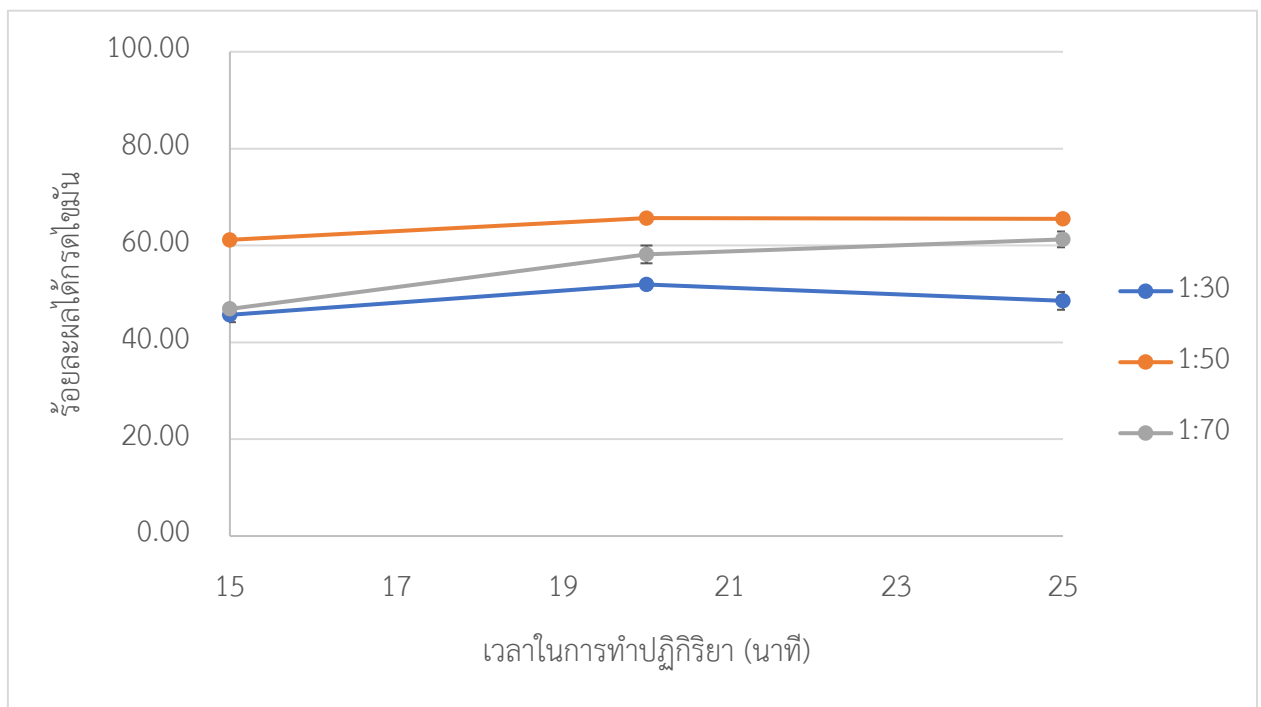
อัตราส่วน โดยโมล	275			300			325		
	15	20	25	15	20	25	15	20	25
1:30	30.8669	49.3291	70.0549	42.6450	50.8826	44.8863	58.1466	68.5139	53.2222
	25.6370	45.3463	61.7671	48.7158	53.0000	52.2510	57.1204	64.2394	59.2122
1:50	23.0019	47.5344	60.4976	62.2698	66.7887	66.1411	66.8992	78.4618	59.2239
	24.9722	48.0847	53.1578	60.0673	64.5266	64.8016	76.4728	83.1250	51.8770
1:70	46.4470	52.9812	56.3400	45.8709	61.8356	57.9949	59.5658	67.5443	55.3869
	40.6953	49.1150	48.7252	47.9228	54.4775	64.5238	69.1770	67.6275	59.2455

ตาราง ก.4 ผลการทดลองหาร้อยละผลได้ของไขมันอิสระเฉลี่ยจากน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบในน้ำภาวะกึ่งวิกฤต ที่อุณหภูมิ 275, 300, 325 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อน้ำ 1:30, 1:50, 1:70 เวลาที่ใช้ในการทำ ปฏิกริยา 15, 20, 25 นาที ความดัน 10 เมกะพาสคัล

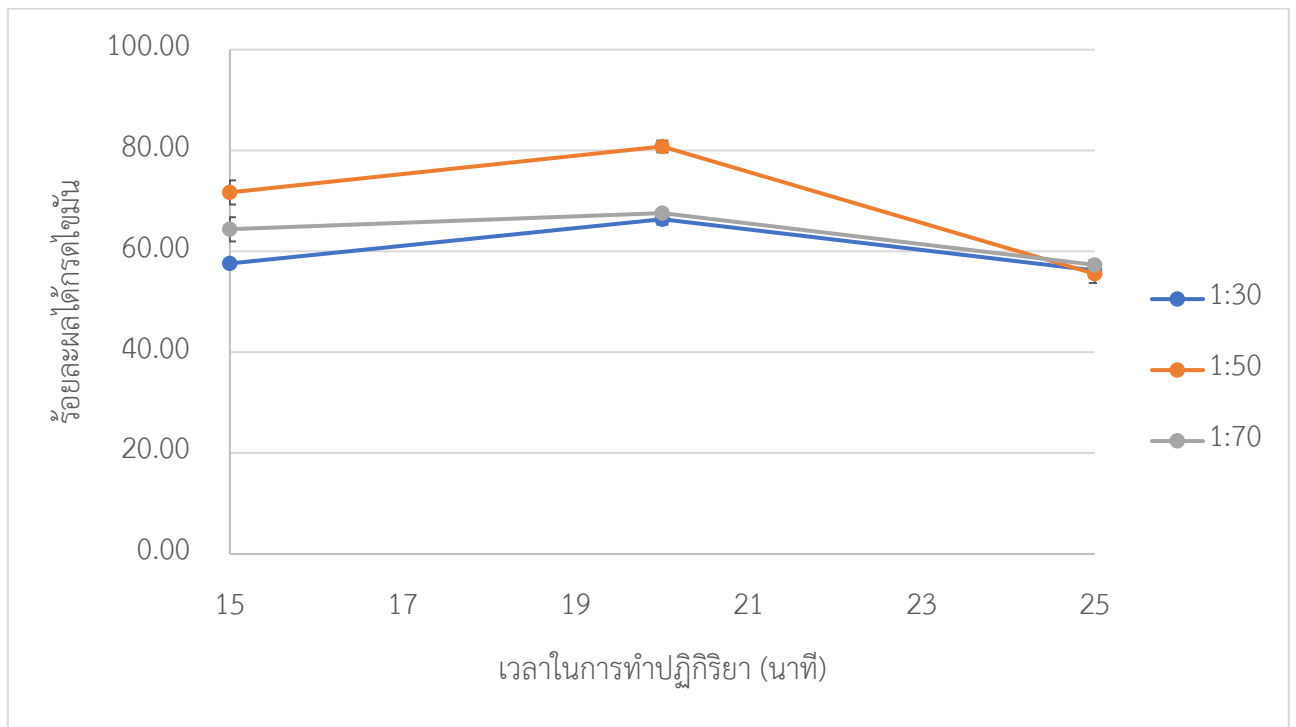
อัตราส่วน โดยโมล	275			300			325		
	15	20	25	15	20	25	15	20	25
1:30	28.25	47.34	65.91	45.68	51.94	48.57	57.63	66.38	56.22
1:50	23.99	47.81	56.83	61.17	65.66	65.47	71.69	80.79	55.55
1:70	43.57	51.05	52.53	46.90	58.16	61.26	64.37	67.59	57.32



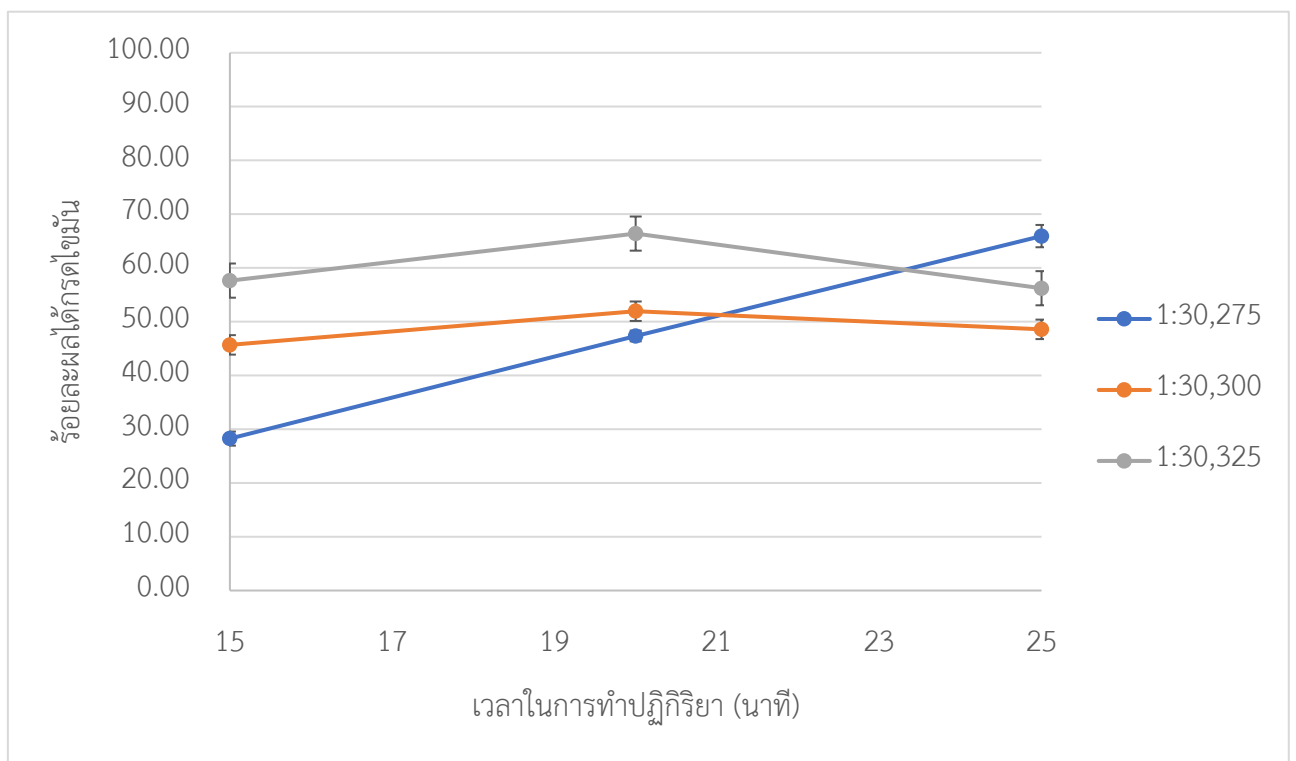
รูป ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้กรดไขมันที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส



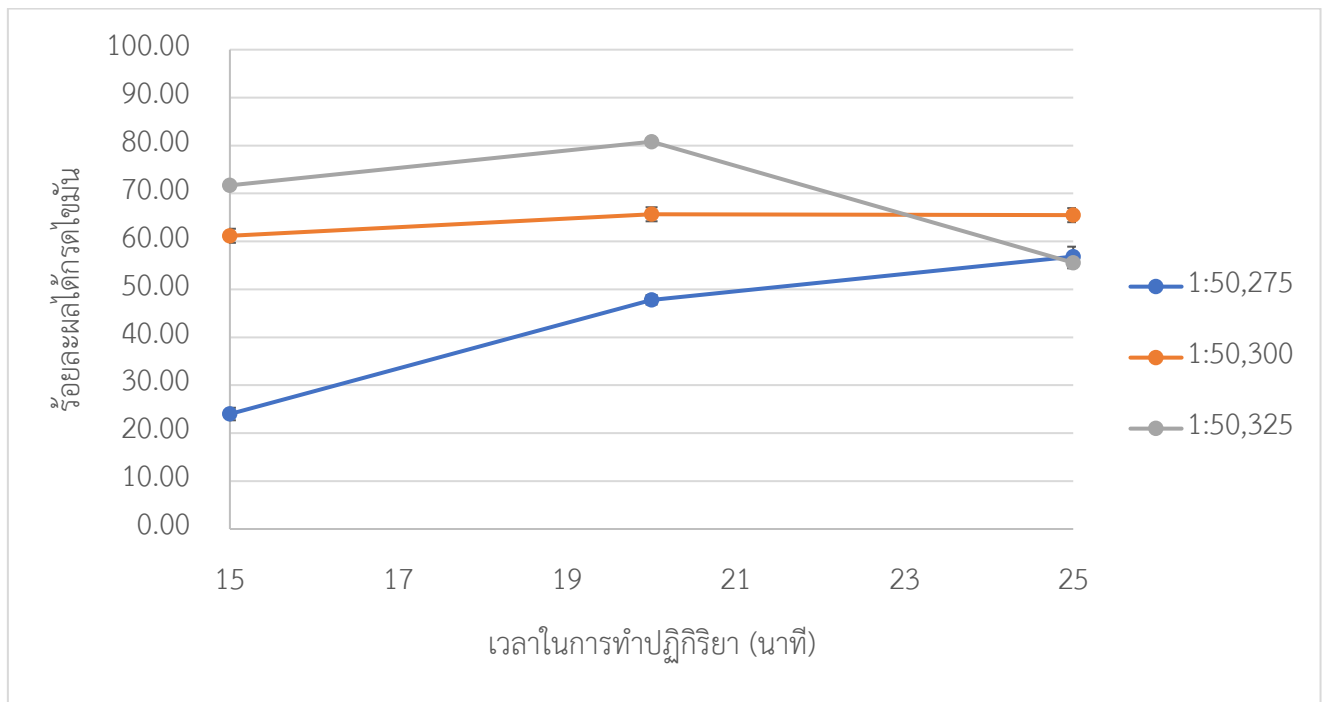
รูป ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้กรดไขมันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



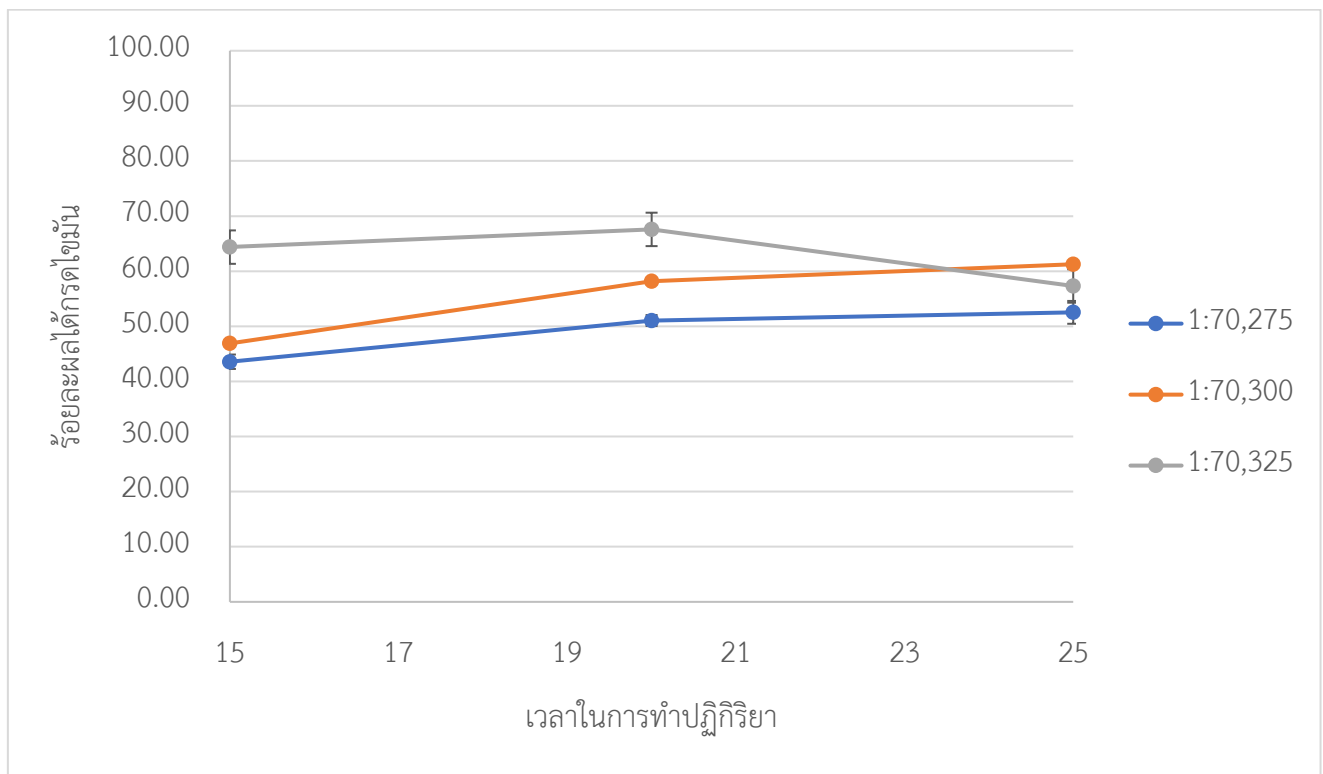
รูป ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้กรดไขมันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูป ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้กรดไขมันที่อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อน้ำ 1:30



รูป ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้กรดไขมันที่อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อน้ำ 1:50



รูป ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้กรดไขมันที่อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อน้ำ 1:70

บรรณานุกรม

- [1] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. ยางพาราพัฒนาโลก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=3&chap=4&page=t3-4-infodetail01.html> [5 พฤศจิกายน 2561].
- [2] รัตนา. “น้ำมันเมล็ดยางพารา”. กองแผนงาน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2552).
- [3] วรณวิไล ไกรเพชร และคณะ. “การผลิตดีเซลชีวภาพจากน้ำมันเมล็ดยางพารา”. วรสารวิศวกรรมศาสตรมหาศ ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 : 9.
- [4] P. Thaiyasuit, K. Pianthong, and I. Worapun, “Acid Esterification-Alkaline Transesterification Process for Methyl Ester Production from Crude Rubber Seed Oil”. **Japan Oil Chemist Society** 61. 2012. 81-88.
- [5] M. Nic, J. Jirat, B. Kosata. Aliphatic compounds. [online]. 2014. Available from : <http://gold-book.iupac.org/html/A/A00217.html> [2018, April 23].
- [6] กรดไขมัน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/กรดไขมัน> [23 เมษายน 2561].
- [7] นัยนา บุญทวีวัฒน์. 2553. ชีวเคมีทางโภชนาการ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://ag2.kku.ac.th/eLearning/137748/Doc%5CChapter%204%20Lipid%20and%20fatty%20acid.pdf> [23 เมษายน 2561].
- [8] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนาปนนท์. linoleic acid / กรดลิโนเลอิก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1647/linoleic-acid-กรดลิโนเลอิก> [23 เมษายน 2561].
- [9] P. May. Linoleic Acid. [online]. 2006. Available from : <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/linoleic/linh.htm>[2018, April 23].
- [10] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนาปนนท์. Oleic acid / กรดโอเลอิก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1647/Oleic-acid-กรดโอเลอิก> [23 เมษายน 2561].
- [11] S. Carson. How do I know which end of an oleic acid molecule is hydrophilic?. [online]. 2016. Available from : <https://www.quora.com/How-do-I-know-which-end-of-an-oleic-acid-molecule-is-hydrophilic> [2018, April 23].
- [12] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนาปนนท์. Linolenic acid / กรดลิโนเลนิก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1647/linolenic-acid-กรดลิโนเลนิก> [23 เมษายน 2561].
- [13] A. Vorbehalten. Linolenic acid Produkt Beschreibung. [online]. 2017. Available from : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1647/linolenic-acid-กรดลิโนเลนิก>

- //www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_DE_CB81099834.htm [2018, April 23].
- [14] National Center for Biotechnology Information. Linoleic Acid. [online]. Available from : https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/linoleic_acid#section=Top [2018, November 5].
- [15] National Center for Biotechnology Information. Oleic Acid. [online]. Available from : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/445639#section=Top> [2018, November 5].
- [16] National Center for Biotechnology Information. Linolenic Acid. [online]. Available from : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5280934#section=Top> [2018, November 5].
- [17] R. L. Holiday, J.W. King, G.R. List. "Hydrolysis of vegetable oils in sub- and supercritical water, **Industrial & Engineering Chemistry Research** 36 (1997) : 932-935"
- [18] ปราโมทย์ คูวิจิตรจากร. "การปรับปรุงคุณสมบัติของกากมะพร้าวด้วยน้ำกึ่งวิกฤติ". **Industrial Crops and Products** 12 (2555) : 7-8.
- [19] N. Lourith, M. Kanlayavattanakul, A. Sucontphunt, T. Ondee. "Para Rubber Seed Oil: New Promising Unconventional Oil for Cosmetics". **Journal of Oleo Science** (2014) : 709-716.
- [20] H. Y. Shin, S. M. Lim, S. Y. Bae, S. C. Oh. "Thermal decomposition and stability of fatty acid methyl esters in supercritical". **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** 92 (2011) : 332-338.
- [21] R. Alenezi, G. A. Leeke, R. C. D. Santos, A. R. Khanb. "Hydrolysis kinetics of sunflower oil under subcritical water conditions". **chemical engineering research and design** 87 (2009) : 867-873.
- [22] J. H. Ryu, H. Y. Shin. "Optimization of fatty acids production from lard via subcritical water-mediated hydrolysis". **Korean Chemical Engineering Research** 53 (2015): 199-204.
- [23] H.Y. Shin, J. H. Ryu, S.Y. Park, S.Y. Bae. "Thermal stability of fatty acids in subcritical water". **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** 98 (2012): 250-253.
- [24] F. Mello, B.T., et al., "Hydroesterification of crambe oil (Crambe abyssinica H.) under pressurized conditions". **Industrial Crops and Products** 97 (2017) : 110-119.
- [25] R. Alenezi, et al., "Hydrolysis kinetics of sunflower oil under subcritical water conditions". **Chemical Engineering Research and Design** 87 (2009): 867-873.
- [26] Pinto, J.S. Lancas. "Hydrolysis of corn oil using subcritical water". **Journal of the Brazilian Chemical Society** 17 (2006): 85-89.
- [27] Milliren, L. Amber, C. Joshua, "Kinetics of soybean oil hydrolysis in subcritical water". **Fuel** 108 (2013): 277-281.