สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืชที่เร่งปฏิกิริยาด้วย Lypozyme TL IM ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด

INTERESTERIFICATION OF VEGETABLE OILS CATALYZED BY LYPOZYME TL IM ENZYME IN A PACKED-BED REACTOR

ศรัณย์ช. สุยสุวรรณ

SARUNCHOR SUISUWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-9709-88-8

วน. ศ161 ป 2547

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 51525

วัน,เดือน,ปี 2 2 ก.ค. 2547

11101999

b.....

i.....

สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTERESTERIFICATION OF VEGETABLE OILS CATALYZED BY LYPOZYME TL IM ENZYME IN A PACKED-BED REACTOR

SARUNCHOR SUISUWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN PETROCHEMICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974–9709–88-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืชที่เร่งปฏิกิริยาด้วย Lypozyme TL IM ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด**
นักศึกษา	นายศรัณย์ช. สุขสุวรรณ
รหัสประจำตัว	42061212
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมปิโตรเคมี
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืช 3 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว โดยใช้เอนไซม์ตรึงไลโปไซม์ทีแอลไอเอ็ม (Lypozyme TL IM) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด ได้เป็นน้ำมันหรือไขมันพืชที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะจุดหลอมเหลว สภาวะที่ทำการทดลองคืออุณหภูมิ 60 65 และ 70°C และเรซิเดนซ์ไทม์อยู่ในช่วงระหว่าง 0.72 ถึง 2.07 ชม. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าจุดหลอมเหลวด้วยวิธีมาตรฐานของ A.O.C.S. วิเคราะห์จำแนกชนิดของไตรกลีเซอไรด์และหาปริมาณของกรดไขมันอิสระ จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 33.5 ถึง 48°C เทียบกับน้ำมันปาล์มเริ่มต้นที่มีจุดหลอมเหลว 22.5°C สำหรับน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าวนั้นไม่สามารถที่จะหาค่าจุดหลอมเหลวด้วยวิธีมาตรฐาน A.O.C.S. จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่อุณหภูมิการทดลอง 70°C มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 65 และ 60°C ตามลำดับ สำหรับที่อุณหภูมิเดียวกัน จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลการทดลองจะแปรผันกับค่าเรซิเดนซ์ไทม์ของน้ำมันพืชที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Interesterification of Vegetable Oils Catalyzed by Lypozyme TL IM Enzyme in a Packed-bed Reactor
Student	Mr. Sarunchor Suisuwan
Student ID.	42061212
Degree	Master of Engineering
Programme	Petrochemical Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Prakob Kitchaiya

ABSTRACT

This research proposes a study of interesterification of three vegetable oils that rarely palm oil, soybean oil and rice bran oil. The reaction was catalyzed by an immobilized enzyme, Lypozyme TL IM, which was packed in a packed-bed reactor. The fat or oil products had some physical property changes, especially the melting point. The experiment conditions were reaction temperatures at 60, 65 and 70°C, and residence time in the range of 0.72 – 2.07 hours. The products were be analyzed for the melting point, according to A.O.C.S. standard, triglyceride composition and the amount of free fatty acid. Melting point of the products from palm olein was found to be in the range of 33.5 to 48°C. Melting point of soybean and rice bran oils including their products was too low to be determined by the standard method. Higher reaction temperature resulted higher melting point products. At the same reaction temperature, product melting point would vary directly with the residence time of palm oil in the packed-bed reactor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ดูแลเอาใจใส่และให้การสนับสนุนตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท อีสต์เอเชียติ๊ก (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เอนไซม์ตรึง Lypozyme TL IM

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนส่งเสริมการวิจัย ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความความช่วยเหลือด้านต่างๆ

คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับ ณ ที่นี้

ศรัณย์ช. สุยสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....4

1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....4

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....4

บทที่ 2 ทฤษฎี.....5

2.1 นิยามของลิปิด.....5

2.1.1 ลิปิดเชิงเดี่ยว.....5

2.1.2 ลิปิดเชิงประกอบ.....10

2.1.3 ลิปิดอนุพันธุ์.....13

2.2 น้ำมันพืช.....14

2.2.1 น้ำมันปาล์ม.....15

2.2.2 น้ำมันถั่วเหลือง.....17

2.2.3 น้ำมันรำข้าว.....19

2.3 ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น.....20

2.3.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการจัดเรียงตัวใหม่ทางเคมี.....21

2.3.2 ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นทางเคมีแบบสุ่ม.....23

2.3.3 ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นทางเคมีแบบตรง.....24

2.3.4 ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....28

บทที่ 4 เครื่องมือและการดำเนินงานวิจัย.....30

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....30

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด.....30

4.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์หาค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์...31

4.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์.....31

4.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองหาปริมาณกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์.....31

4.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....31

4.2.1 สารเคมีสำหรับการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด.....31

4.2.2 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์.....31

4.2.3 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์.....31

4.3 วิธีการทดลอง.....32

4.3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....32

4.3.2 ขั้นตอนการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด.....32

4.3.3 ขั้นตอนการทดลองปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด.....33

4.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง.....33

4.4.1 การวิเคราะห์หาค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน A.O.C.S Official Method Cc 1 – 25.....33

4.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์.....33

4.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณของกรดไขมันอิสระตามมาตรฐาน A.O.C.S Official Method Ca 5a – 40.....34

บทที่ 5 ผลการทดลอง.....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.1 ผลการทดลองหาจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์โดยใช้อุณหภูมิ และ เรซิเดนซ์ไทม์ เป็นปัจจัยของการทดลอง.....36
5.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....39
5.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....44
5.4 การทำนายจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์โดยใช้กฎการผสม.....47

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....49

เอกสารอ้างอิง.....50

ภาคผนวก.....52
ภาคผนวก ก เอนไซม์ตรึงไลโปไซม์ทีแอลไอเอ็ม (Lypozyme TL IM).....53
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง.....54
ภาคผนวก ค ข้อมูลของเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์.....66
ภาคผนวก ง จุดหลอมเหลวที่ได้จากการทำนายด้วยกฎการผสม.....70
ภาคผนวก จ ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืช.....71

ประวัติผู้เขียน.....73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ค่าจุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์โดยทั่วไป....3

2.1 กรดไขมันที่พบมากในธรรมชาติ....7

2.2 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันและน้ำมันบางชนิด....8

2.3 ฟอสโฟลิปิดที่พบในธรรมชาติ....12

2.4 ปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ผลิตน้ำมันพืช....15

2.5 คุณลักษณะของน้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มโอเลอิน และไขปาล์มสเตียริน....16

2.6 คุณลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของน้ำมันถั่วเหลือง....18

2.7 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันรำข้าวและ groundnut oil... 19

4.1 ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ที่ใช้ในการไตเตรทตามปริมาณของเปอร์เซนต์กรดไขมันอิสระ ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์....35

ข.1 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 ชม. 54

ข.2 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.13 ชม. 55

ข.3 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.44 ชม. 56

ข.4 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 2.07 ชม. 57

ข.5 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 65 °C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 ชม. 58

ข.6 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.11 ชม. 59

ข.7 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.44 ชม. 60

ข.8 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 2.07 ชม. 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข.9 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.72 ชม. 62

ข.10 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.98 ชม. 63

ข.11 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.40 ชม. 64

ข.12 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง70 °C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.98 ชม. 65

ค.1 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต.....67

ค.2 น้ำหนักของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้หาปริมาณกรดไขมันอิสระ.....67

ค.3 น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้หาปริมาณกรดไขมันอิสระ.....67

ค.4 ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....68

ค.5 ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....68

ค.6 แสดงเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....69

ค.7 แสดงเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....69

ง.1 ค่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนทำปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นที่ทำนายโดยกฎการผสม.....70

ง.2 ค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอินด้วยกฎการผสม.....70

จ.1 องค์ประกอบของไขมันในมาร์การีนโดยทั่วไป.....71

จ.2 องค์ประกอบของไขมันในชอทเทนนิ่งโดยทั่วไป.....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของไตรแอซิลกลีเซอรอล.....5

2.2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่หมู่คาร์บอกซิกลิกคของกรดไขมัน.....9

2.3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมัน..... 9

2.4 โครงสร้างทั่วไปของขี้ผึ้งบางชนิด.....10

2.5 แอล – ฟอสโฟลิปิด.....11

2.6 พลาสมาโลเจน.....11

2.7 สฟิงโกไลปิด.....11

2.8 Perhydrocyclopentanophenanthrene ring.....14

4.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบดภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิ.....30

5.1 ความสัมพันธ์ของเรซิเดนซ์ไทม์ซึ่งมีผลต่อจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำการทดลองคือ 60°C.....36

5.2 ความสัมพันธ์ของเรซิเดนซ์ไทม์ซึ่งมีผลต่อจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำการทดลองคือ 65°C.....37

5.3 ความสัมพันธ์ของเรซิเดนซ์ไทม์ซึ่งมีผลต่อจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำการทดลองคือ 70°C.....37

5.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของเรซิเดนซ์ไทม์กับค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ระหว่างการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 60, 65 และ 70°C.....38

5.5 โครมาโตแกรมของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนเข้าทำปฏิกิริยา.....40

5.6 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 60°C และเรซิเดนซ์ไทม์คือ 0.73 ชม.....41

5.7 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 60°C และเรซิเดนซ์ไทม์คือ 2.07 ชม.....41

5.8 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 65°C และเรซิเดนซ์ไทม์คือ 0.73 ชม.....42

5.9 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 65°C และเรซิเดนซ์ไทม์คือ 2.07 ชม.....42

5.10 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 70°C และเรซิเดนซ์ไทม์คือ 0.72 ชม.....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.11 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 70 °C และเรซิเดนซ์ไทม์คือ 1.99 ชม. 43

5.12 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบสัดส่วนโดยพื้นที่ของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆในน้ำมันปาล์มโอเลอินและผลิตภัณฑ์ที่การทดลองต่างๆ โดยที่ PO แทนด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน, 60-L และ 60- H แทนด้วยการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 และ 2.07 ชม. ตามลำดับ, 65-L และ 65- H แทนด้วยการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 และ 2.07 ชม. ตามลำดับ และ 70-Lและ 70- H แทนด้วยการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.72 และ 1.99 ชม. ตามลำดับ.....44

5.13 ปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิของการทดลองคือ 60°C.....45

5.14 ปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิของการทดลองคือ 65°C.....45

5.15 ปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิของการทดลองคือ 70°C.....46

5.16 การเปรียบเทียบปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิของการทดลองคือ 60, 65, และ 70°C.....46

5.17 การเปรียบเทียบจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอินระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยกฎการผสมกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตราฐาน A.O.C.S Cc 1-25 โดยสภาวะการทดลองที่ทำการเปรียบเทียบกันคือเรซิเดนซ์ไทม์ 2 ชม. 48

ข.1 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคืออุณหภูมิ 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 ชม. 54

ข.2 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคืออุณหภูมิ 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.13 ชม. 55

ข.3 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคืออุณหภูมิ 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.44 ชม. 56

ข.4 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคืออุณหภูมิ 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 2.07 ชม. 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ข.5 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 ชม. 58

ข.6 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.11 ชม. 59

ข.7 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.44 ชม. 60

ข.8 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 2.07 ชม. 61

ข.9 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.72 ชม. 62

ข.10 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.98 ชม. 63

ข.11 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.40 ชม. 64

ข.12 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.98 ชม. 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

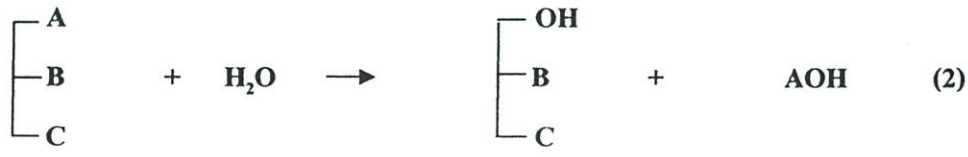
ประเทศไทยสามารถผลิตน้ำมันพืชได้หลายชนิดที่มีความเพียงพอสำหรับการบริโภคและอุปโภคภายในประเทศ และราคาของน้ำมันพืชที่วางขายอยู่ก็มีราคาไม่สูงนัก การนำน้ำมันพืชมาทำให้มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้นจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม เช่น เนยเทียมและสารแทนเนยโกโก้ ถ้าสามารถนำน้ำมันพืชที่มีอยู่หลายชนิดมาเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ในระดับอุตสาหกรรมก็จะ เป็นการเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้และอาจทำให้ราคาของน้ำมันพืชมีระดับที่สูงขึ้น เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณการนำเข้าจากต่างประเทศ หรืออีกนัยหนึ่งช่วยประเทศลดการขาดดุลทางการค้ากับต่างประเทศ

การแปรรูปน้ำมันพืชให้มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้นนั้นโดยทั่วไปนิยมใช้ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนเข้าไปในพันธะคู่ของกลีเซอไรด์ แต่เนื่องจากกรรมวิธีนี้มีโอกาสที่จะเกิดไอโซเมอร์แบบทรานส์และกรดไขมันแบบอิ่มตัวซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดคลอเรสเตอรอลที่ไม่ดี ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและเริ่มไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค [1] จึงได้มีการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตโดยใช้ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นมาทดแทนปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน นอกจากนี้ได้มีการนำเอนไซม์มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่มีไอโซเมอร์แบบทรานส์เกิดขึ้นและปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์จะมีเท่าเดิมเหมือนกับน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

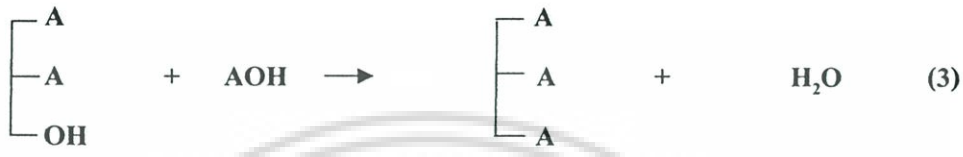
การเพิ่มจุดหลอมเหลวของน้ำมันพืชด้วยปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเดิมจะมีการเติมน้ำลงไปในน้ำมันพืชด้วย เพื่อให้เกิดขั้นตอนของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส กรดไขมันจะแตกตัวออกจากไตรกลีเซอไรด์เดิมแล้วเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ กลับมาทำปฏิกิริยากับไดกลีเซอไรด์ได้ไตรกลีเซอไรด์ใหม่ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม คือมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น การเกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืชโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีกลไกของการเกิดปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้ [4,11]

ไตรกลีเซอไรด์ชนิดที่ 1 น้ำ ไดกลีเซอไรด์ชนิดที่ 1 กรดไขมันอิสระชนิดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไตรกลีเซอไรด์ชนิดที่ 2 น้ำ ไดกลีเซอไรด์ชนิดที่ 2 กรดไขมันอิสระชนิดที่ 2



ไดกลีเซอไรด์ชนิดที่ 1 กรดไขมันอิสระชนิดที่ 2 ไตรกลีเซอไรด์ชนิดที่ 3 น้ำ

หมายเหตุ A, B และ C คือหมู่แอซิลของกรดไขมันและ ⌐ คือหมู่กลีเซอริล

ปฏิกิริยาที่ 1 และ 2 คือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ได้กรดไขมันและปฏิกิริยาที่ 3 คือปฏิกิริยาการเกิดไตรกลีเซอไรด์ใหม่ ซึ่งไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆที่ได้มีรายงานค่าจุดหลอมเหลวแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 อย่างไรก็ดีการเติมน้ำมากเกินไปจะทำให้ได้กรดไขมันอิสระแตกตัวออกมามาก ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับนั้นมีจุดหลอมเหลวที่ลดลงและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกรดไขมันอิสระปนเปื้อนอยู่มาก [2] เมื่อเร็วๆนี้ได้มีการพัฒนาเอนไซม์ชนิดใหม่ขึ้นมาคือ เอนไซม์ไลโปไซม์ทีแอลไอเอ็ม เป็นเอนไซม์แบบตรึงชนิดใหม่ทำปฏิกิริยาจำเพาะที่ตำแหน่ง 1 และ 3 ของไตรกลีเซอไรด์และไม่จำเป็นต้องใช้น้ำเติมลงไปในขั้นตอนการทำปฏิกิริยา ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากการใช้เอนไซม์ชนิดนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีคุณภาพตรงตามที่ต้องการเหมาะที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบดเมื่อทำการแปรสภาวะการทดลอง คือ อุณหภูมิและเรซิเดนซ์ไทม์จะมีผลอย่างไรต่อจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้จะทำการตรวจสอบชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้นใหม่ และทดสอบกฎการผสม (Mixing rule) ในการทำนายคุณสมบัติจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ค่าจุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์โดยทั่วไป [12]

ไตรกลีเซอไรด์	จุดหลอมเหลว(°C)
Trisaturate	
Stearic – Stearic - Stearic (SSS)	**65.0**
Stearic - Stearic - Palmitic (SSP)	**61.1**
Stearic – Palmitic - Palmitic (SPP)	**60.0**
Palmitic - Palmitic - Palmitic (PPP)	**56.1**
Disaturate - Monounsaturate	
Stearic – Stearic - Oleic (SSO)	**41.7**
Stearic - Palmitic - Oleic (SPO)	**37.8**
Palmitic – Palmitic - Oleic (PPO)	**35.0**
Stearic - Stearic - Linoleic (SSL)	**32.8**
Stearic – Palmitic - Linoleic (SPL)	**30.0**
Palmitic – Palmitic - Linoleic (PPL)	**27.2**
Diunsaturate – Monosaturate	
Steric – Oleic - Oleic (SOO)	**22.8**
Oleic – Oleic – Palmitic (OOP)	**15.6**
Stearic – Oleic - Linoleic (SOL)	**6.1**
Stearic – Linoleic - Linoleic (SLL)	**1.1**
Palmitic - Linoleic – Oleic (PLO)	**-2.8**
Palmitic – Linoleic - Linoleic (PLL)	**-5.6**
Triunsaturate	
Oleic-Oleic-Oleic (OOO)	**5.6**
Oleic-Oleic-Linoleic (OOL)	**-1.1**
Oleic-Linoleic-Linoleic (OLL)	**-6.7**
Linoleic-Linoleic-Linoleic (LLL)	**-13.3**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การเกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์ตรึง Lypozyme TL IM เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบดจะทำให้น้ำมันพืชมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป คือมีจุดหลอมเหลวที่สูงขึ้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ ในน้ำมันพืชที่ผ่านขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา การทดลองที่ใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าการทดลองที่ใช้อุณหภูมิต่ำเนื่องจากเอนไซม์ Lypozyme TL IM สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิสูง และในการทดลองที่ใช้อุณหภูมิเดียวกันพบว่าการทดลองที่มีระยะเวลาที่น้ำมันพืชอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (เรซิเดนซ์ไทม์) นาน จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสูงกว่าการทดลองที่ใช้เรซิเดนซ์ไทม์ที่ต่ำกว่า เพราะน้ำมันพืชจะมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาได้นานกว่า สำหรับเอนไซม์ Lypozyme TL IM มีข้อจำกัดของอุณหภูมิที่จะใช้ในการทดลองที่ 75°C ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้เอนไซม์จะเริ่มเสื่อมสภาพจึงต้องทำการควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง ในส่วนของเรซิเดนซ์ไทม์นั้นสามารถควบคุมได้จากการปรับค่าอัตราการไหลของน้ำมันพืชที่เข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบดจาก

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืชโดยใช้เอนไซม์ตรึง Lypozyme TL IM เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด ที่อุณหภูมิในการทดลองและเรซิเดนซ์ไทม์ต่างๆ ตลอดจนถึงการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง และการทดสอบกฎการผสมในการทำนายค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนที่ทำการศึกษาและทดลอง มี 4 ขั้นตอนดังนี้

1.5.1 สร้างเครื่องปฏิกรณ์และกล่องควบคุมอุณหภูมิ

1.5.2 ทำการทดลองที่อุณหภูมิและเรซิเดนซ์ไทม์ที่กำหนด

1.5.3 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

1.5.4 ทำนายค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยใช้กฎการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

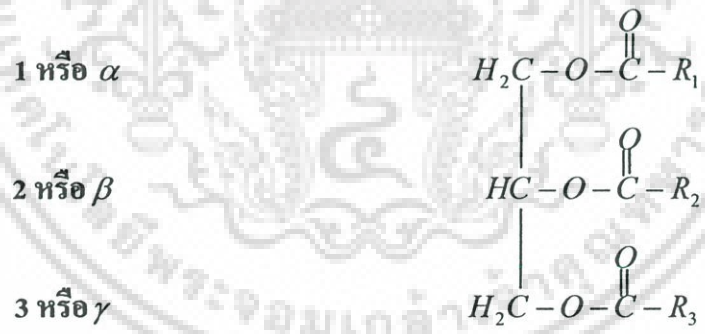
2.1 นิยามของลิปิด [13,15]

ลิปิดเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำแต่จะละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ เอสเทอร์ คลอโรฟอร์ม คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เบนซีน อะซีโตน และแอลกอฮอล์ หน้าที่ที่สำคัญของชีวโมเลกุลประเภทไขมันคือ เป็นแหล่งสะสมพลังงาน เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) และคอยเป็นเกราะป้องกันมิให้โมเลกุลประเภทโพลาร์ผ่านเข้าออกเซลล์ได้โดยง่าย ไขมันแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ ลิปิดเชิงเดี่ยว (Simple lipid) ลิปิดเชิงประกอบ (Compound lipid) และลิปิดอนุพันธ์ (Derived lipid)

2.1.1 ลิปิดเชิงเดี่ยว ได้แก่

1) แอซิลกลีเซอรอลหรือกลีเซอไรด์ (Acylglycerol or Glyceride)

เป็นเอสเทอร์ระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมันดังภาพที่ 2.1 กลีเซอรอลมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ ดังนั้นอาจจะมีการรวมตัวกับกรดไขมันโดยกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชั่นเป็น โมโน-, ได-, หรือไตรกลีเซอไรด์ก็ได้



ตำแหน่งคาร์บอน โครงสร้างไตรแอซิลกลีเซอรอล

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของไตรแอซิลกลีเซอรอล [15]

ในธรรมชาติพบไตรกลีเซอไรด์มากกว่าโมโนหรือไดกลีเซอไรด์ กรดไขมัน R_1, R_2 และ R_3 อาจจะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ และจะเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวก็ได้ ถ้านำไตรกลีเซอไรด์ไปทำปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification) ซึ่งเป็นการแตกพันธะของเอสเทอร์ด้วยด่าง จะให้ผลิตภัณฑ์เป็นกลีเซอรอลและเกลือของกรดไขมันที่ ไตรกลีเซอไรด์จะมีสถานะเป็นของเหลวหรือของแข็ง ขึ้นอยู่กับชนิดและธรรมชาติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันในธรรมชาติส่วนใหญ่จะเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาวที่มีหมู่คาร์บอกซิลิคอยู่ตรงปลาย จำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ตั้งแต่ 4 – 30 อาจมีความอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวถ้าไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่ได้ประมาณ 1 – 6 พันธะซึ่งมักจะมีภาพลักษณ์ (Configuration) แบบซิส (cis) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จะมีจุดหลอมเหลวต่ำ มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเรียกว่าน้ำมัน (Oil) โดยมากจะเป็นน้ำมันที่ได้จากพืชและสัตว์เลือดเย็น เช่น น้ำมันมะกอก น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันตับปลา ในทางตรงข้ามไตรกลีเซอไรด์ที่มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันอิ่มตัวเป็นจำนวนมาก จะมีจุดหลอมเหลวสูงและมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่าไขมัน (Fat) โดยมากได้จากสัตว์เลือดอุ่น เช่น น้ำมันหมู เนยไขสัตว์ อย่างไรก็ตามทั้งไขมันและน้ำมันต่างก็เป็นของผสมระหว่างลิปิดโมเลกุลประเภทต่างๆ มิใช่มีเพียงกลีเซอไรด์ชนิดเดียว ตัวอย่างองค์ประกอบในไขมันและน้ำมันแสดงดังตารางที่ 2.2

เนื่องจากมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่งพันธะ (Polyunsaturated fatty acid) จึงจำเป็นที่จะต้องได้รับกรดไขมันประเภทนี้จากอาหารที่รับประทานเข้าไป กรดไขมันประเภทนี้จึงจัดเป็นกรดไขมันที่จำเป็น (Essential fatty acid) ได้แก่กรดไขมันไลโนเลอิก (Linoleic acid) กรดไขมันไลโนเลนิก (Linolenic acid) และกรดไขมันอะราคิโดนิก (Arachidonic acid) นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันชนิดอื่นๆที่พบในปริมาณเล็กน้อยดังแสดงในตารางที่ 2.3

โมเลกุลของกรดไขมันมีหมู่คาร์บอกซิล ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกรดคาร์บอกซิลิกทั่วๆไป เช่น เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่นหรือปฏิกิริยารีดักชั่น ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ส่วนที่เป็นสายยาวของไฮโดรคาร์บอนนั้นปฏิกิริยาการเติมมักจะเกิดที่บริเวณพันธะคู่ ดังภาพที่ 2.3 โครงสร้างที่เหลือส่วนใหญ่จะเฉื่อยต่อสารเคมี

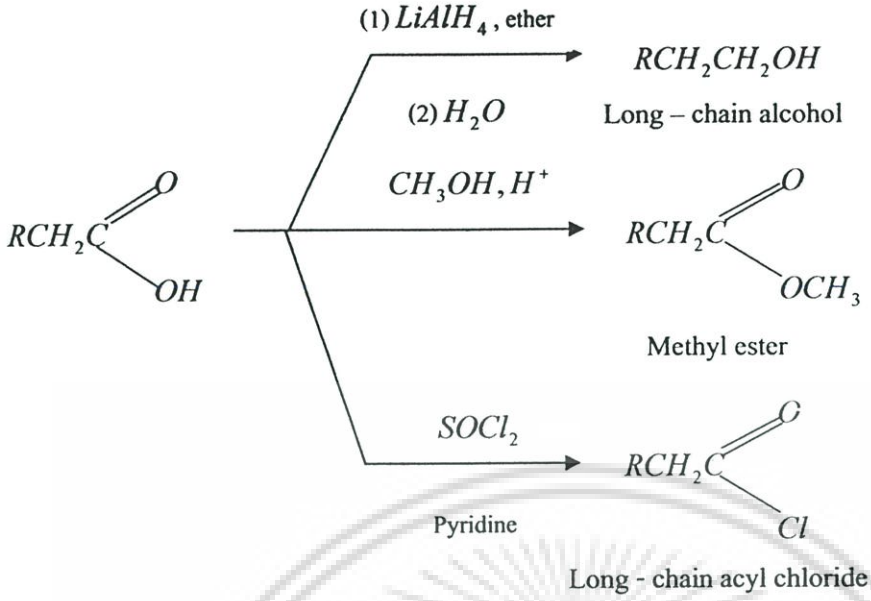
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 กรดไขมันที่พบมากในธรรมชาติ [15]

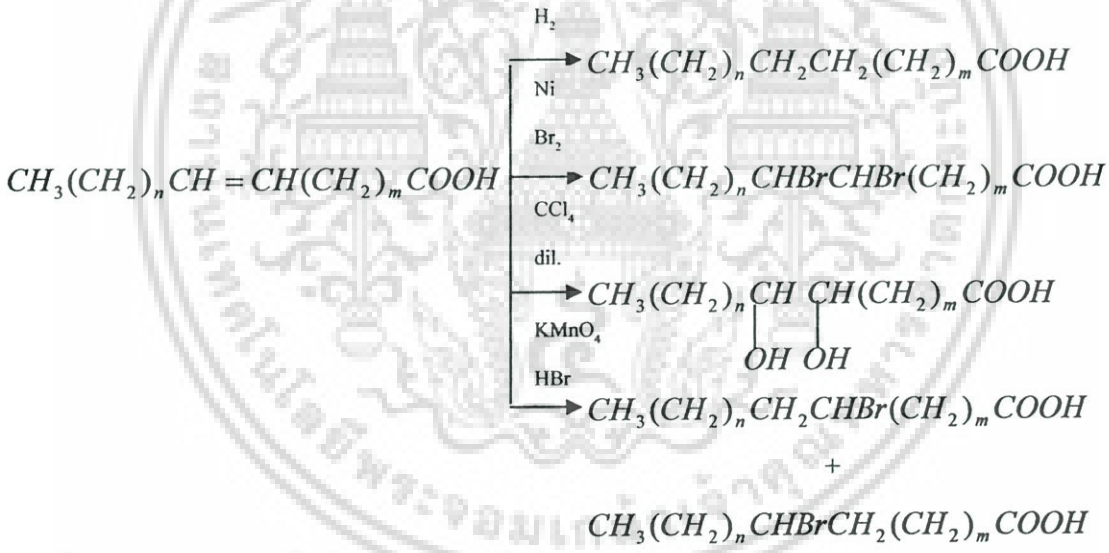
I. Even – numbered —— straight – chain —— fully saturated	
Lauric acid (C_{12})	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$
Myrictic acid (C_{14})	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$
Palmitic acid (C_{16})	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
Stearic acid (C_{18})	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$
Arachidic acid (C_{20})	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$
II. Even – numbered —— straight – chain —— unsaturated (all cis)	
Palmitoleic acid $(C_{16})\,\Delta^{9}$	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$
Oleic acid $(C_{18})\,\Delta^{9}$	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$
Linoleic acid $(C_{18})\,\Delta^{9,\,12}$	$CH_3(CH_2)_4CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$
Linolenic acid $(C_{18})\,\Delta^{9,\,12,\,13}$	$CH_3CH_2CH=CHCH_2CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$
Arachidonic acid $(C_{20})\,\Delta^{3,\,8,\,11,\,14}$	$CH_3(CH_2)_4CH=CHCH_2CH=CHCH_2CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_3COOH$
III. Miscellaneous acids (very limited occurrence)	
Tuberculostearic acid (C_{19})	$CH_3(CH_2)_7\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}(CH_2)_8COOH$
(branched, odd)	
Lactobacillic acid (C_{19})	$CH_3(CH_2)_3CH-CH(CH_2)_9COOH$ (the two CH joined through CH_2)
(cyclic branch, odd)	CH_2

ตารางที่ 2.2 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันและน้ำมันบางชนิด [15]

AVERAGE COMPOSITION OF FATTY ACIDS (mole %)												
	SATURATED								UNSTAURATED			
FAT OR OIL	C_4 BUTYRIC ACID	C_6 CAPROIC ACID	C_8 CAPRYLIC ACID	C_{10} CAPRIC ACID	C_{12} LAURIC ACID	C_{14} MYRISTIC ACID	C_{16} PALMITIC ACID	C_{18} STEARIC ACID	C_{16} PALMIT OLEIC ACID	C_{18} OLEIC ACID	C_{18} LINOLEIC ACID	C_{18} LINOLENIC ACID
ANIMAL FATS												
Butter	3 - 4	1 - 2	0 - 1	2 - 3	2 - 5	8 - 15	25 - 29	9 - 12	4 - 6	18 - 33	2 - 4	
Lard						1 - 2	25 - 30	12 - 18	4 - 6	48 - 60	6 - 12	0 – 1
Beef tallow						2 - 5	24 - 34	15 - 30		35 - 45	1 - 3	0 - 1
VEGETABLE OILS												
Olive						0 - 1	5 - 15	1 - 4		67 - 84	8 - 12	
Peanut							7 - 12	2 - 6		30 - 60	20 - 38	
Corn						1 - 2	7 - 11	3 - 4	1 - 2	25 - 35	50 - 60	
Cottonseed						1 - 2	18 - 25	1 - 2	1 - 3	17 - 38	45 - 55	
Soybean						1 - 2	6 - 10	2 - 4		20 - 30	50 - 58	5 - 10
Linseed							4 - 7	2 - 4		14 - 30	14 - 25	45 - 60
Coconut						15 - 20	9 - 12	2 - 4	0 - 1	6 - 9	0 - 1	



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่หมู่คาร์บอกซิลของกรดไขมัน [15]



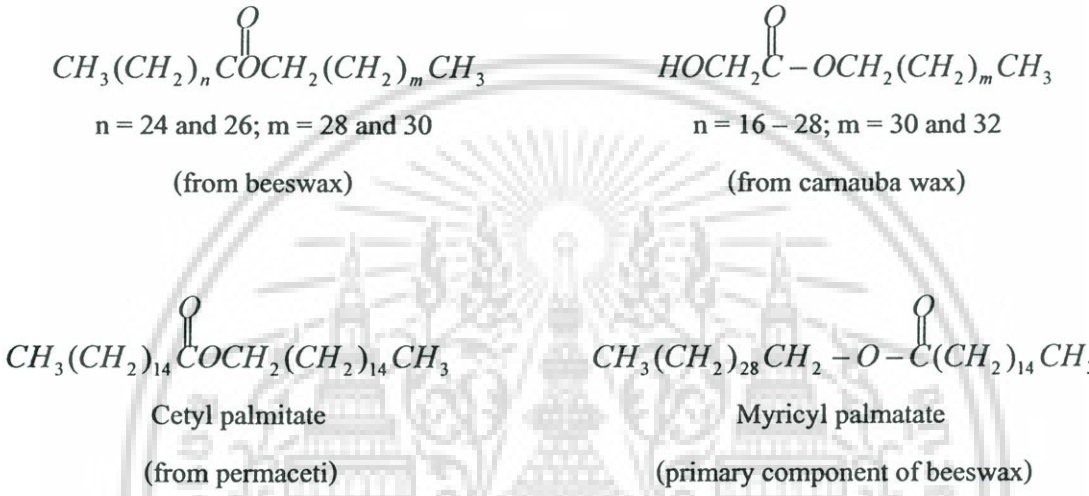
ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมัน [15]

นอกจากนั้นอาจจะเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนแบบอัตโนมัติ (Auto oxidation) ที่พันธะคู่ได้ถ้ามีแสง รังสีหรือโลหะบางชนิดปะปนอยู่ในลิปิดนั้น ซึ่งจะเป็นต้นเหตุให้เกิดอนุมูลอิสระและการออกซิเดชั่นตามมาซึ่งมีผลทำให้ลิปิดนั้นมีกลิ่นเหม็นหืน การเปลี่ยนแปลงชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์อาหารเรียกว่า การเหม็นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน (Oxidative rancidity) สามารถป้องกันได้โดยเติมสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเดชั่นลงในผลิตภัณฑ์อาหารพวกลิปิด เพื่อเป็นตัวหยุดยั้งการทำงานของอนุมูลอิสระ การเหม็นหืนอาจมีสาเหตุมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Hydrolytic rancidity)ก็ได้ ถ้าหากว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์ได้กรดไขมันสายสั้นๆที่สามารถระเหยได้ ขี้ผึ้ง (Waxes)

เป็นเอสเทอร์ระหว่างแอลกอฮอล์ที่เป็นเส้นสายยาวหรือสเตียรอลกับกรดไขมันสายยาวที่อิ่มตัว ไม่ละลายน้ำ ไม่มีพันธะคู่ ทำให้ลิปิดนี้มีความเฉื่อย เป็นเอสเทอร์ที่ต่างไปจากพวกกลีเซอไรด์เพราะมีพันธะเอสเทอร์เพียงหนึ่งพันธะเท่านั้น เมื่อขี้ผึ้งได้รับความเย็นจะแข็งแต่เปราะ ถ้าได้รับความร้อนพออุ่นๆจะอ่อนนุ่มสามารถปั้นหรือโค้งให้บิดงอได้ ตัวอย่างโครงสร้างของขี้ผึ้งได้แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทั่วไปของขี้ผึ้งบางชนิด [15]

นอกจากนั้นก็ยังมีขี้ผึ้ง Lanolin, Turtle wax ขี้ผึ้งนี้จะเป็นตัวกันน้ำ (Waterproof coating) ให้กับผิวหนัง ขนสัตว์ ขนนก โครงร่างภายนอกของแมลง ใบไม้หรือผลไม้ ถ้าเราสังเกตเปลือกนอกของผลแอปเปิล จะรู้สึกเป็นมันเงาซึ่งเป็นตัวอย่างของขี้ผึ้งที่พบในพวกผลไม้

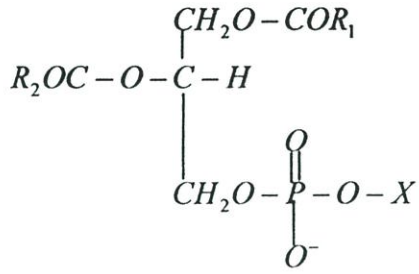
2.1.2 ลิปิดเชิงประกอบ

ลิปิดชนิดนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ ถ้านำมาย่อยสลายมักจะได้สารอื่นนอกเหนือไปจากแอลกอฮอล์และกรดไขมัน ได้แก่

1) ฟอสโฟลิปิด (Phospholipids)

เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมันและมีกรดฟอสฟอริกเชื่อมอยู่กับแอลกอฮอล์ (X) ด้วยพันธะเอสเทอร์เช่นกันอีกด้วย มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.5 ชนิดของฟอสโฟลิปิดที่พบในธรรมชาติจะแสดงได้ตามตารางที่ 2.4

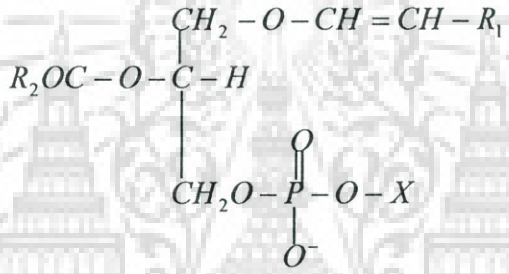
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 แอล – ฟอสโฟลิปิด [15]

2) พลาสมาโลเจน (Plasmalogens)

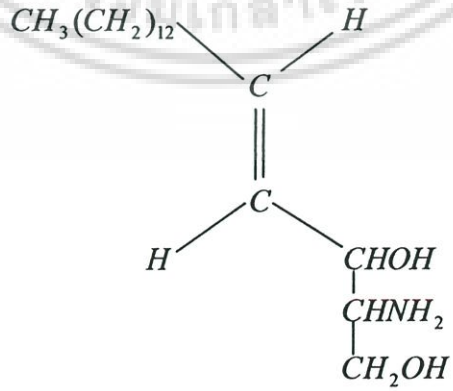
สูตรโครงสร้างคล้ายฟอสโฟลิปิดยกเว้นกรดไขมันตำแหน่งที่ 1 เชื่อมกับกลีเซอรอลด้วยพันธะไวนิลอีเธอร์(Vinyl ether bond) ไม่ใช่พันธะเอสเทอร์ ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 พลาสมาโลเจน [15]

3) สฟิงโกลิปิด (Sphingolipids)

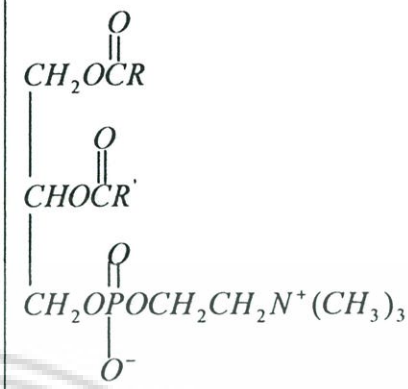
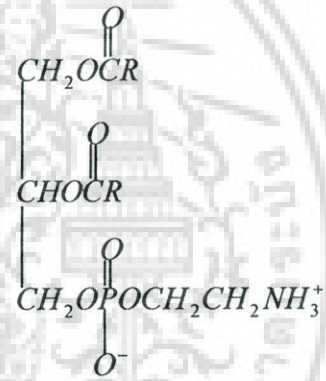
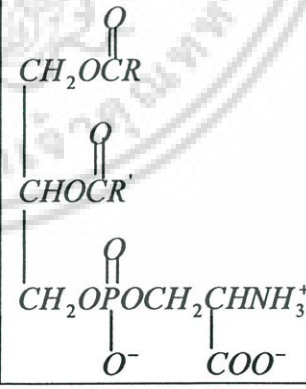
ประกอบด้วย Amino alcohol sphingosine (Sphingenine) แทนที่จะเป็นกลีเซอรอล สฟิงโกลิปิดเป็นโครงสร้างที่ถาวรมั่นคงและถูกเผาผลาญได้ช้ากว่าพวกฟอสโฟลิปิด ตัวอย่างของลิปิดประเภทนี้ได้แก่ cerebrosides, sphingomyelins และ psychosine ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 สฟิงโกไลปิด [15]

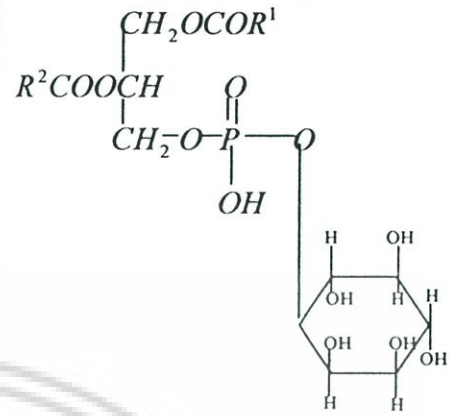
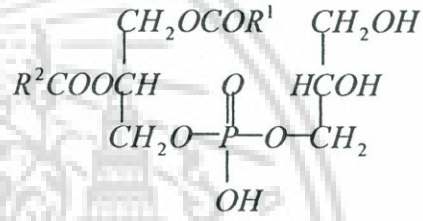
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ฟอสโฟลิปิดที่พบในธรรมชาติ [15]

ชื่อแบบ Recommended	ชื่อสามัญ	โครงสร้าง
Phosphatidyl choline	Lecithin	 R is saturated and R' is unsaturated
Phosphatidyl ethanolamine	Cephalin	
Phosphatidyl serine	-	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ฟอสโฟลิปิดที่พบในธรรมชาติ (ต่อ)

ชื่อแบบ Recommended	ชื่อสามัญ	โครงสร้าง
Phosphatidyl inositol	-	
Phosphatidyl glycerol	-	

สำหรับ cerebroside และ psychosine นั้นบางครั้งเรียกว่า ไกลโคสฟิงโกลิปิด (glycosphingolipid) เนื่องจากประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตกับสฟิงโกลิปิด ไกลโคสฟิงโกลิปิดที่ยุ่งยากและซับซ้อนขึ้นไปอีกคือ gangliosides โครงสร้างประกอบไปด้วย Sphingosine และสายของโอลิโกแซคคาไรด์ที่มี N – acetylneuraminic acid (NANA) อยู่ด้วย

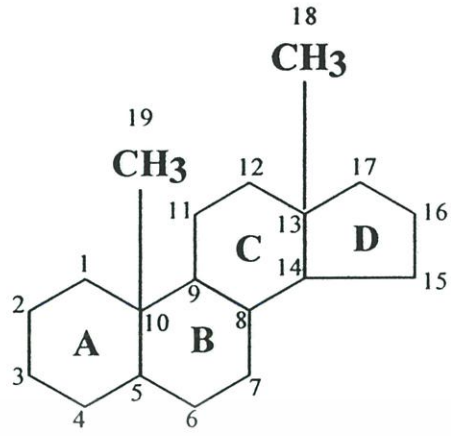
สฟิงโกลิปิดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของ myelin นอกเหนือไปจากโปรตีนและคาร์โบไฮเดรท myelin ทำหน้าที่เป็นฉนวนหุ้มเส้นใยประสาท axon ของเซลล์ประสาทซึ่งมี electrical nerve impulse อยู่เรื่อยๆ myelin จึงทำหน้าที่เหมือนฉนวนหุ้มสายไฟฟ้านั่นเอง

2.1.3 ลิปิดอนุพันธุ์

ลิปิดประเภทนี้เป็นแอลกอฮอล์ไม่ใช่เอสเทอร์ ดังนั้นไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นได้ ได้แก่พวก สเตียรอยด์ (steroids) วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (fat soluble vitamins) ถูกจัดไว้ในสารประเภทลิปิดเพราะว่าคุณสมบัติคล้ายคลึงกับพวกลิปิดมาก

สเตียรอยด์ทุกตัวจะมี Perhydrocyclopentanophenanthrene (C_{17}) เป็นโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 Perhydrocyclopentanophenanthrene ring [15]

หมู่ที่มาแทนที่ที่ตำแหน่งต่างๆในภาพที่ 2.8 ถ้าอยู่บนระนาบของวงให้ใช้สัญลักษณ์ β และแทนด้วยเส้นทึบ ถ้าอยู่ล่างระนาบของวงให้ใช้สัญลักษณ์ α และแทนด้วยเส้นประ

คลอเรสเตอรอลเป็นสเตียรอยด์ที่พบมากที่สุดและเป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์สเตียรอยด์อื่นๆ เช่น น้ำดี (Bile acids) ฮอร์โมน *aldosterones* ฮอร์โมนเพศชาย *testosterones* และฮอร์โมนเพศหญิง *progesterones* เป็นต้น

2.2 น้ำมันพืช [12]

ได้มีการนำผลไม้ ผลไม้เปลือกแข็งและเมล็ด มาสกัดเป็นน้ำมันพืชสำหรับการใช้บริโภคเป็นเวลานานหลายศตวรรษแล้ว มีพันธุ์ไม้มากกว่า 100 ชนิดที่ถูกนำมาทำเป็นน้ำมัน แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่นำมาใช้ได้ในเชิงพาณิชย์ แหล่งใหญ่ของวัตถุดิบที่สุดของการสกัดน้ำมันพืชที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ เมล็ดของพืชล้มลุก เช่น ถั่วเหลือง เมล็ดฝ้าย ถั่วลิสง ดอกทานตะวัน ดอกคำฝอย และข้าวโพด มีน้ำมันที่ได้จากเมล็ดพันธุ์พืชหลายชนิดที่ไม่ได้เป็นแค่แหล่งของน้ำมันพืช แต่ยังเป็นแหล่งที่มาของโปรตีน ซึ่งในหลายกรณีโปรตีนเหล่านี้มีมูลค่าที่สูงกว่า น้ำมันพืชที่ได้จากเมล็ดบางชนิดเช่น ถั่วลิสงและข้าวโพดเป็นผลพลอยได้จากการปลูกธัญพืชมากกกว่าที่จะตั้งใจปลูกเพื่อผลิตน้ำมัน แหล่งของน้ำมันพืชแหล่งที่สองคือ น้ำมันที่ได้จากผลไม้และผลไม้เปลือกแข็ง เช่น มะพร้าว ปาล์ม ปาล์มเคอร์เนล และมะกอก ต้นไม้ที่ให้น้ำมันทั้งหมดต้องการสภาพอากาศที่อบอุ่น พืชพันธุ์เขตร้อนที่สำคัญมีสองชนิดคือ มะพร้าวและปาล์ม

ปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบของน้ำมันพืชจะอยู่ในช่วง 3 ถึง 70 % ของน้ำหนักทั้งหมดของเมล็ด เปลือก แก่นและผล ปริมาณน้ำมันที่อยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ทำน้ำมันพืชได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ผลิตน้ำมันพืช [12]

ชนิดของน้ำมัน	ปริมาณ น้ำมัน %
Canola	40 – 50
Coconut	65 - 68
Corn	3 - 6
Cottonseed	18 - 20
Olive	25 - 30
Palm	45 - 50
Palm kernal	45 - 50
Peanut	45 – 50
Sufflower	30 - 35
Soybean	18 - 20
Sunflower	35 - 45

2.2.1 น้ำมันปาล์ม (Palm oil)

น้ำมันปาล์มได้มาจากผลของต้นปาล์ม *Elaesis guineensis* ลักษณะของต้นปาล์มคือมีลำต้นใหญ่แข็งแรงมีใบลักษณะคล้ายขนนกติดอยู่กับลำต้น ผลของต้นปาล์มจะอยู่รวมกันเป็นช่อโดยปกติจะมีน้ำหนักมากกว่า 40 ปอนด์ ซึ่งจะมีผลปาล์มอยู่ 400 – 2000 ผล ในแต่ละผลจะประกอบไปด้วยเนื้อส่วนนอกซึ่งใช้ในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ เปลือกด้านในใช้ทำเชื้อเพลิง และส่วนเมล็ดใช้ทำน้ำมันอีกชนิดคือ น้ำมันปาล์มเคอแนล

คุณภาพของน้ำมันปาล์มขึ้นอยู่กับเครื่องบดและกระบวนการที่จะแยกผลออกจากน้ำมันที่ได้จากการบด ผลที่สุกจะบดได้ง่าย กรดไขมันอิสระจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดขั้นตอนของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และจะส่งผลในทางลบต่อความสามารถในการฟอกสีของน้ำมันที่ถูกแยกออกมา หลังจากผ่านขั้นตอนการบดผลปาล์มแล้ว มีขั้นตอนในการแยกน้ำมันออกจากผลปาล์มให้สมบูรณ์ 4 ขั้นตอนคือ

1) Sterilization ช่อของผลปาล์มจะถูกนำมาฉีดด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน เพื่อจะหยุดความว่องไวของเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและเป็นการทำให้ผลปาล์มหลุดออกจากช่อ over sterilization จะถูกใช้ในการแก้ปัญหาเมื่อพบการปนเปื้อนของสี

2) Digestion ผลปาล์มจะถูกบดให้ละเอียดที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดการกระจายของเซลล์จะได้อนุภาคของน้ำมันออกมา

3) Pressing การบีบอัดอย่างช้าๆและการฉีดด้วยไอน้ำจะถูกใช้ในการแยกน้ำมันปาล์มออกจากผลปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Clarification น้ำมันจะถูกนำมาเก็บไว้ที่ clarification tank เพื่อแยกเอาความชื้นและสารปนเปื้อนออกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ จากนั้นจะถูกทำให้แห้งภายใต้สภาวะบรรยากาศหรือภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ตารางที่ 2.5 คุณลักษณะของน้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มโอเลอิน และไขปาล์มสเตียริน[12]

Characteristic	Palm Oil Fraction		
	Whole	Olein	Stearin
Softening point, °C	3.0 – 38.0	19.0 – 24.0	44.0 – 56.0
Titer, °C	42.0 – 46.0		46.0 – 54.0
Density at 50/25°C	0.892 – 0.893	0.909 – 0.913	
Density at 60/25°C			0.882 – 0.891
Iodine value	51.0 – 55.0	51.0 – 61.0	22.0 – 49.9
Saponification value	190 – 202	194 – 202	193 – 206
Clound point, °C		6.0 – 12.0	
Unsaponifiable matter, %			0.1 – 1.0
Solid fat content (NMR), %			
at 10°C	47 - 56	28 - 52	54 - 91
at 20°C	20 - 27	3 - 9	31 - 87
at 30°C	6 - 11	0	16 - 74
at 40°C	1 - 6		7 - 57
at 50°C			0 – 40
Fatty acid composition, %			
Myristic C-14:0	1 – 1.5	1 – 1.5	1 - 2
Palmitic C-16:0	42 - 47	38 - 42	47 - 74
Stearic C-18:0	4 - 5	4 - 5	4 - 6
Oleic C-18:1	37 - 41	40 - 44	16 - 37
Linoleic C-18:2	9 - 11	10 - 13	3 - 10

โครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มคล้ายกับน้ำมันหมูและไขมันสัตว์ (Tallow) มาก อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาพื้นฐานคุณลักษณะของผลึกแล้วจะคล้ายกับไขมันสัตว์มากที่สุด น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันหมูที่ได้รับการปรับปรุง

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หรือน้ำมันหมูที่ผ่านปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นได้ คุณลักษณะของน้ำมันปาล์มจะคล้ายกับคุณลักษณะของน้ำมันพืชชนิดอื่นที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชั่นให้แข็งตัว

น้ำมันปาล์มแตกต่างจากน้ำมันชนิดอื่นๆ คือ มีระดับของกรดไขมันปาล์มมิติกสูง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ปกติมีระดับของกรดปาล์มมิติกอยู่ที่ 21 % ซึ่งน้ำมันเมล็ดฝ้ายเป็นน้ำมันพืชที่มีระดับของกรดปาล์มมิติกสูงใกล้เคียงน้ำมันปาล์มมากที่สุด ทั้งน้ำมันเมล็ดฝ้ายและน้ำมันปาล์มจะถูกนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชั่นให้แข็งตัว เพื่อใช้ในการผลิตเนยเทียมและ shortening

2.2.2 น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil)

น้ำมันถั่วเหลืองผลิตจากถั่วเหลือง *Glycina maxima* ซึ่งปลูกในหลายประเทศทั่วโลก ถั่วเหลืองมีที่มาจากเอเชียตะวันออก ในบันทึกของจีนโบราณบอกไว้ว่าถั่วเหลืองเป็นส่วนสำคัญในตำหรับการลดน้ำหนัก ปัจจุบันน้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันที่ใช้บริโภคได้ทั่วไป

น้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูงและถูกจัดอยู่ในพวกน้ำมันกึ่งแห้ง (Semidrying oil) ในช่วงปี 1920 น้ำมันถั่วเหลืองเป็นที่นิยมใช้มากในผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถบริโภคได้เช่น สบู่ สีและน้ำมันเคลือบเงา การใช้งานน้ำมันถั่วเหลืองในอาหารถูกจำกัดเนื่องจากมีปริมาณของกรดไลโนเลนิกอยู่ในน้ำมันถั่วเหลืองสูงซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น ปัญหาเรื่องกลิ่นของน้ำมันถั่วเหลืองได้รับการแก้ไขในที่สุดและได้รับการยอมรับจากอุตสาหกรรมอาหาร

น้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันพืชที่ได้รับความนิยมสำหรับบริโภค เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีจำนวนมาก ราคาไม่แพง และใช้ประโยชน์ได้กว้างขวาง น้ำมันถั่วเหลืองถูกนำมาใช้เป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นถึงสามเท่าในช่วง 45 ปีที่ผ่านมา

2.2.2.1 องค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันถั่วเหลือง

น้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันที่มีน้ำมันที่ผลิตได้หลายวิธีและหลักเกณฑ์ทางด้านคุณภาพสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้ควรจะมี ดังนี้

1) สามารถกลั่นให้บริสุทธิ์โดยมีการสูญเสียต่ำ
2) ทำเป็นน้ำมันสลัดได้
3) เม็ดสีมีความไวต่อการตอบสนองต่อความร้อน
4) สามารถที่จะกรองเอาผลึกออกได้ง่ายเมื่อมีการไฮโดรจีเนตบางส่วน
5) มีค่าไอโอดีนสูงพอสำหรับพื้นฐานของกระบวนการไฮโดรจีเนตของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ
6) มีปริมาณของกรดไขมันที่สำคัญสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

51525

ข้อเสียที่เกิดจากธรรมชาติของน้ำมันถั่วเหลืองมีอยู่สองข้อ คือ การที่น้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิกอยู่สูงถึง 6 – 8 % และการที่น้ำมันที่ผ่านการไฮโดรจีเนตแล้วผลึกจะอยู่ในภาพเบต้า การที่มีปริมาณของกรดไขมันไลโนเลนิกอยู่สูงทำให้ต้องระมัดระวังในการควบคุมป้องกันไม่ให้เกิดการออกซิเดชั่นและการรวมตัวกับโลหะเพื่อจะหลีกเลี่ยงการเกิดมีสีและกลิ่นปนเปื้อนในน้ำมัน น้ำมันถั่วเหลืองซึ่งเป็นพื้นฐานของการผลิตสารเคลือบและ shortening จะต้องมีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 10 % และมีการเติมน้ำมันเมล็ดฝ้ายหรือน้ำมันปาล์มที่ถูกทำให้แข็งแล้วลงไปเพื่อให้เกิดผลึกในภาพแบบเบต้าไพร์ม องค์ประกอบกรดไขมันและคุณลักษณะของน้ำมันถั่วเหลืองแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของน้ำมันถั่วเหลือง [12]

	Typical	Range
Specific gravity at 25/25°C		0.917 – 0.921
Refractive index at 25°C		1.470 – 1.476
Iodine value		123.0 – 139.0
Saponification value		189 – 195
Unsaponificable matter, %		1.5 max
Melting point, °C		-23.0 to -20.0
Fatty acid composition, %		
Myristic C-14:0	0.1	
Palmitic C-16:0	10.6	
Palmitoleic C-16:1	0.1	
Margaric C-17:1	0.1	
Stearic C-18:0	4.0	
Oleic C-18:1	23.3	
Linoleic C-18:2	53.7	
Linolenic C-18:3	7.6	
Arachidic C-20:0	0.3	
Behenic C-22:0	0.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 น้ำมันรำข้าว (Rice bran oil) [14]

น้ำมันรำข้าวหรือน้ำมันข้าวและเทคโนโลยีในการผลิตน้ำมันที่ได้จากธัญพืชนั้นมีการพูดถึงกันมากว่า 50 ปี น้ำมันรำข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว น้ำมันรำข้าวถูกใช้อย่างกว้างขวางในหลายประเทศในเอเชียตัวอย่างเช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน ไต้หวัน ไทย และปากีสถาน เช่นเดียวกับน้ำมันพืชหลายชนิด น้ำมันรำข้าวจะมีรสชาติและกลิ่นแตกต่างกันออกไปตามพันธุ์ของข้าวที่ใช้ปลูกในแต่ละประเทศ สีของน้ำมันรำข้าวดิบจะมีตั้งแต่สีเขียวเข้ม น้ำตาล ไปจนกระทั่งสีเหลืองสว่าง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาวะของรำข้าว กระบวนการสีข้าว และองค์ประกอบของรำข้าว ภายในเม็ดสีจะประกอบไปด้วยแคโรทีน คลอโรฟิลด์ โดยทั่วไปแล้วน้ำมันที่ได้จากรำข้าวที่ผ่านการนึ่งแล้วจะมีสีที่เข้มกว่าน้ำมันที่ได้จากรำข้าวดิบ

องค์ประกอบของน้ำมันรำข้าว

กรดไขมันปาล์มมิติก โอเลอิก และไลโนเลอิก รวมกันมีปริมาณมากกว่า 90 % ของปริมาณกรดไขมันในกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ที่สำคัญในน้ำมันรำข้าวคือ PLO, OLP, PLL, LLP และ OOO โดย P, L และ O คือ กรดไขมันปาล์มมิติก ไลโนเลอิกและโอเลอิกตามลำดับ องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันรำข้าวที่ผลิตในสหรัฐอเมริกาแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันรำข้าวและ groundnut oil [14]

คุณลักษณะ	น้ำมันรำข้าว	GroundNut Oil
Physicochemical parameter		
Acid value	1.2	1.2
Iodine value	104.0	100.2
Saponifiable value	188.0	206.2
Unsaponifiable matter	4.2	0.4
Fatty acid composition, %		
C 14:0	0.3	-
C 16:0	15.0	14.4
C 18:0	1.7	3.1
C 18:1	43.0	42.6
C 18:2	37.4	35.9
C 18:3	1.5	-
C 20:0	0.6	2.7
C 22:0	-	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น [12]

ความหมายของปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นที่เกี่ยวข้องกับไขมันและน้ำมัน คือ การที่เอสเทอร์กรดไขมันทำปฏิกิริยากับเอสเทอร์หรือกรดไขมันตัวอื่นได้เอสเทอร์ตัวใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ โดยเกิดการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกันของหมู่ของกรดไขมัน กล่าวโดยง่ายคือ ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นสามารถทำให้เกิดการกระจายของกลีเซอไรด์ที่จำเพาะเจาะจง การนำกรดไขมันออกแบบไม่จำเพาะเจาะจง การแลกเปลี่ยนระหว่างกรดไขมันที่เหลืออยู่ และการแทนที่ด้วยกรดไขมันตัวอื่นแบบไม่จำเพาะเจาะจง ทั้งหมดนี้เรียกว่าปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น

ไขมันและน้ำมันในธรรมชาติจะเป็นของผสมของไตรกลีเซอไรด์หลายชนิด คุณสมบัติของไขมันและน้ำมันในฐานะเป็นวัตถุดิบในการเตรียมอาหารจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับประเภทของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมัน ประเภทของไตรกลีเซอไรด์อธิบายโดยส่วนประกอบของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์และการกระจายตัวของกรดไขมันในแต่ละโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ การกระจายตัวของกรดไขมันบนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิดและปริมาณกรดไขมันของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิดขึ้นกับสัดส่วนของกรดไขมันแต่ละตัว แหล่งที่มาของไขมันหรือน้ำมัน และกรรมวิธีของกระบวนการผลิต ธรรมชาติของไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดมีการเลือกการกระจายของกรดไขมันในกลีเซอไรด์ ซึ่งมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโครงสร้างเป็นของเหลวหรือของของแข็ง ไตรกลีเซอไรด์แบบ trisaturated จะมีโครงสร้างเป็นของแข็งมีจุดหลอมเหลวที่สูง ไตรกลีเซอไรด์แบบ disaturated monounsaturated จะมีทั้งของแข็งและของเหลว ส่วนไตรกลีเซอไรด์แบบ unsaturated ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำจะมีโครงสร้างเป็นของเหลวเท่านั้น ตารางที่ 1.1 แสดงจุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์โดยทั่วไปซึ่งพบมากในไขมันและน้ำมันที่มีหมู่ของกรดไขมันชนิดโอเลอิก – ไลโนเลอิก ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงแบบแผนการกระจายตัวของกรดไขมันอิสระในไตรกลีเซอไรด์ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะของการหลอมเหลวและการตกผลึกที่แตกต่างไปจากคุณลักษณะของไขมันและน้ำมันดั้งเดิม แต่ทั้งปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชั่นและปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นไม่สามารถที่จะเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันในวัตถุดิบเริ่มต้น แต่สามารถที่จะจัดเรียงกรดไขมันใหม่ในโมเลกุลของกลีเซอไรด์ กระบวนการอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นคือ การนำกรดไขมันออกจากกลีเซอไรด์ แล้วนำกรดไขมันที่แยกออกมาแลกเปลี่ยนกับกรดไขมันตัวอื่นและแทนที่ด้วยกรดไขมันชนิดใหม่บนกลีเซอไรด์ ซึ่งการเปลี่ยนการกระจายตัวของกรดไขมันบนกลีเซอไรด์นี้ จะมีผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของไขมัน

ขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นจะเกิด 2 ปฏิกิริยาต่อเนื่องกันคือ ปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยน้ำและปฏิกิริยาการสังเคราะห์ซึ่งแสดงได้ดังนี้

1) ปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยน้ำ

$$RCOOR' + H_2O \leftrightarrow RCOOH + R'OH$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ปฏิกิริยาการสังเคราะห์

- ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่น

$$RCOOH + R^{'}OH \leftrightarrow RCOOR^{'} + H_2O$$

- ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น แบบแอลกอฮอล์ไลซิส

$$RCOOR^{'} + R^{''}OH \rightarrow RCOOR^{''} + R^{'}OH$$

- ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น แบบแอซิดคอลไลซิส

$$RCOOR^{'} + R^{''}COOH \leftrightarrow RCOOH + R^{''}COOR^{'}$$

- ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น แบบทรานสเอสเทอริฟิเคชั่น

$$RCOOR^{'} + RCOOR^{''} \rightarrow RCOOR^{''} + RCOOR^{'}$$

วิธีการแบบที่สามคือ ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปัจจุบันใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง เช่นการผลิตสารเคลือบลูกกวาดในทวีปยุโรป ข้อได้เปรียบของวิธีการนี้ที่มีเหนือปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นทางเคมี คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความเฉพาะเจาะจงอันเนื่องมาจากเอนไซม์ไลเปสและสามารถที่จะควบคุมปฏิกิริยาได้ดี เอนไซม์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในทางการค้าปัจจุบันมีสองชนิด คือ เอนไซม์แบบแรนดอมซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นทางเคมีแบบแรนดอม และเอนไซม์ที่มีความเฉพาะเจาะจงที่ตำแหน่ง 1, 3 ซึ่งได้รับการยอมรับว่าสามารถผลิตไตรกลีเซอไรด์ที่มีความเฉพาะเจาะจงได้เป็นอย่างดี

2.3.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการจัดเรียงตัวใหม่ทางเคมี (Chemical rearrangement catalyst)

การจัดเรียงตัวใหม่ของกรดไขมันสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 250°C หรือสูงกว่า แต่ผู้ผลิตส่วนมากจะใช้โลหะอัลคาไลเป็นตัวเร่งความเร็วของปฏิกิริยา ไขมันที่เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงโดยที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยามาช่วยจะเข้าสู่สภาวะสมดุลช้า และยังเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงซึ่งไม่เป็นที่ต้องการเนื่องจากเกิดกระบวนการไอโซเมอร์ไรเซชั่น โพลีเมอร์ไรเซชั่นและการแยกองค์ประกอบ ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการจัดเรียงตัวใหม่ทางเคมีบางชนิดที่ถูกนำมาใช้ในทางการค้าคือ

2.3.1.1 โซเดียมเมทิลเลท เป็นโลหะอัลคาไล เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง ว่องไวต่อปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น มีราคาถูกไม่ต้องการกระบวนการที่ต้องทำในสภาวะสุญญากาศและสามารถแยกออกจากไขมันได้ง่าย โซเดียมเมทิลเลทถูกใช้ทั้งในแบบที่เป็นผงหรือเป็นการกระจายในตัวทำละลาย เช่น ไซลีนที่ ถ้าวัตถุดิบเริ่มต้นมีระดับของกรดไขมันอิสระต่ำและแห้งจะใช้โซเดียมเมทิลเลทที่ระดับความเข้มข้นต่ำ 0.1 % แต่โดยความเข้มข้นที่ใช้กันโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0.2 – 0.4 %

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 โซเดียมโปแตสเซียมอัลลอย ซึ่งถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นที่ 0.05 – 0.1 % เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องและไม่ต้องการการกระจายตัวในตัวทำละลายก่อนจะนำมาทำปฏิกิริยา โซเดียมโปแตสเซียมอัลลอยสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำและมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น แต่ต้องการการปั่นกวนในการทำปฏิกิริยาและยังมีราคาที่ค่อนข้างแพงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นจะเริ่มต้นอย่างรวดเร็วด้วยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปและปฏิกิริยาจะเสร็จสิ้นโดยสมบูรณ์ในระยะเวลาอันสั้นประมาณ 5 นาที ไขมันหรือน้ำมันที่เป็นสารป้อนเข้าไปในปฏิกิริยาจะต้องแห้งสนิทเนื่องจากโซเดียมโปแตสเซียมอัลลอยจะทำปฏิกิริยากับความชื้น แล้วจะปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกมาซึ่งทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการเสื่อมสภาพ

2.3.1.3 โซเดียมหรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีราคาถูกที่สุดแต่ต้องใช้ร่วมกับกลีเซอรอลและยังต้องการปฏิกิริยาสองขั้นตอนภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิสูง ขั้นตอนแรกจะนำความร้อนให้สูงถึง 60°C และทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการกระจาย สารผสมที่ทำปฏิกิริยาจะถูกทำให้ร้อนถึงช่วงอุณหภูมิ 140 – 160°C ตลอดระยะเวลาที่อยู่ในขั้นตอนที่สอง กลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบที่มีความจำเป็นสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา และบ่อยครั้งที่สร้างโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์จำนวนเล็กน้อย

สารประกอบที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีความเป็นไปได้ที่จะไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิยาที่แท้จริง แต่เป็นตัวเริ่มต้นที่ช่วยสร้างตัวเร่งปฏิกิยาที่แท้จริง สารที่อยู่ในภาพกึ่งกลางเช่น โซเดียมกลีเซอเรตในไขมันจึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยา เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาเริ่มกระจายในน้ำมันที่ผ่านการอุ่นจนอุณหภูมิสูง 60 – 80°C สารแขวนลอยสีขาวจะเริ่มปรากฏ หลังจากให้ความร้อนต่อ สารแขวนลอยจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นแล้ว การที่สีมีการเปลี่ยนแปลงช่วยบอกถึงภาพแบบตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นไอออนของกลีเซอเรตซึ่งเป็นสารกึ่งกลาง

ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเสื่อมสภาพและมีการแยกออกมาเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยมากแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นทางเคมีสามารถที่จะถูกแยกออก โดยการล้างสารผสมที่ทำปฏิกิริยาด้วยน้ำเพื่อแยกเอาเกลือหรือสารละลายสบู่ออก มีอีกวิธีหนึ่งที่ยุติปฏิกิริยาโดยใช้กรดฟอสโฟริกและแยกของเกลือฟอสเฟตที่เป็นของแข็งโดยวิธีการกรอง ซึ่งทั้งเทคนิคที่ใช้น้ำล้างและใช้กรดฟอสฟอริกมีผลทำให้เกิดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นทางเคมีแบบสุ่ม (Random chemical interesterification process)

การจัดเรียงตัวใหม่ทางเคมีของไขมันและน้ำมันแบบสุ่มสามารถใช้ได้ทั้ง กระบวนการแบบกะ(Batch) และ กระบวนการแบบต่อเนื่อง (Continuous) ซึ่งกระบวนการจัดเรียงตัวใหม่ทั้งสองแบบมีขั้นตอนสำคัญอยู่ 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ 1) ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันให้พร้อมที่จะสามารถนำมาใช้ทำปฏิกิริยาได้ 2) ขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา 3) ขั้นตอนที่ตัวเร่งปฏิกิริยาหมดความว่องไวในการทำปฏิกิริยา

2.3.2.1 ให้ความร้อนกับไขมันจนได้อุณหภูมิ 120 – 150°C ภายในภาชนะที่ใช้ทำปฏิกิริยาภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อทำให้น้ำมันแห้ง การทำให้น้ำมันแห้งเป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจากความชื้นภายในน้ำมันจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพ ถ้ามีระดับความชื้นอยู่ 0.01% จำเป็นที่จะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจำนวนมากเพื่อที่จะให้เกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ และปริมาณน้ำนี้ยังส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์ คือ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็นหืน

2.3.2.2 หลังจากผ่านการให้ความร้อนแล้วไขมันจะถูกทำให้เย็นลง จนถึงอุณหภูมิที่จะใช้ในการทำปฏิกิริยาซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 70 – 100°C ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการและสภาวะของกระบวนการผลิตที่ได้ออกแบบไว้ ผงโซเดียมเมทิลเลทจะถูกดูดเข้าไปในภาชนะที่ใช้ทำปฏิกิริยาด้วยสุญญากาศ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีความจำเป็นกล่าวคือ นอกจากจะต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะทำให้กรดไขมันอิสระมีฤทธิ์เป็นกลางและยังต้องมีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินพอที่จะเร่งปฏิกิริยาการจัดเรียงตัวแบบสุ่มอีกด้วย หนึ่งส่วนของโซเดียมเมทิลเลทจะทำให้กรดไขมันสเตียริกกลายเป็นกลางและความเข้มข้นของโซเดียมเมทิลเลทเพียง 0.06% ก็มากเกินพอที่จะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยา ความต้องการตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จากสูตร เปอร์เซ็นต์ของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทิลเลทที่ต้องการในปฏิกิริยาเท่ากับ 0.19 เท่าของกรดไขมันอิสระบวก 0.06 ของผสมของตัวเร่งปฏิกิริยาต้องการการปั่นกวนเพื่อที่จะให้เกิดรูปแบบสารแขวนลอยสีขาว ซึ่งเป็นตัวบอกว่าผงโซเดียมเมทิลเลทกระจายตัวในตัวทำละลายได้ดี จะทำ 30 ถึง 60 นาทีจนกระทั่งสารแขวนลอยเกิดการเปลี่ยนสีเป็นภาพแบบสีน้ำตาลซึ่งบ่งบอกว่าเกิดขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาแบบสุ่ม ณ เวลานี้จะนำตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ว่าปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์แล้วหรือไม่ ต้องมีการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาหรือไม่ และทำนายระยะเวลาที่จะถึงจุดยุติปฏิกิริยา

2.3.2.3 เมื่อผลการวิเคราะห์แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์แล้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกทำให้เป็นกลางภายในภาชนะที่ทำปฏิกิริยา การทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาหมดความว่องไวจะมีการเติมกรดฟอสฟอริกหรือคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนที่จะล้างด้วยน้ำเพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการเสื่อมสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปน้ำจะรวมตัวกับโซเดียมเมทิลเลทกลายเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่เป็นกลาง ได้สบู่และเมทิลเอสเทอร์ ดังนั้นจึงสามารถที่จะลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ให้น้อยที่สุดได้โดยการเติมกรดฟอสโฟริกหรือคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนที่จะใช้น้ำล้าง

กระบวนการปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นแบบต่อเนื่องจะมีขั้นตอนที่คล้ายกับกระบวนการแบบกะแต่จะต่างกันที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ในกระบวนการแบบต่อเนื่องจะเป็นไปตามขั้นตอนดังนี้ น้ำมันจะถูกทำให้ร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและจะถูกทำให้แห้งอย่างรวดเร็วด้วยเครื่องอบแห้งน้ำมันแบบสุญญากาศเพื่อเอาความชื้นออกให้เหลือเพียง 0.01 % หรือน้อยกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกป้อนเข้าไปในไอน้ำมันที่ร้อนโดยจะถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้กระจายตัวได้ดี ของผสมของตัวเร่งปฏิกิริยาและไอน้ำมันที่ถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ เรซิเดนซ์ไทม์ของปฏิกิริยาสามารถที่จะปรับได้โดยการเปลี่ยนความยาวของท่อ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกทำให้เสื่อมสภาพโดยการใช้น้ำล้างจะแยกน้ำมันกับสบู่ออกจากกัน โดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์หลังจากแยกน้ำมันกับสบู่แล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกทำให้แห้งอีกครั้ง เพื่อเอาความชื้นที่เหลืออยู่เพียงเล็กน้อยออกไป

2.3.3 ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นทางเคมีแบบตรง (Directed chemical interesterification process)

กระบวนการจัดเรียงตัวโดยตรงจะมีไตรกลีเซอไรด์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นจำนวนหนึ่งหรือมากกว่าที่จะถูกแยกออกจากปฏิกิริยาที่กำลังดำเนินอยู่ ไตรกลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัวจะตกตะกอนและถูกแยกออกจากปฏิกิริยา เมื่อของผสมถูกทำให้เย็นลงจนต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของมัน การตกตะกอนนี้จะไปรบกวนสมดุลของปฏิกิริยาและปฏิกิริยาจะสร้างไตรกลีเซอไรด์จำนวนมากขึ้นเพื่อให้ระบบกลับเข้าสู่สมดุล ตามทฤษฎีนี้กระบวนการนี้จะดำเนินต่อไป จนกระทั่งกรดไขมันที่อิ่มตัวทั้งหมดจะเปลี่ยนไปเป็นไตรกลีเซอไรด์แบบอิ่มตัวและถูกแยกออกจากปฏิกิริยา เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นการผลิตกลีเซอไรด์แบบเฉพาะเจาะจงโดยตรงมันจึงถูกเรียกว่าปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นแบบตรง

สำหรับปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นแบบตรง ตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำได้ดี และอัตราการจัดเรียงตัวแบบสุ่มมีความสำคัญเนื่องจากไตรกลีเซอไรด์แบบอิ่มตัวสามารถที่จะตกตะกอนได้ดีเมื่อมันอยู่ในวัฏภาคของเหลวเท่านั้น โซเดียมโปแตสเซียมอัลลอยด์ (NaK) มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยตรงมากกว่าโซเดียมหรือโซเดียมเมทิลเลท เพราะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นแบบตรงจะใช้กระบวนการแบบต่อเนื่อง เพราะกระบวนการแบบกะควบคุมได้ยากและยังต้องการถังเก็บน้ำมันแบบพิเศษ ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นแบบตรงโดยใช้กระบวนการแบบต่อเนื่องมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.3.3.1 น้ำมันจะถูกทำให้แห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศจนเหลือความชื้นน้อยเพียง 0.01 % หรือน้อยกว่า

2.3.3.2 หลังจากทำให้แห้งน้ำมันจะถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวเล็กน้อยด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2.3.3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมโปแตสเซียมอัลลอยด์ที่ได้รับการวัดอย่างระมัดระวังจะถูกเพิ่มเข้าไปในกระแสน้ำมันและจะถูกผสมให้เป็นเนื้อเดียว เพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยากระจายในน้ำมันอย่างทั่วถึง

2.3.3.4 ของผสมที่เป็นเนื้อเดียวจะถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสแครปวอลล์

2.3.3.5 ของผสมที่ถูกทำให้เย็นลงแล้วจะถูกย้ายไปสู่ถังปั่นกวน ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นจะดำเนินไปภายใต้การควบคุมการปั่นกวนอย่างระมัดระวัง ขั้นตอนนี้ไตรกลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัวจะเริ่มตกผลึก ส่วนปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นในวัฏภาคของเหลวก็จะดำเนินต่อไปจนได้ไตรกลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัวจำนวนมาก

2.3.3.6 การตกผลึกของไตรกลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัว จะปลดปล่อยความร้อนที่เกิดจากการหลอมรวมตัวออกมา ซึ่งจะสามารถที่จะทำให้อุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจนเกินจุดที่ได้กำหนดไว้ จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการทำให้เย็นลงเป็นครั้งที่สองด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสแครปวอลล์

2.3.3.7 หลังจากการทำให้เย็นลงครั้งที่สอง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกย้ายไปยังถังใบอื่นซึ่งสามารถที่จะควบคุมการปั่นกวนได้ ไตรกลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัวจะเริ่มตกตะกอนและปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นก็จะดำเนินไปจนถึงจุดยุติที่ได้กำหนดไว้ การตกตะกอนจะเริ่มช้าเมื่อไตรกลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัวเหลือน้อย ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงต้องใช้ระยะเวลามากเพื่อที่จะให้ได้ปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ระดับของไตรกลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัวในผลิตภัณฑ์สามารถที่จะปรับได้โดยการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการตกผลึก อุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึก หรือใช้ทั้งสองอย่างร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.8 หลังจากที่ปฏิกิริยาดำเนินมาจนถึงขอบเขตของจุดยุติที่ได้กำหนดไว้แล้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกกำจัดโดยการเติมน้ำลงไป ปริมาณน้ำจะถูกคำนวณเพื่อให้รู้ถึงความเป็นของเหลวเพื่อใช้สำหรับขั้นตอนการเอาวัฏภาคสบู่ออกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ปฏิกิริยาสปอนิฟิเคชั่นของไขมันสามารถที่จะทำให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดได้ โดยการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปในน้ำเพื่อลดความเป็นด่างทำให้ค่าพีเอชต่ำ

2.3.3.9 เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกทำให้เป็นกลาง ผลิตภัณฑ์จะถูกให้ความร้อนเพื่อหลอมผลึกของไตรกลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัวสำหรับใช้ในการเหวี่ยงจากศูนย์กลาง หลังจากนั้นจะทำให้แห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ

2.3.4 ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Enzymatic Interesterification)

เอนไซม์ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงโครงสร้างและองค์ประกอบของอาหารมานานหลายปี แต่พบใช้ในระดับการประยุกต์ทางอุตสาหกรรมเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมา ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาถูกนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่แปรภาพโครงสร้างไขมันและน้ำมันซึ่งมีมูลค่าสูง ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถผลิตของผสมกลีเซอไรด์ที่มีประโยชน์ ซึ่งไม่สามารถได้รับจากกระบวนการของปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นทางเคมี โดยใช้ประโยชน์จากความเฉพาะเจาะจงของเอนไซม์ไลเปส เอนไซม์ไลเปสเร่งปฏิกิริยาโดยการแยกออกหรือแลกเปลี่ยนหมู่ของกรดไขมันบนเส้นสายหลักของกลีเซอไรด์ เอนไซม์ไลเปสที่ต่างชนิดกันจะทำให้ตำแหน่งและชนิดของหมู่ของกรดไขมันบนกลีเซอไรด์ต่างกัน และยังทำให้คุณสมบัติของไขมันแตกต่างกันด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์ไลเปสสามารถแบ่งตามความเฉพาะเจาะจงในการประยุกต์ใช้ได้สองแบบคือ

2.3.4.1 เอนไซม์ไลเปสแบบสุ่ม (Random lipases) จะเร่งปฏิกิริยาที่ทั้ง 3 ตำแหน่งของกลีเซอไรด์แบบสุ่ม

2.3.4.2 เอนไซม์ไลเปสที่มีความเฉพาะเจาะจงที่ตำแหน่ง 1 และ 3 (1, 3 Specific lipases) จะเร่งปฏิกิริยาเฉพาะที่ตำแหน่ง 1 และตำแหน่งที่ 3 ของกลีเซอไรด์

ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์ไลเปสแบบสุ่มจะมีข้อดีกว่าเทคนิคทางเคมีมาตรฐานเพียงเล็กน้อย ปฏิกิริยาที่ถูกเร่งด้วยเอนไซม์ไลเปสแบบไม่เฉพาะเจาะจงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นทางเคมี แต่สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์ไลเปสที่มีความเฉพาะเจาะจงที่ตำแหน่ง 1 และตำแหน่ง 3 นั้นการเคลื่อนที่ของกรดไขมันจะจำกัดขอบเขตอยู่ที่ตำแหน่ง 1 และตำแหน่ง 3 ของกลีเซอไรด์ทำให้ได้ของผสมของกลีเซอไรด์ซึ่งไม่สามารถได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นทางเคมี เอนไซม์ไลเปสแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะเจาะจงจะสามารถผลิตกลีเซอไรด์ที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดได้ ซึ่งสามารถแยกออกมาได้โดยกระบวนการทางกายภาพ

เอนไซม์ไลเปสถูกผลิตโดยการหมักสารอินทรีย์ด้วยจุลชีพ แล้วจึงนำมาทำให้บริสุทธิ์ เอนไซม์ตรึงที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น ถูกเตรียมโดยการเติมตัวทำละลาย เช่น อะซีโตน เอธานอล หรือเมธานอลลงไปใน slurry ของวัสดุที่เป็นอนุภาคสารอนินทรีย์ในสารละลายบัฟเฟอร์ไลเปส เอนไซม์ถูกทำให้ตกตะกอนเคลือบวัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์และทั้งเอนไซม์ไลเปสและอนุภาคที่ถูกเคลือบสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการกรองและอบแห้ง วัสดุที่ใช้เป็นตัวรองรับหลายชนิดถูกนำมาใช้ในการทำเอนไซม์ตรึง โดยทั่วไปวัสดุที่มีความเป็นรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสูงจะถูกนำมาใช้เป็นตัวรองรับได้แก่ เรซิน ซิลิกาและโพลีเมอร์ หน้าที่ของตัวรองรับซึ่งเป็นที่ต้องการอย่างแท้จริง คือ (ก) สามารถดูดซึมเอนไซม์ไลเปสได้โดยไม่เกิดการย้อนกลับหลุดออกของเอนไซม์ไลเปสและมีโครงสร้างที่เหมาะสม (ข) ขนาดของรูพรุนต้องไม่ขัดขวางต่อการแพร่ของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา (ค) ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเกิดความสกปรก (ง) มีความคงต่อความร้อน (จ) มีราคาที่ไม่สูงเกินไป อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นที่แห้งจะไม่ว่องไวต่อการเร่งปฏิกิริยาจนกว่าจะมีการเติมน้ำลงไปก่อนที่จะเริ่มใช้งาน

ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของไขมันและน้ำมัน ที่ใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถที่จะใช้ได้ทั้งกระบวนการกวนแบบกะ(Stirred batch) และกระบวนการแบบต่อเนื่องโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง โดยที่แบบหลังเป็นแบบที่แนะนำให้ใช้เนื่องจากมีข้อได้เปรียบของการลดเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาเนื่องจากมีอัตราส่วนของ substrate ต่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาสูง ส่วนข้อได้เปรียบข้ออื่นเช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยผลิตภัณฑ์จะถูกแยกออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งบรรจุไว้ในเบดนิ่ง เป็นการลดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกทำลาย สามารถที่จะปรับปรุงการผลิตได้ กระบวนการของปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นแบบเบดนิ่งเริ่มจากนำน้ำมันที่จะใช้เป็นสารตั้งต้นมาปรับปรุงคุณภาพ เพื่อแยกตัวยับยั้งตัวเร่งปฏิกิริยาและพิษของตัวเร่งปฏิกิริยาออก เอนไซม์จะถูกทำให้อิ่มตัวบางส่วนด้วยน้ำก่อนที่จะนำไปบรรจุไว้ในเบดเพื่อให้อนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีน้ำปนอยู่ ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา คือ ของผสมระหว่างไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดกรดไขมันอิสระจะถูกแยกออกด้วยการระเหยกลายเป็นไอและมีกระบวนการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ ไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากกรดไขมันจะถูกนำมาแยกตัวทำละลายออก เพื่อให้ได้องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆที่ศึกษาถึงปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืช โดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

ค.ศ. 1992 Forssell และคณะ [2] ได้ศึกษาถึงผลของปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของไขมันผสมสัตว์และน้ำมันเรพซีด ซึ่งใช้เอนไซม์ตรึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) และพบว่ามีผลต่อจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยเอนไซม์ที่นำมาใช้เป็นเอนไซม์ตรึงชนิดมีความเฉพาะเจาะจงที่ตำแหน่ง 1, 3 Lypozyme ของบริษัทโนโวอินดัสทรีจำกัด ประเทศเดนมาร์ก จากการทดลองโดยใช้ไขมันสัตว์ บริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้นชนิดเดียวแล้วปรับปริมาณน้ำในระบบ พบว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณน้ำในไขมันผสม สำหรับการทดลองน้ำมันผสมนั้นปัจจัยที่ส่งผลให้ของผสมมีจุดหลอมเหลวลดต่ำลง คือ เวลาในการทำปฏิกิริยาและปริมาณของเอนไซม์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา

ค.ศ. 1993 Foglia และคณะ [3] ได้ศึกษาผลของปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันเดี่ยวและน้ำมันผสมซึ่งใช้เอนไซม์ไลเปส 3 ชนิดในการทดลอง โดยน้ำมันผสมที่ใช้ทดลองเป็นการผสมกันของไขมันสัตว์ กับน้ำมันถั่วเหลือง, ไขมันสัตว์ กับน้ำมันดอกทานตะวัน, น้ำมันดอกทานตะวันและไขมันเนย สำหรับเอนไซม์ที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิดประกอบด้วย 1) เอนไซม์ตรึงชนิดมีความเฉพาะเจาะจงที่ตำแหน่ง 1, 3 Lypozyme 2) เอนไซม์ตรึงชนิดมีความเฉพาะเจาะจงที่ตำแหน่ง 1, 3 จากจุลินทรีย์ *Rhizopus delemar* และ 3) เอนไซม์ตรึงชนิดมีความเฉพาะเจาะจงต่อหมู่แอซิลจากจุลินทรีย์ *Geotrichum candidum* จากผลการทดลองพบว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นกับปริมาณน้ำเริ่มต้นของน้ำมันที่ใช้ทำปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นขึ้นอยู่กับปริมาณของเอนไซม์ แต่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาในช่วงอุณหภูมิ 50 – 70°C

ค.ศ. 1995 Ghazali และคณะ [4] ได้ทำการทดลองปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เอนไซม์ที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีทั้งเอนไซม์ที่ไม่มีความเฉพาะเจาะจงและเอนไซม์ที่มีความเฉพาะเจาะจงที่ตำแหน่ง 1 และ 3 จากนั้นได้วิเคราะห์หาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ นอกจากนี้ยังอธิบายถึงความเป็นไปได้ของกลไกการเกิดไตรกลีเซอไรด์ PPP OOL OLL OOO และ SOS โดย P L O และ S คือ กรดไขมันปาล์มมิติก ไลโนเลอิก โอเลอิก และสเตียริก ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.ศ. 1997 Ghosh และ Bhattacharyya [5]ได้นำปาล์มสเตียรินซึ่งมีขอบเขตการใช้งานจำกัด เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูงมาทำการแยกโดยใช้อะซิโตน ได้ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ปาล์มสเตียริน จุดหลอมเหลวสูง (HMPS) และปาล์มสเตียรินจุดหลอมเหลวต่ำ (LMPS) HMPS และLMPS จะมีจุดหลอมเหลว 58 และ 35°C ตามลำดับ แล้วจึงนำ HMPS มาผสมกับน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าวแล้วทำปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์ตรึงจากจุลินทรีย์ *Mucor miehei* เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าน้ำมันผสมที่ผ่านปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นจะมีจุดหลอมเหลวลดต่ำลงเหลือประมาณ 37 – 40°C เท่านั้น

ค.ศ. 1999 Mu และคณะ [6] ได้ทำการทดลองปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันผสมโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด น้ำมันผสมเป็นการผสมกันของน้ำมันดอกทานตะวันกับกรดคาปริก (Capric acid) และน้ำมันดอกทานตะวันกับกรดคาปริลิก (Caprylic acid) เอนไซม์ที่ใช้คือ Lypozyme IM จุดประสงค์ของการทดลองเพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อระดับของไดกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์โดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นมาทำการวิเคราะห์ สำหรับปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบไปด้วย 1) อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 2) เรซิเดนซ์ไทม์และปริมาณของน้ำในระบบ 3) ผลของอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันและน้ำมันซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา

ค.ศ. 2000 Zhang และคณะ [7] ได้นำน้ำมันผสมระหว่างปาล์มสเตียรินกับน้ำมันมะพร้าวในอัตราส่วน 75:25 มาทำปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์ Lypozyme IM เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ปั่นกวนได้ โดยศึกษาถึงปัจจัยสำคัญของปฏิกิริยาที่มีผลต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับอันประกอบไปด้วย 1) ปริมาณของเอนไซม์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา 2) อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 3) เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 4) ส่วนประกอบของน้ำที่มีอยู่ในเอนไซม์และน้ำมันผสม หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาศึกษาถึงปัจจัยต่างๆของปฏิกิริยาที่ทำให้ได้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

ค.ศ. 2001 Zhang และคณะ [8] ได้นำน้ำมันผสมระหว่างไขปาล์มสเตียรินกับน้ำมันมะพร้าวในอัตราส่วน 75:25 มาทำปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้เอนไซม์ Lypozyme TL IM เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ปั่นกวนได้ แล้วจึงทำการศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆของเอนไซม์ Lypozyme TL IM โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ใช้เอนไซม์ Lypozyme IM พบว่าที่สภาวะเดียวกันอัตราของการเกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นแบบสัมพันธ์ของปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์ทั้งสองชนิดนั้นใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองลดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเอนไซม์ Lypozyme TL IM จาก 6 % ลงเหลือ 3 % พบว่าความว่องไวในการทำปฏิกิริยาไม่เปลี่ยนแปลงแต่ปริมาณของกรดไขมันอิสระและไดกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์จะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
เครื่องมือและการดำเนินงานวิจัย

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด

1) เครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด ทำจากแก้วมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และสูง 50 เซนติเมตร

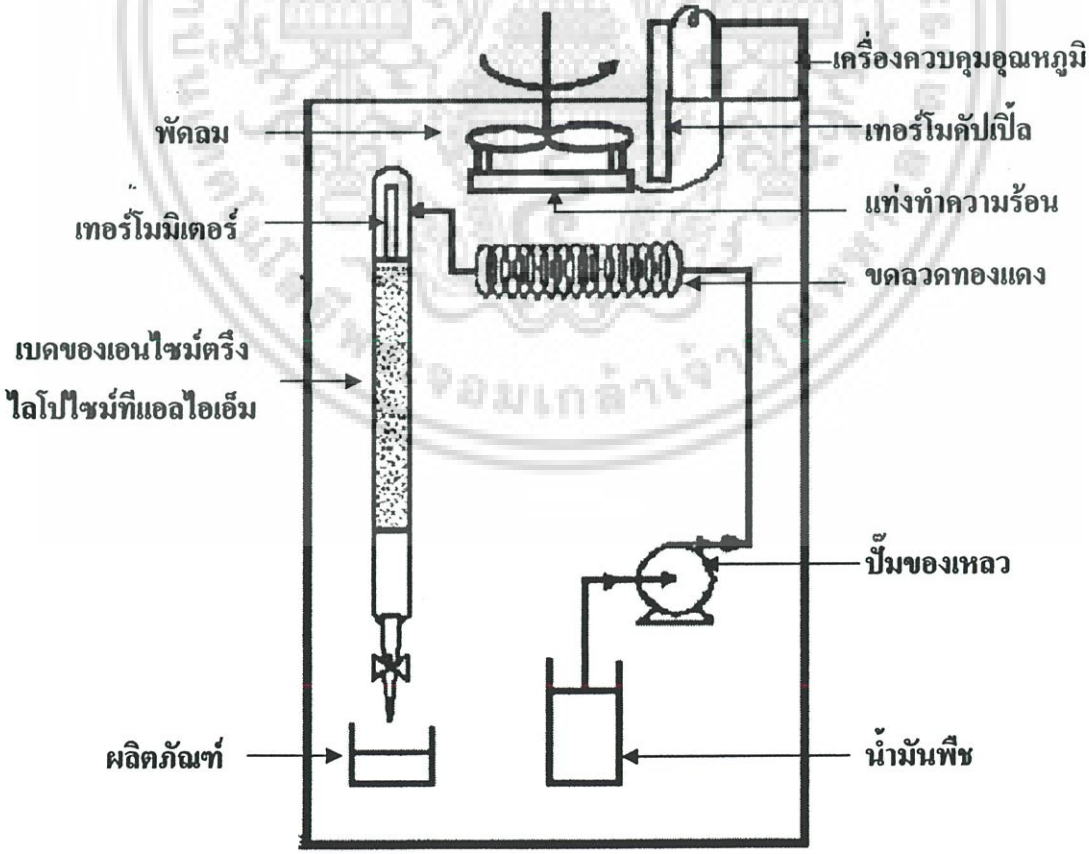
2) ชุดควบคุมอุณหภูมิ : เครื่องควบคุมอุณหภูมิ, เทอร์โมมิเตอร์, เทอร์โมคัปเปิลชนิด K, แท่งทำความร้อน, พัดลม

3) ปั๊มของเหลว Prominent รุ่น GALA 0704

4) เม็ดลูกแก้ว (Glass bead) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร

5) ใยแก้ว

6) ขวดบรรจุผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 4.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบดภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์หาค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์

1) บีกเกอร์

2) หลอดคาปิลารี

3) เครื่องทำความความร้อนชนิดที่มีเครื่องปั่นกวนในตัว (Hot plate with stirrer)

4) เทอร์โมมิเตอร์

5) เทียนไขและไฟแช็ค

4.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์

1) เครื่อง HPLC

2) ขวดวัดปริมาตร

3) เครื่องชั่ง

4.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองหาปริมาณกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์

1) บีกเกอร์

2) เครื่องทำความความร้อนชนิดที่มีเครื่องปั่นกวนในตัว (Hot plate with stirrer)

3) ปิเปตและลูกยางดูดอากาศ

4) เทอร์โมมิเตอร์

4.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 สารเคมีสำหรับการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด

1) น้ำมันปาล์มโอเลอิน จากบริษัท มรกตอินดัสตรี้ จำกัด (มหาชน)

2) น้ำมันรำข้าว จากบริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด

3) น้ำมันถั่วเหลือง จากบริษัท น้ำมันพืชไทย จำกัด (มหาชน)

4) เอนไซม์ตรึงไลโปไซม์ทีแอลไอเอ็ม (Lypozyme TL IM) จากบริษัท อิสต์เอเชียติ๊ก (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งมีความหนาแน่น 0.55 กรัมต่อมิลลิลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดเอนไซม์ 300 – 1000 ไมโครเมตร และมีปริมาณน้ำในเม็ดเอนไซม์ 6 % โดยน้ำหนัก

4.2.2 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์

1) อะซิโตน (HPLC grade) จาก LABSCAN

2) อะซิโตรไนไตรด์ (HPLC grade) จาก LABSCAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 สารเคมีสำหรับการวิเคาะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์

1) เอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 95 %

2) สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 % ใน 95 %แอลกอฮอล์

3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 โมลลาร์

4.3 วิธีการการทดลอง

4.3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

1) ชั่งเอนไซม์ Lypozyme TL IM 50.0 กรัมนำมาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำมันพืชที่จะใช้ทำปฏิกิริยาลงไปในบีกเกอร์ให้มีปริมาณน้ำมันมากกว่าเอนไซม์ 5 เท่าโดยประมาณ

2) ใช้แท่งแก้วคนกวนผสมน้ำมันกับเอนไซม์ให้อยู่ในรูปของ slurry จากนั้นกวนจนไม่พบว่าฟองอากาศผุดขึ้นมาบนผิว slurry

3) อุ่น slurry ของน้ำมันพืชและเอนไซม์ให้ได้อุณหภูมิ 60°C เพื่อความสะดวกในขั้นตอนการบรรจุ slurry ลงในเครื่องปฏิกรณ์

4.3.2 ขั้นตอนการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด

1) นำใยแก้วมารองที่ส่วนล่างของเครื่องปฏิกรณ์ให้ใยแก้วมีความหนาประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตร

2) นำเม็ดลูกแก้วมาโรยทับชั้นใยแก้วเพื่อลด pressure drop ในเครื่องปฏิกรณ์ โดยให้ชั้นของเม็ดลูกแก้วมีความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร

3) นำ slurry มาบรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์ โดยต้องทำการกวนให้ slurry เข้ากันตลอดเวลา ระวังอย่าให้เม็ดเอนไซม์ตกตะกอน การบรรจุทำโดยเท slurry จากด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์

4) ค่อยๆเท slurry ลงไปพร้อมกับทำการเคาะเครื่องปฏิกรณ์ไปพร้อมๆกันเพื่อให้เอนไซม์เกิดการจัดเรียงตัวที่ดีในเครื่องปฏิกรณ์ โดยส่วนของน้ำมันจะค่อยๆไหลออกทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ คงเหลือไว้แต่เพียงชั้นของเม็ดเอนไซม์ซึ่งอิ่มตัวในน้ำมันพืช

5) เมื่อได้ความสูงของชั้นเอนไซม์ตรึงตามที่ต้องการ ต่อจากนั้นทำการปิดวาล์วขาออกของเครื่องปฏิกรณ์

6) โรยเม็ดลูกแก้วให้มีความสูงประมาณ 1 เซนติเมตรบนเบดของเอนไซม์ตรึง นำเทอร์โมมิเตอร์มาใส่ลงในเบดของเครื่องปฏิกรณ์

7) ปิดส่วนบนของเครื่องปฏิกรณ์แล้วนำเครื่องปฏิกรณ์ไปใส่ไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ ให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเบดของเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับอุณหภูมิที่จะทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ขั้นตอนการทดลองปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด

1) อุ่นน้ำมันพืชที่จะทำการทดลองให้ได้อุณหภูมิที่จะใช้กับการทดลอง

2) ปรับค่าความเร็วและช่วงชักของปั๊มให้ได้อัตราการไหลตามที่ต้องการ

3) เริ่มทำการปั๊มน้ำมันพืชเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ผ่านสายยาง ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศภายในสายยาง

4) ทำการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทุกๆ 1 ช่วงของเรซิเดินซ์ไทม์

ค่าเรซิเดนซ์ไทม์หาได้จาก $\tau = \frac{V}{F}$

เมื่อ τ คือ เรซิเดนซ์ไทม์

V คือ ปริมาตรของเบดในเครื่องปฏิกรณ์

F คือ อัตราการไหลของน้ำมันพืช

5) ระยะเวลาดำเนินการทดลองคือ 8 เท่าของเรซิเดนซ์ไทม์

4.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

4.4.1 การวิเคราะห์หาค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน A.O.C.S Official method Cc 1 – 25 [10]

1) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันพืชมาอุ่นหลอมตัวเพื่อให้เปลี่ยนเป็นของเหลว

2) นำผลิตภัณฑ์ที่หลอมตัวเป็นของเหลวบรรจุลงไปในหลอดคาปิลารี 2 หลอดให้มีความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นใช้เปลวเทียนหลอมปิดปลายหลอดคาปริลารีทั้งสองด้าน

3) นำหลอดคาปิลารีที่บรรจุด้วยผลิตภัณฑ์ไปแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 -10°C เป็นเวลา 16 ชม.

4) นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก ข้อ 3 มาทำการหาค่าจุดหลอมเหลวโดยนำหลอดคาปิลารีไปติดไว้ที่กะเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ แล้วจุ่มลงในบีกเกอร์ปริมาตร 600 มิลลิลิตร ซึ่งมีน้ำบรรจุอยู่ภายในครึ่งหนึ่งของบีกเกอร์

5) นำบีกเกอร์ไปตั้งไว้บนเครื่องให้ความร้อนชนิดที่มีเครื่องปั่นกวนในตัว (Hot plate and stirrer) จากนั้นใช้แท่งแม่เหล็กในการกวนให้ความร้อนในน้ำกระจายสม่ำเสมอทั่วบีกเกอร์ ค่อยเพิ่มอุณหภูมิจาก 8 – 10°C ไปทีละ 0.5°C

6) บันทึกค่าอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์ในหลอดคาปิลารีเปลี่ยนเป็นของเหลวใสทั้งหมด

4.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์

1) ชั่งผลิตภัณฑ์ปริมาณ 5 กรัม มาใส่ในขวดวัดปริมาตร จากนั้นจึงเติมอะซิโตนลงไปให้ได้สารละลาย 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ของShimadzu Liquid Chromatograph LC - 10AD และ SLC - 10A ซึ่งต่ออยู่กับหัวฉีดอัตโนมัติและ Shimadzu R4AX integrator แพ็กคอลัมน์ที่ใช้คือ RP – 18 (250 X 4 มิลลิเมตร) ซึ่งมีขนาดของอนุภาคภายใน 5 ไมโครเมตร ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ฉีดเข้าเครื่อง HPLC มีปริมาณ 10 ไมโครลิตร โดยใช้ของผสมระหว่างอะซิโตนกับอะซิโตรไนทริลในอัตราส่วน 64.5 ต่อ 35.5 เป็นตัวชะล้างและใช้ Refractive index detector เป็นตัวตรวจจับไตรกลีเซอไรด์

4.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณของกรดไขมันอิสระตามมาตรฐาน A.O.C.S Official method Ca 5a – 40 [9]

1) เตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์โดยนำมาหลอมให้เป็นของเหลว โดยใช้อุณหภูมิที่ทำการหลอมไม่เกิน 10°C ของจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างผลิตภัณฑ์ และเติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % เพื่อละลายผลิตภัณฑ์โดยที่ปริมาณของตัวอย่างผลิตภัณฑ์และเอทิลเอกอฮอล์ที่ใช้ต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ ดูจากตารางที่ 4.1 จากนั้นเติมสารละลายฟีนอลฟ์ทาลีนประมาณ 2 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นตัวอินดิเคเตอร์ในการไตเตรท

3) ไตเตรทสารละลายผลิตภัณฑ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเอทิลแอลกอฮอล์โดยที่จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสีไปเป็นสีชมพูจางๆ คงที่ประมาณ 30 วินาที

4) ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซนต์ของกรดไขมันอิสระจากสูตร

$$\text{Free fatty acid as oleic, \%} = \frac{V \times N \times 28.2}{S} \quad (4\text{-}1)$$

$$\text{Free fatty acid as lauric, \%} = \frac{V \times N \times 20.0}{S} \quad (4\text{-}2)$$

$$\text{Free fatty acid as palmitic, \%} = \frac{V \times N \times 25.6}{S} \quad (4\text{-}3)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

S คือ น้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ที่ใช้ในการไตเตรทตามปริมาณของเปอร์เซนต์กรดไขมันอิสระ ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ [9]

ช่วงเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ (%)	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กรัม)	ปริมาตรของแอลกอฮอล์ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(M)
0.0 – 0.2	56.4 ± 0.2	50	0.1
0.2 – 1.0	28.2 ± 0.2	50	0.1
1.0 – 30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25
30.0 – 50.3	7.05 ± 0.05	100	0.25 หรือ 1.0
50.0 – 100.0	3.525 ± 0.001	100	1.0

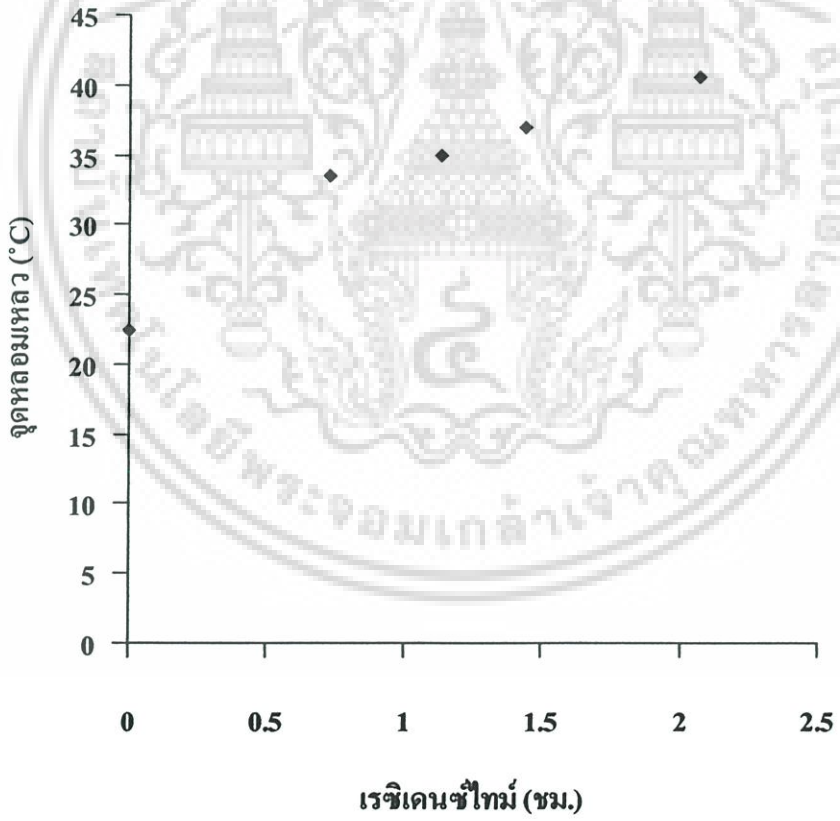
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

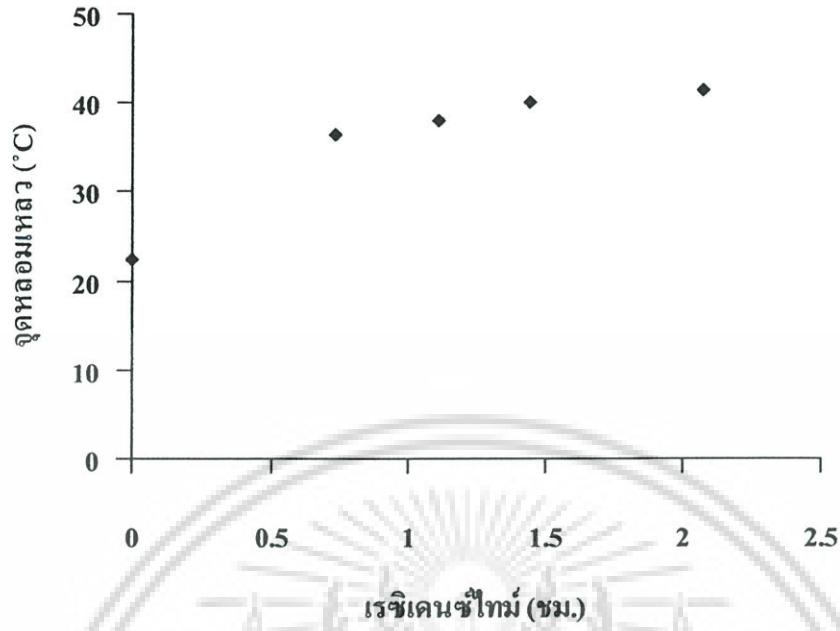
5.1 ผลการทดลองหาจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์โดยใช้อุณหภูมิและเรซิเดนซ์ไทม์เป็นปัจจัยของการทดลอง

เอนไซม์ Lypozyme TL IM สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิในช่วง 55 ถึง 75°C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้เอนไซม์จะเริ่มเสื่อมสภาพ [1] สำหรับเรซิเดนซ์ไทม์ที่เลือกมาทำการทดลองนั้นจะเลือกโดยคำนึงถึงอัตราการไหลที่ปั๊มของเหลวสามารถปั๊มได้และความทนทานของอุปกรณ์ทดลอง ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการทดลองโดยใช้อุณหภูมิ 60, 65 และ 70°C ส่วนเรซิเดนซ์ไทม์จะอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 2.1 ชม. โดยมีผลที่ได้แสดงในภาพ 5.1 ถึง 5.4

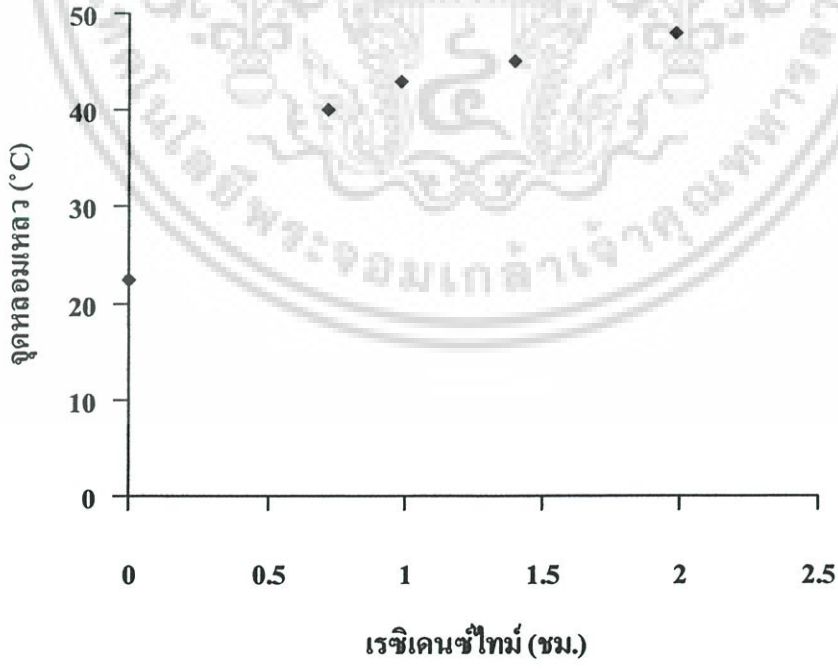


ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของเรซิเดนซ์ไทม์ซึ่งมีผลต่อจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำการทดลองคือ 60°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

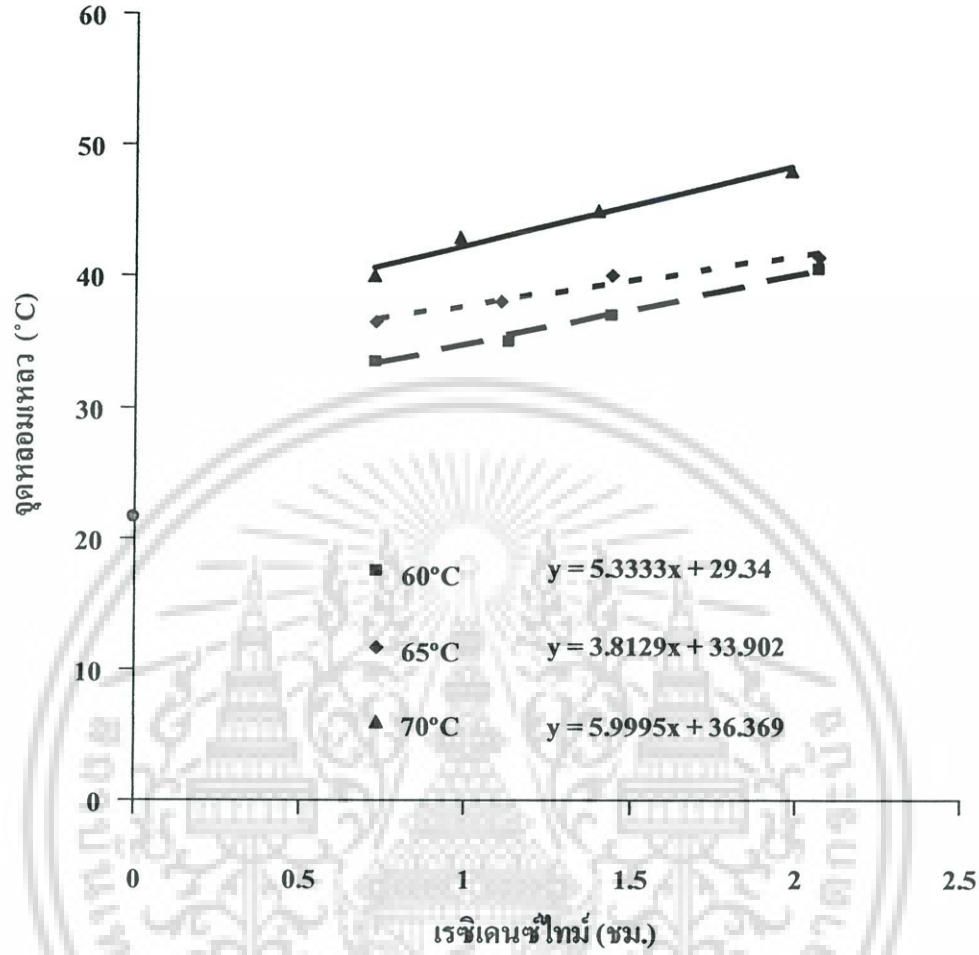


ภาพที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของเรซิเดนซ์ไทม์ซึ่งมีผลต่อจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำการทดลองคือ 65°C



ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของเรซิเดนซ์ไทม์ซึ่งมีผลต่อจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำการทดลองคือ 70°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของเรซิเดนซ์ไทม์กับค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ระหว่างการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 60, 65 และ 70°C

ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอินได้แสดงให้เห็นว่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 70°C มีค่าสูงกว่าที่ 65 และ 60°C ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นจะเกิดได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามเอนไซม์ Lypozyme TL IM มีข้อจำกัดของเสถียรภาพที่อุณหภูมิ 75°C ถ้าทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงกว่า 75°C เอนไซม์จะเริ่มเสื่อมสภาพ [1]

ผลของเรซิเดนซ์ไทม์ต่อปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอิน พบว่าการทดลองที่ใช้อัตราการไหลของน้ำมันปาล์มต่ำทำให้มีระยะเวลาที่น้ำมันปาล์มอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (เรซิเดนซ์ไทม์)ได้นาน จุดเหลวเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีค่าสูงเมื่อเทียบกับการทดลองที่ทำที่อัตราการไหลสูงกว่า เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีช่วงระยะเวลาที่ได้ทำปฏิกิริยามากกว่านั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว โดยใช้เอนไซม์ตรึงLypozyme TL IM ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบดที่สภาวะของการทดลองเดียวกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเมื่อนำไปวัดค่าจุดหลอมเหลวด้วยวิธีการมาตรฐาน A.O.C.S Official method Cc 1 – 25 ที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าไม่สามารถที่จะวัดหาค่าจุดหลอมเหลวได้ เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้วน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าวจะมีจุดหลอมเหลวต่ำมาก เช่น น้ำมันถั่วเหลืองมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ -23 ถึง -20°C ดังนั้นจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงต่ำมาก

5.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน

องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ภายในน้ำมันปาล์มโอเลอินและผลิตภัณฑ์เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLCได้แสดงผลออกมาในภาพของโครมาโตแกรม ดังภาพที่ 5.5 ถึง 5.11 ไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิดนั้นมีจุดหลอมเหลวที่ต่างกันส่งผลให้ค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงตามปริมาณและชนิดของไตรกลีเซอไรด์ภายในผลิตภัณฑ์

สัญลักษณ์ของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิดในโครมาโตแกรมเขียนแทนด้วยตัวเลขดังต่อไปนี้

1 คือ OLL (-6.7°C)	2 คือ PLL (-5.6°C)	3 คือ MLP (-6.7°C)
4 คือ OOL (-1.1°C)	5 คือ POL (4.0°C)	6 คือ PLP (-1.0°C)
7 คือ OOO (5.6°C)	8 คือ POO (15.6°C)	9 คือ PPO (35.0°C)
10 คือ PPP (66.0°C)	11 คือ SOO (22.8°C)	12 คือ POS (37.8°C)

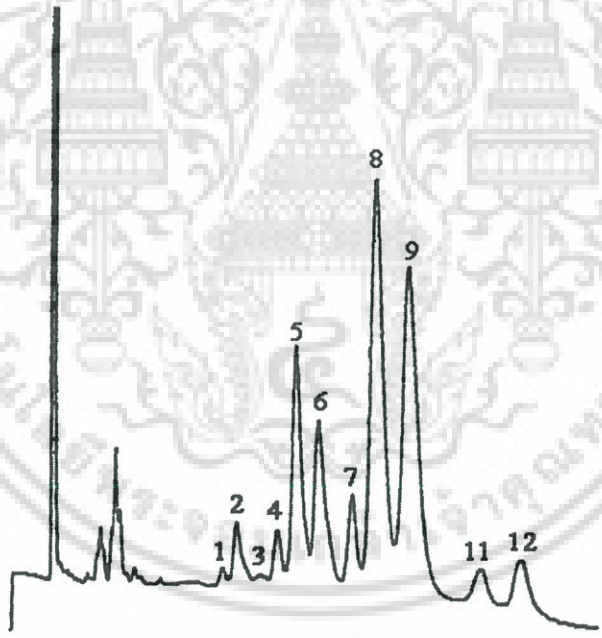
โดยที่ M คือ myristic acid, P คือ palmitic acid, O คือ oleic acid, S คือ stearic acid และ L คือ linoleic acid ตัวเลขในวงเล็บ คือ จุดหลอมเหลวไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิด

ภาพที่ 5.12 ได้สรุปเพื่อเป็นภาพรวมของผลของการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิด ภายหลังเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ และเรซิเดนซ์ไทม์ต่างๆ โดยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์มก่อนทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70°C จะเห็นได้ว่าไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิดที่อยู่ในผลิตภัณฑ์มีปริมาณที่เปลี่ยนไปโดยเฉพาะไตรกลีเซอไรด์ชนิด PPP (หมายเลข 10) ซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์แบบอิ่มตัวและตรวจหาไม่พบในน้ำมันปาล์มจะปรากฏในผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 1.1 แสดงจุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ ซึ่ง PPP มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 56.1°C และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณของ PPP ในตัวอย่างที่อุณหภูมิ 70°C จะมีปริมาณที่สูงกว่าในตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 60 และ 65°C สอดคล้องกับผลการหาจุดหลอมเหลว สำหรับที่อุณหภูมิเดียวกันนั้นพบว่าปริมาณของ PPP ในการทดลองที่ใช้เรซิเดนซ์ไทม์สูงกว่าจะมีปริมาณสูงกว่า นอกจากนี้ยังมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

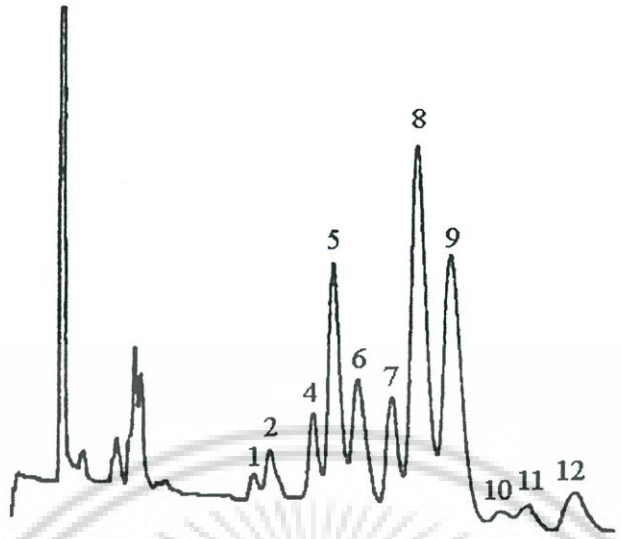
ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ชนิดอื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงหลังเกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น ไตรกลีเซอไรด์ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับในน้ำมันปาล์มก่อนเข้าทำปฏิกิริยา คือ OOL OLL และ OOO สำหรับไตรกลีเซอไรด์ที่มีปริมาณลดลงคือ POL, PLP, POO และ PPO

สาเหตุที่ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องมาจากไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น โดยไตรกลีเซอไรด์จะแตกตัวได้ไดกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ ซึ่งกรดไขมันอิสระเหล่านี้ก็จะไปจับกับไดกลีเซอไรด์ตัวใหม่เกิดเป็นไตรกลีเซอไรด์ชนิดใหม่ขึ้นมา เช่น POO กับ PPO อาจเกิดการแตกตัวได้ กรดไขมันปาล์มมิติก (P) และไดโอลิอิลกลีเซอไรด์ (OO) กับ กรดไขมันโอเลอิก (O) และไดปาล์มมิติลกลีเซอไรด์ (PP) ตามลำดับ กรดไขมันปาล์มมิติก (P) อาจทำปฏิกิริยากับไดปาล์มมิติลกลีเซอไรด์ (PP) ได้เป็นไตรปาล์มมิติลกลีเซอไรด์ (PPP) เกิดขึ้น ในขณะเดียวกันกรดไขมันโอเลอิก (O) ก็อาจทำปฏิกิริยากับไดโอเลอิลกลีเซอไรด์ (OO) ได้เป็น ไตรโอเลอิลกลีเซอไรด์ (OOO) เป็นผลให้ปริมาณไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิดในผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป

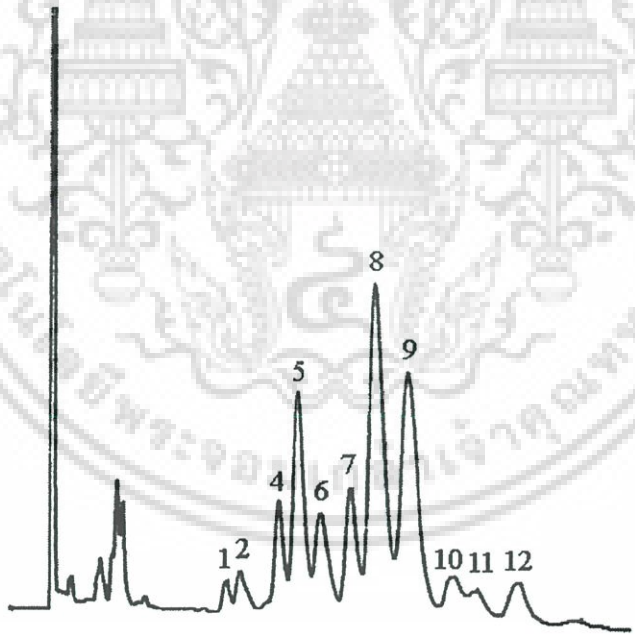


ภาพที่ 5.5 โครมาโตแกรมของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนเข้าทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

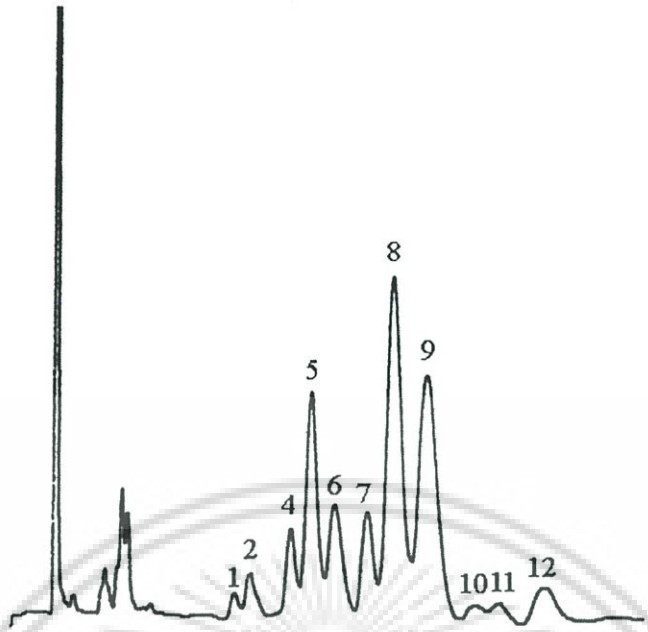


ภาพที่ 5.6 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 60°C และเรซิเดนซ์ไทม์ คือ 0.73 ชม.

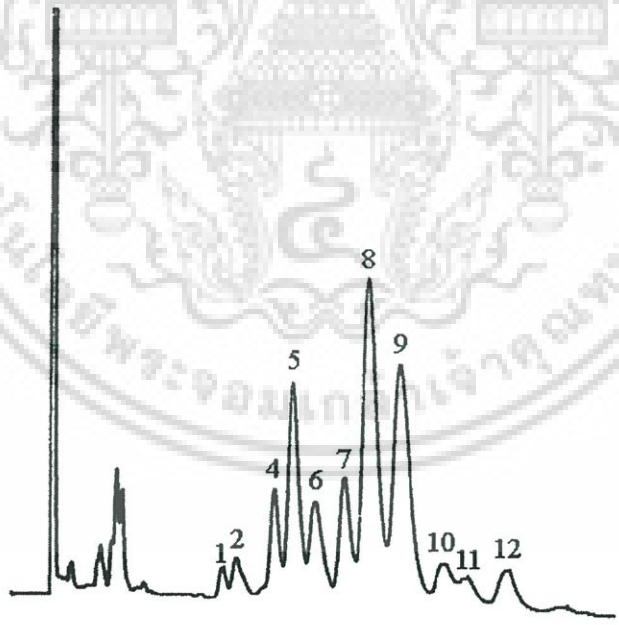


ภาพที่ 5.7 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 60°C และเรซิเดนซ์ไทม์ คือ 2.07 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

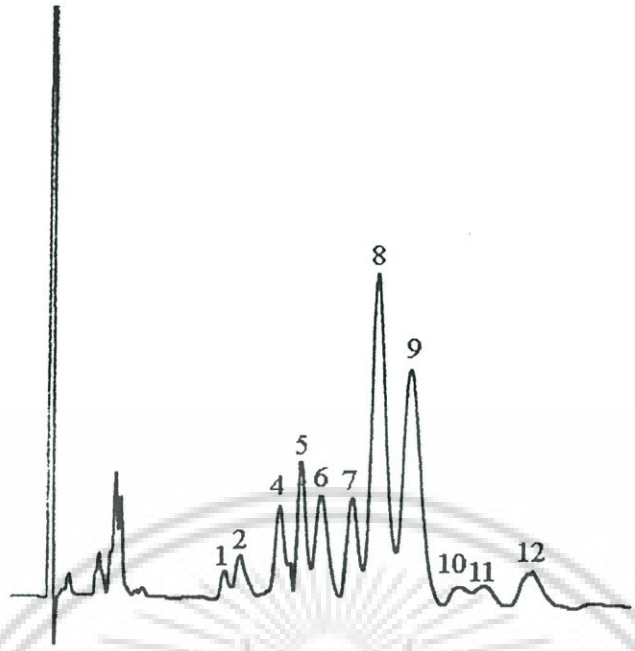


ภาพที่ 5.8 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 65°C และเรซิเดนซ์ไทม์ คือ 0.73 ชม.

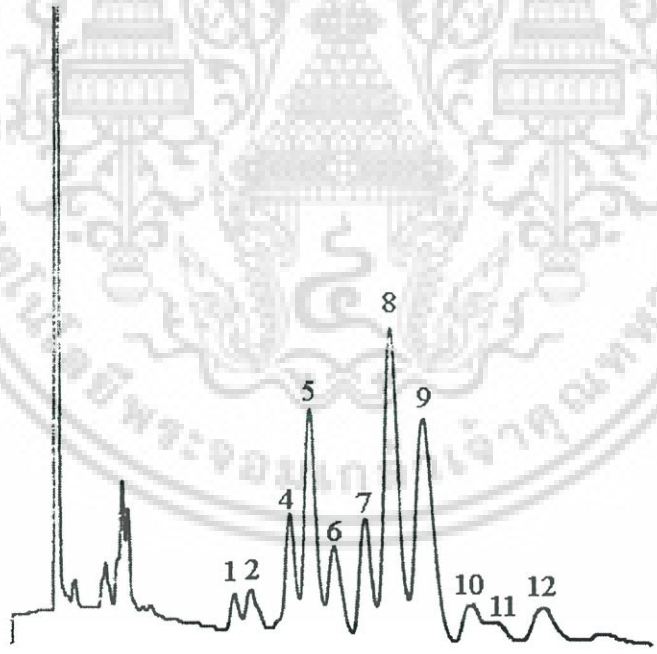


ภาพที่ 5.9 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 65°C และเรซิเดนซ์ไทม์คือ 2.07 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

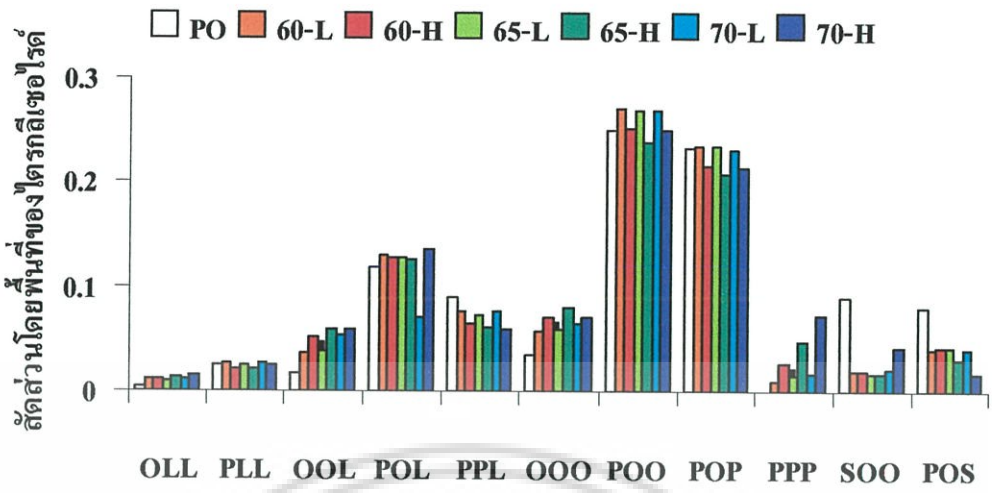


ภาพที่ 5.10 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 70°C และเรซิเดนซ์ไทม์คือ 0.72 ชม.



ภาพที่ 5.11 โครมาโตแกรมแสดงไตรกลีเซอไรด์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 70°C และเรซิเดนซ์ไทม์คือ 1.99 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

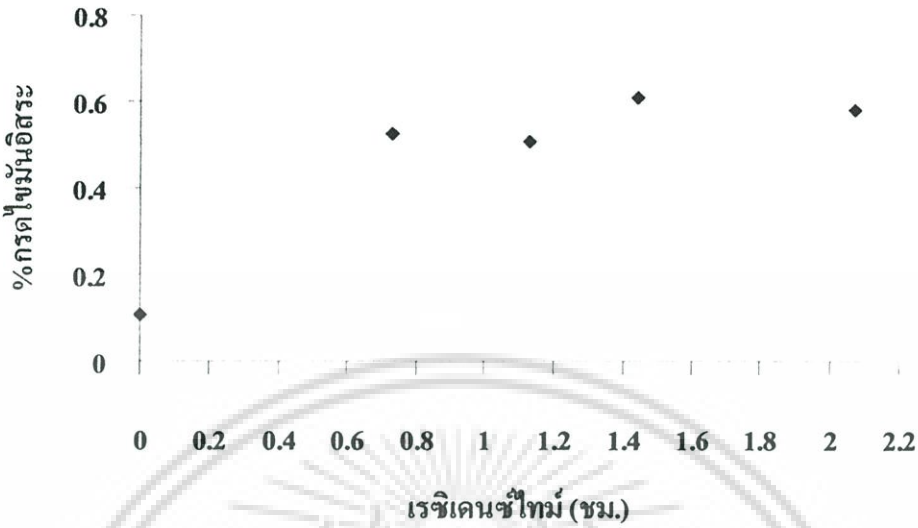


ภาพที่ 5.12 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบสัดส่วนโดยพื้นที่ของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆในน้ำมันปาล์มโอเลอินและผลิตภัณฑ์ที่การทดลองต่างๆ โดยที่ PO แทนด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน, 60-L และ 60- H แทนด้วยการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 และ 2.07 ชม. ตามลำดับ, 65-L และ 65- H แทนด้วยการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 และ 2.07 ชม. ตามลำดับ และ 70-L และ 70- H แทนด้วยการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.72 และ 1.99 ชม. ตามลำดับ

5.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน

การวิเคราะห์หาปริมาณของกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์จะทำได้โดยใช้วิธีมาตรฐาน A.O.C.S Official method Ca 5a – 40 [9] ในผลิตภัณฑ์นั้นนอกจากไตรกลีเซอไรด์แล้วยังประกอบไปด้วยไดกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ กรดไขมันอิสระจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส นอกจากนี้การที่มีกรดไขมันอิสระปนอยู่ในผลิตภัณฑ์มากเกินไปนั้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่บริสุทธิ์ จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่าไรในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แสดงไว้ในภาพที่ 5.13 ถึง 5.16

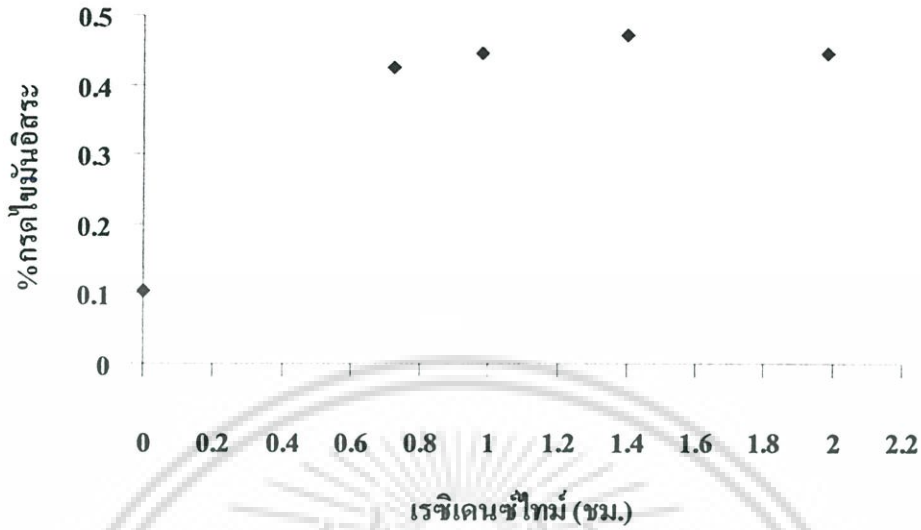
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



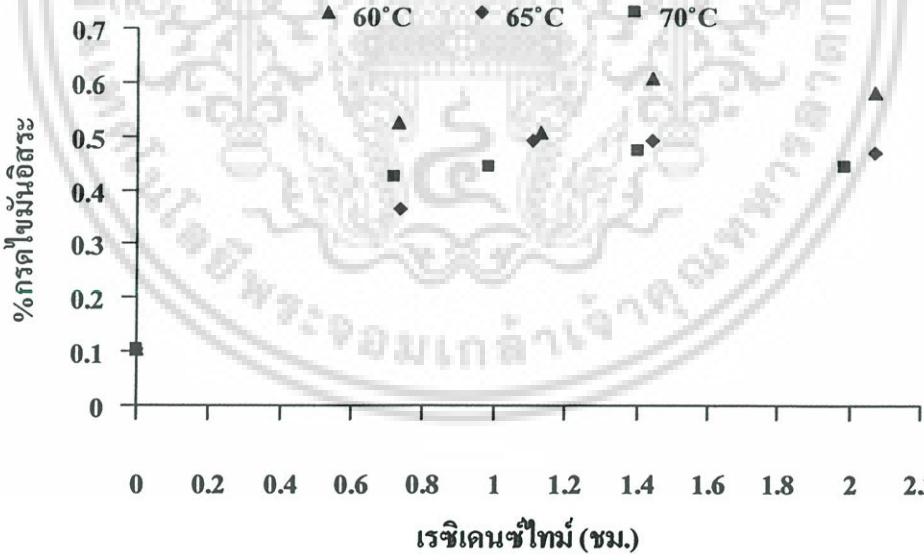
ภาพที่ 5.13 ปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิของการทดลองคือ 60°C

ภาพที่ 5.14 ปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิของการทดลองคือ 65°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.15 ปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิของการทดลองคือ 70°C



ภาพที่ 5.16 การเปรียบเทียบปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่ออุณหภูมิของการทดลองคือ 60, 65, และ 70°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในภาพที่ 5.16 พบว่าปริมาณของกรดไขมันอิสระในการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 60°C สูงกว่าการทดลองที่ 65 และ 70°C การที่มีกรดไขมันอิสระอยู่สูงแสดงว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดได้ดี ซึ่งหมายความว่ามีน้ำอยู่ในระบบการทดลอง สำหรับการทดลองนี้เอนไซม์ Lypozyme TL IM นั้นมีปริมาณน้ำภายในเม็ดเอนไซม์อยู่ 6 % เมื่อทำการทดลองไปหลายการทดลองปริมาณน้ำในเม็ดเอนไซม์จะเริ่มมีปริมาณลดลงส่งผลให้มีปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองเนื่องจากได้เริ่มทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นลำดับแรกส่วนการทดลองที่อุณหภูมิ 65 และ 70°C นั้นได้ทำสลับกันแบบสุ่ม ในช่วงการทดลองที่ 60°C ปริมาณของน้ำในเม็ดเอนไซม์ยังสูงจึงทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดำเนินได้ดี ทำให้พบปริมาณของกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์สูง ในขณะที่การทดลองที่อุณหภูมิ 65 และ 70°C ปริมาณน้ำในเอนไซม์ลดลงไปจากเดิมทำให้มีปริมาณของกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์น้อยกว่า การที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 60°C มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงแต่จุดหลอมเหลวกลับต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 65 และ 70°C นั้น แสดงว่าการทดลองที่อุณหภูมิสูงทำให้เอนไซม์ทำงานได้ดี ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นสูงกว่าการทดลองที่อุณหภูมิต่ำกว่า ไดกลีเซอไรด์จะจับตัวกับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นไตรกลีเซอไรด์ชนิดใหม่ได้ดี ทำให้พบปริมาณของกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่ต่ำ

5.4 การทำนายจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์โดยใช้กฎการผสม (Mixing Rule)

จากโครมาโตแกรมในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ในผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบถึงพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละพีค ถ้าสมมติให้ไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิดมีผลตอบสนองด้วยตัวตรวจวัด RI เท่ากัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าอัตราส่วนของพื้นที่พีคใดๆต่อพื้นที่พีครวมเท่ากับสัดส่วนโดยมวลของไตรกลีเซอไรด์ชนิดนั้นๆ ดังนั้นเมื่อนำสัดส่วนโดยมวลดังกล่าวมาคำนวณหาจุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์ผสม เมื่อทราบค่าจุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิด โดยใช้กฎการผสมดังนี้

$$MP_{total} = \sum x_i MP_i \tag{5.1}$$

$$x_i = \frac{P_i}{P} \tag{5.2}$$

เมื่อ MP_{total} คือ จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์

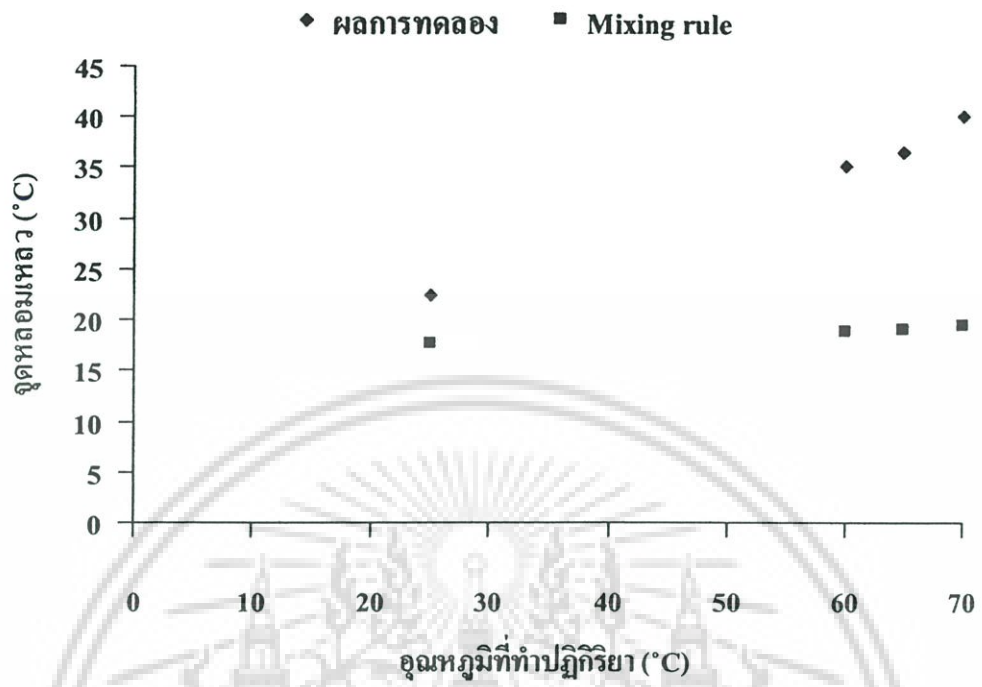
x_i คือ สัดส่วนโดยมวลของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิด

P_i คือ พื้นที่ใต้พีคของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิด

P คือ พื้นที่ใต้พีครวมของผลิตภัณฑ์

MP_i คือ จุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.17 การเปรียบเทียบจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอินระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยกฎการผสมกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน A.O.C.S Cc 1-25 โดยสภาวะการทดลองที่ทำการเปรียบเทียบกันคือเรซิเดนซ์ไทม์ 2 ชม.

จากภาพที่ 5.17 จะเห็นว่าค่าจุดหลอมเหลวที่ได้จากกฎการผสมมีค่าต่ำกว่าค่าจุดหลอมเหลวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน A.O.C.S Cc 1-25 ค่อนข้างมาก และที่แต่ละอุณหภูมิการทดลองค่าของจุดหลอมเหลวที่ได้จากกฎการผสมจะมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก เหตุที่ผลการทำนายจุดหลอมเหลวโดยใช้กฎการผสมแตกต่างจากผลการทดลองมากนี้อาจอธิบายได้ว่าไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิดอาจจะมีผลกระทบระหว่างกัน ทำให้ไม่สามารถใช้กฎการผสมข้างต้นในการทำนายค่าจุดหลอมเหลวได้ หรือ สมมติฐานที่ว่าอัตราส่วนของพื้นที่พีคใดๆ ต่อพื้นที่พีครวม เท่ากับสัดส่วนโดยมวลของไตรกลีเซอไรด์ชนิดนั้นๆ ไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น คือ อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาและเรซิเดนซ์ไทม์ โดยจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์จะแปรผันตามปัจจัยทั้งสอง คือที่อุณหภูมิและเรซิเดนซ์ไทม์สูง จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าสูง ทั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองต้องไม่สูงเกินกว่าข้อจำกัดของเอนไซม์ตรึงไลโปไซม์ทีแอลไอเอ็ม ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปเอนไซม์จะเริ่มเสื่อมสภาพ อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีจุดหลอมเหลวที่ลดลง และการที่จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์สูงกว่าน้ำมันพืชก่อนเข้าทำปฏิกิริยานั้น เป็นเพราะเอนไซม์ตรึง Lypozyme TL IM เป็นเอนไซม์ที่มีความจำเพาะเจาะจงเมื่อนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่น ทำให้ปริมาณองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆที่มีในน้ำมันปาล์มเปลี่ยนแปลงไป เกิดเป็นไตรกลีเซอไรด์ชนิดใหม่ โดยเฉพาะไตรปาล์มมิติลกลีเซอไรด์ (PPP) ซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์ชนิดอิ่มตัวที่มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 56.1°C ซึ่งไม่พบในน้ำมันปาล์ม จึงเป็นผลให้จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงขึ้น สำหรับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในผลิตภัณฑ์นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของความชื้นในเอนไซม์ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในเอนไซม์จะเป็นตัวทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นได้ดีกรดไขมันอิสระจึงแตกตัวออกมาในปริมาณที่สูง เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณน้ำในเอนไซม์ลดลง ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่ตรวจพบจึงลดต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Novozymes. "Interesterification of oils & fats using Lipozyme TL IM." Available: http://www.novozymes.com. 2002.

[2] Forssell, P. et. al. "Effect of Enzymatic Interesterification on the Melting Point of Tallow-Rapeseed Oil (LEAR) Mixture.". JAOCS. vol. 69. no. 2, 1992. pp. 126-129.

[3] Foglia, T.A. et. al. "Enzymatic Interesterification of Tallow-Sunflower Oil Mixtures." JAOCS. vol. 70. no. 3,1993. pp. 281-285

[4] Ghazali, H.M. "Enzymatic Transesterification of Palm Olein with Nonspecific and 1,3-Specific Lipases." JAOCS. vol. 72. no. 6, 1995. pp. 633-639.

[5] Ghosh, S. and Bhattacharyya, D.K. "Utilization of High-Melting Palm Stearin in Lipase-Catalyzed Interesterification with Liquid Oils." JAOCS. vol. 74. no. 5, 1997. pp. 589-592.

[6] Mu, H. et. al. "Production of structured lipids by lipase-catalyzed interesterification in a bed reactor: effect of reaction parameters on the level of diacylglycerols in the products." Fett/Lipid. vol 101., 1999. pp. 158-164

[7] Zhang, H. et. al. "Lipozyme IM-catalyzed interesterification for the production of magarine fats in a 1 kag scale stirred tank reactor." Eur. J. Lipid Sci. Technol. Vol. 102, 2000. pp. 411-418

[8] Zhang, H. et. al. "Production of magarine Fats by Enzymatic Interesterification with Silica-*Granulated Themomyces* lanuginose Lipase in a Large-Scale Study." JAOCS. vol. 78. no.1, 2001. pp. 57-63

[9] AOCS. **Ca 5a-40 : Free fatty acids. In : Official Methods and Recommended Practices of the AOCS.** 5 th ed. Illinois : American Oil Chemists' Society Press. 1997a.

[10] AOCS. **Cc 1-25 : Melting Point. In : Official Methods and Recommended Practices of the AOCS.** 5 th ed. Illinois : American Oil Chemists' Society Press. 1997a.

[11] Hoffman, G. **The Chemistry and Technology of Edible Oils and Fats and their High Fat Products.** Acadamic press limited. 1989.

[12] O'Beien, R.O. **FATS and OILS Formulation and Processing for Applications.** Pensylvania : TECHNOMICS publication. 1998.

[13] สุนันทา ภิญญาวัธน์. **ชีวเคมี1.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[14] Hui, Y. H. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. John Wiley & Sons Inc. 1996

[15] วชิรา พรหมจอม. และ อัจฉรา สุวรรณวรบุญ. 2543. ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่ง. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอนไซม์ตรึงLypozyme TL IM

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา : เอนไซม์ตรึง มีความจำเพาะเจาะจงที่ตำแหน่ง 1, 3 สกัดจากจุลินทรีย์ *Thermomyces lanugionosus* ตัวรองรับที่ใช้คือซิลิกา

ลักษณะทางกายภาพ : เอนไซม์ Lypozyme TL IM มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาว เส้นผ่านศูนย์กลาง 300 – 1000 ไมโครเมตร พื้นที่ผิวมีขนาดประมาณ 50 ตารางเมตรต่อกรัม ความหนาแน่น 0.55 กรัมต่อมิลลิลิตร

ลักษณะการใช้งาน : สามารถใช้ได้ทั้งเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งและเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

ความชื้นภายในเอนไซม์ : 6.0 % โดยน้ำหนักเอนไซม์ Lypozyme TL IM

อุณหภูมิการใช้งาน : 55 – 75°C

แอคติวิตี้ : 170 IUN/g เมื่อนิยามของ IUN (Interesterification Units Novo) คือหนึ่งหน่วยที่เทียบเท่าจำนวนเอนไซม์ที่ทำให้เกิดไตรสเตียรินขึ้นมา 0.1 % ภายใน 1 นาทีภายใต้สภาวะมาตรฐาน [1]

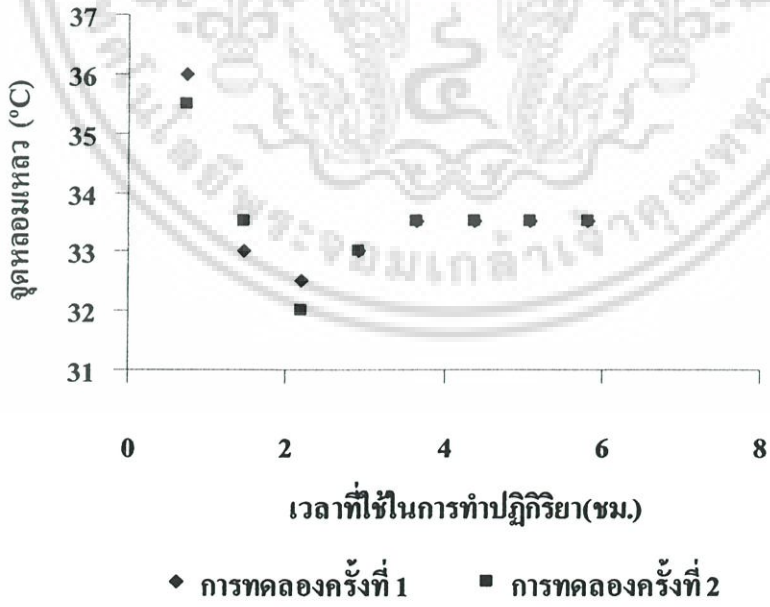
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
650	0.73	36.0	35.5
	1.46	33.0	33.5
	2.19	32.5	32.0
	2.92	33.0	33.0
	3.65	33.5	33.5
	4.38	33.5	33.5
	5.11	33.5	33.5
	5.84	33.5	33.5

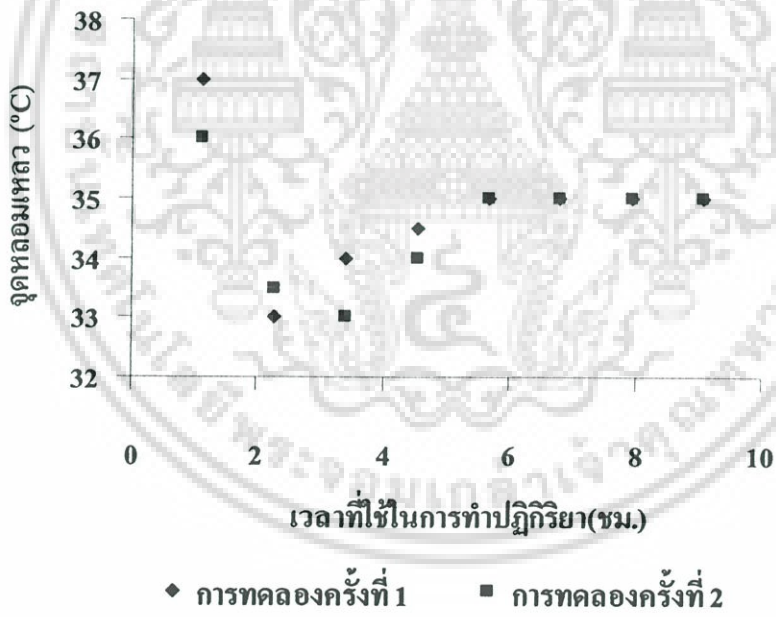


ภาพที่ ข.1 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.13 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
420	1.13	37.0	36.0
	2.27	33.0	33.5
	3.40	34.0	33.0
	4.53	34.5	34.0
	5.67	35.0	35.0
	6.80	35.0	35.0
	7.94	35.0	35.0
	9.07	35.0	35.0

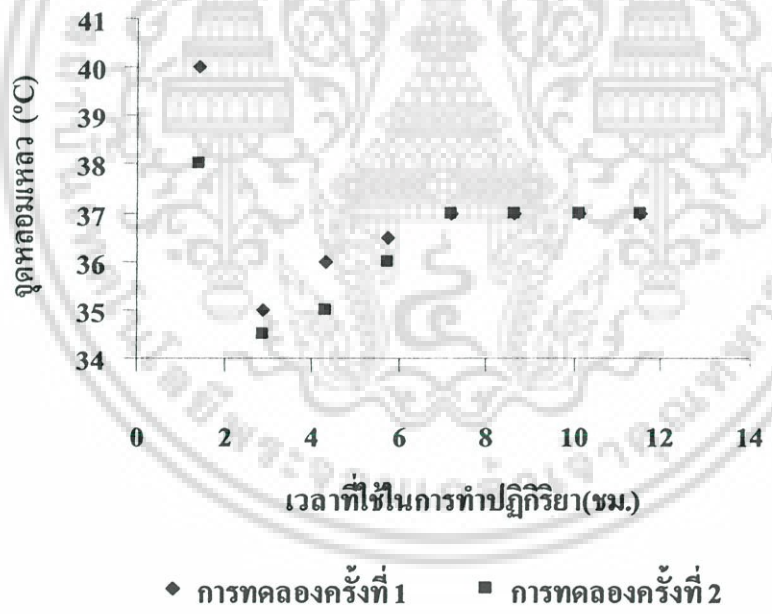


ภาพที่ ข.2 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.13 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.44 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
330	1.44	40.0	38.0
	2.88	35.0	34.5
	4.32	36.0	35.0
	5.76	36.5	36.0
	7.20	37.0	37.0
	8.64	37.0	37.0
	10.08	37.0	37.0
	11.52	37.0	37.0

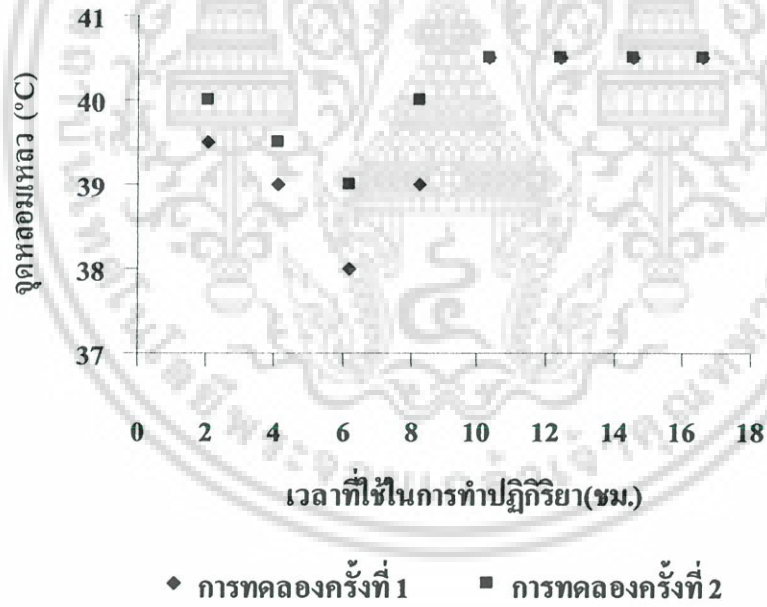


ภาพที่ ข.3 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.44 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 2.07 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
230	2.07	39.5	40.0
	4.14	39.0	39.5
	6.21	38.0	39.0
	8.28	39.5	40.0
	10.35	40.5	40.5
	12.42	40.5	40.5
	14.49	40.5	40.5
	16.56	40.5	40.5

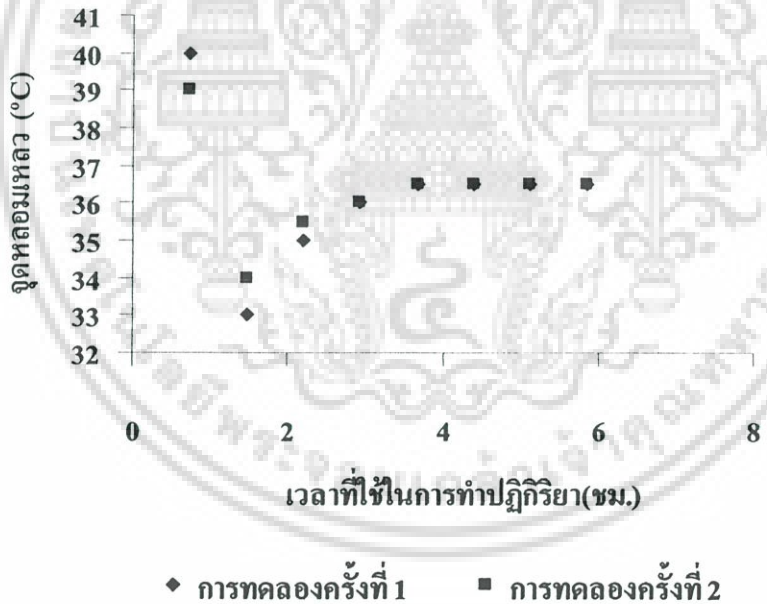


ภาพที่ ข.4 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 60°C เรซิเดนซ์ไทม์ 2.07 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
650	0.73	40.0	39.0
	1.46	33.0	34.0
	2.19	35.0	35.5
	2.92	36.0	36.0
	3.65	36.5	36.5
	4.38	36.5	36.5
	5.11	36.5	36.5
	5.84	36.5	36.5

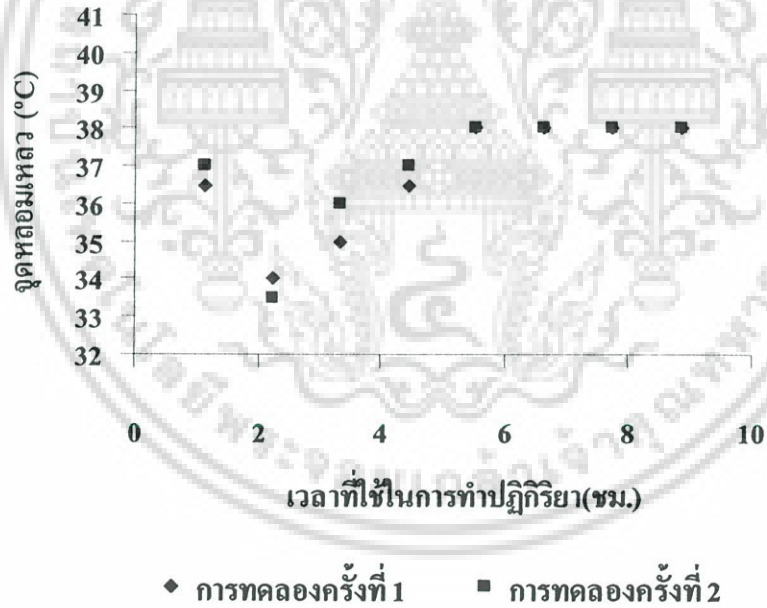


ภาพที่ ข.5 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.73 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.11 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
430	1.11	36.5	37.0
	2.22	34.0	33.5
	3.33	35.0	36.0
	4.44	36.5	37.0
	5.55	38.0	38.0
	6.66	38.0	38.0
	7.77	38.0	38.0
	8.88	38.0	38.0

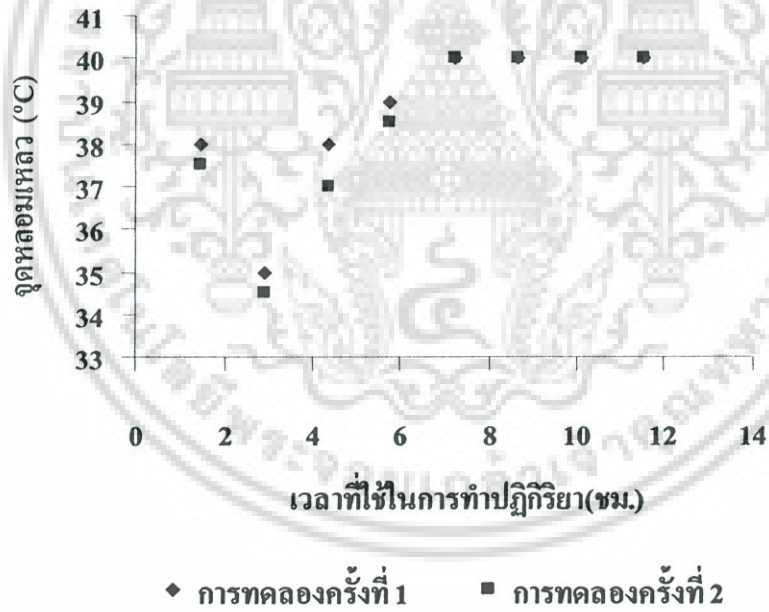


ภาพที่ ข.6 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.11 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.44 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
330	1.44	38.0	37.5
	2.88	35.0	34.5
	4.33	38.0	37.0
	5.77	39.0	38.5
	7.22	40.0	40.0
	8.66	40.0	40.0
	10.10	40.0	40.0
	11.55	40.0	40.0

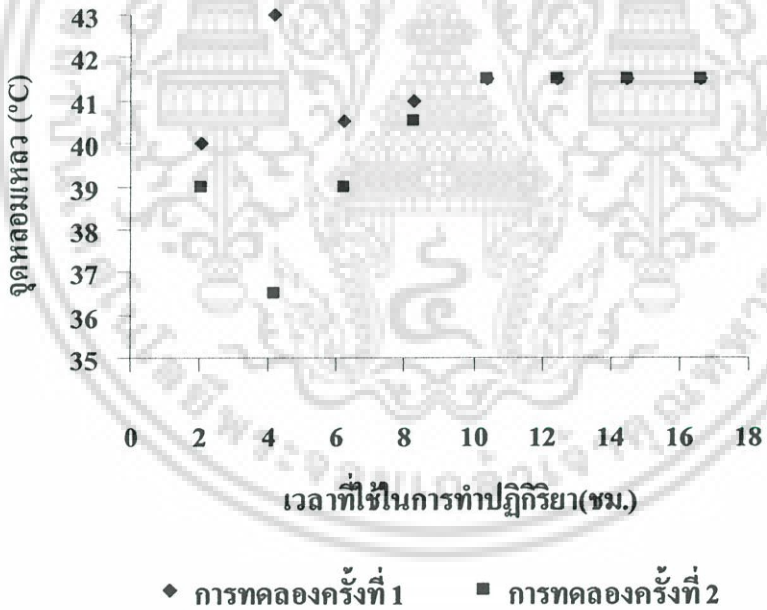


ภาพที่ ข.7 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.44 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 2.07 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
230	2.07	40.0	39.0
	4.14	43.0	36.5
	6.21	40.5	39.0
	8.28	41.0	40.5
	10.35	41.5	41.5
	12.43	41.5	41.5
	14.50	41.5	41.5
	16.57	41.5	41.5

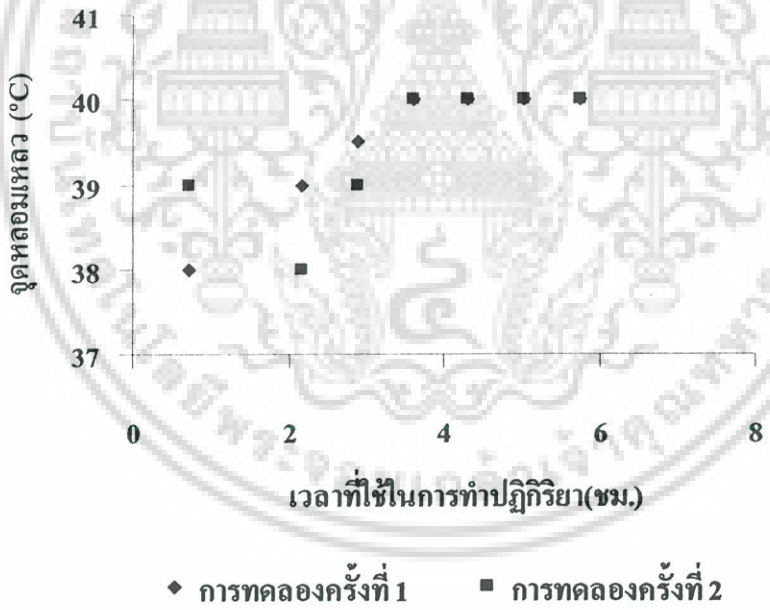


ภาพที่ ข.8 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 65°C เรซิเดนซ์ไทม์ 2.07 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.72 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
660	0.72	38.0	39.0
	1.44	42.0	34.0
	2.16	39.0	38.0
	2.88	39.5	39.0
	3.60	40.0	40.0
	4.32	40.0	40.0
	5.04	40.0	40.0
	5.76	40.0	40.0

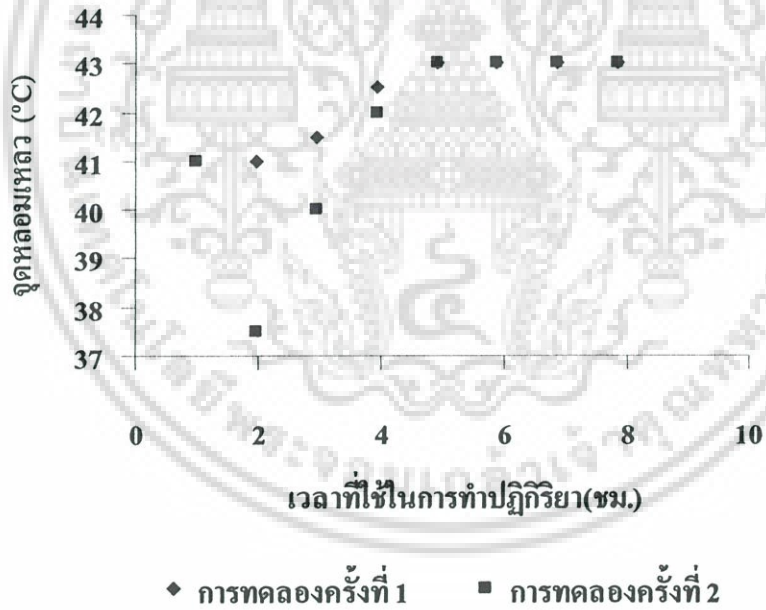


ภาพที่ ข.9 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.72 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.98 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
485	0.98	47.5	41.0
	1.96	41.0	37.5
	2.94	41.5	40.0
	3.92	42.5	42.0
	4.99	43.0	43.0
	5.88	43.0	43.0
	6.86	43.0	43.0
	7.84	43.0	43.0

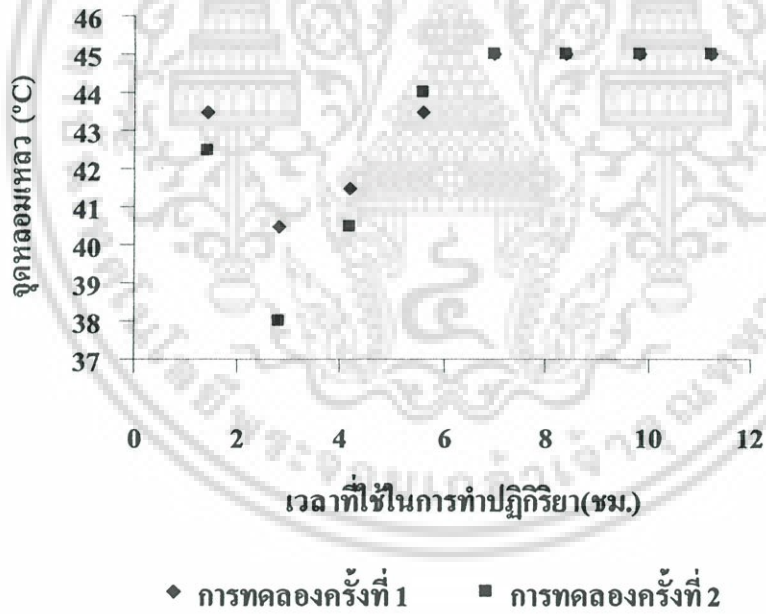


ภาพที่ ข.10 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 0.98 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.40 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
330	1.40	43.5	37.5
	2.88	40.5	34.5
	4.20	41.5	37.0
	5.60	43.5	38.5
	7.00	45.0	40.0
	8.40	45.0	40.0
	9.80	45.0	40.0
	11.20	45.0	40.0



ภาพที่ ข.11 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.40 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 แสดงจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อุณหภูมิการทดลอง 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.98 ชม.

อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อชม.)	เวลาที่ทำปฏิกิริยา (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)	
		การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
240	1.98	43.0	45.0
	3.96	45.0	40.5
	5.94	46.0	43.5
	7.92	47.0	47.5
	9.90	48.0	48.0
	11.88	48.0	48.0
	13.86	48.0	48.0
	15.84	48.0	48.0

ภาพที่ ข.12 ความสัมพันธ์ของจุดหลอมเหลวกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อสภาวะใช้ทดลองคือ อุณหภูมิ 70°C เรซิเดนซ์ไทม์ 1.98 ชม.

ภาพที่ ข.1 ถึง ข. 12 แสดงให้เห็นว่าระบบจะเริ่มเข้าสู่สภาวะ steady – state เมื่อระยะเวลาของการทดลองผ่านไป 5 เท่าของเรซิเดนซ์ไทม์ของแต่ละการทดลอง สังเกตจากจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอินจะเริ่มคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ข้อมูลของเปอร์เซนต์กรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ตามวิธีของ A.O.C.S. Ca 5a – 40 [9]

สารเคมีที่ใช้

1) เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล (0.1 N NaOH)

2) สารมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต 0.1 นอร์มอล (0.1 N KHP)

3) เตรียมเอทานอลให้เป็นกลาง (Neutral ethanol)

นำเอทานอล 95 % 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดชมพู่ที่สะอาด ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่แห้งแล้วเติมฟีนอล์ฟทาลีน 4 หยด ให้ความร้อนแล้วทำการไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีชมพู

วิธีการทดลอง

1) ตวงเอทานอลที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว ใส่ลงในขวดชมพู่ที่มีน้ำมันอยู่ 56.4 กรัม พร้อมกับสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนจำนวน 2 มิลลิลิตร

2) ทำการไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล เขย่าจนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป

การคำนวณ

1) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการไตเตรตด้วยสารมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

การคำนวณ หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$\text{Mol NaOH} = \text{Mol KHP}$$

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$M_1\,(9.52) = (0.1)(10)$$

$$M_1 = 0.11$$

∴ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.11 N

2) หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

ครั้งที่	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	9.52
2	9.50
3	9.55
เฉลี่ย	9.52

ตารางที่ ค.2 น้ำหนักของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

น้ำมัน	น้ำหนัก (กรัม)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	28.20	28.20	28.20

ตารางที่ ค.3 น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ใช้หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

อุณหภูมิ (°C)	เรซิเดนซ์ไทม์ (ชม.)	น้ำหนัก (กรัม)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
60	0.73	28.21	28.20	28.21
	1.13	28.20	28.21	28.21
	1.44	28.22	28.20	28.20
	2.07	28.22	28.23	28.19
65	0.73	28.23	28.19	28.23
	1.13	28.20	28.20	28.20
	1.44	28.23	28.19	28.19
	2.07	28.22	28.21	28.20
70	0.73	28.22	28.19	28.23
	1.13	28.15	28.19	28.22
	1.44	28.20	28.21	28.21
	2.07	28.22	28.16	28.22

เมื่อทำการไตเตรตด้วยสารละลาย 0.105 N NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มโอเลอิน

น้ำมัน	ปริมาตร (มิลลิลิตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์ม	1.10	1.10	1.10

ตารางที่ ค.5 ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตกรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

อุณหภูมิ (°C)	เรซิเดนซ์ไทม์ (ชม.)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
60	0.73	5.46	5.67	5.56
	1.13	5.35	5.25	5.35
	1.44	6.61	6.29	6.29
	2.07	5.77	6.51	6.08
65	0.73	3.68	3.88	3.78
	1.13	4.83	5.04	5.46
	1.44	4.94	5.45	5.45
	2.07	4.83	5.25	4.83
70	0.73	4.72	4.30	4.52
	1.13	4.50	4.72	4.72
	1.44	5.14	4.83	4.83
	2.07	4.41	4.61	4.83

คำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ดังสมการ

$$\text{ปริมาณกรดปาล์มมิติก, \%} = \frac{V \times N \times 25.6}{M}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของNaOH ที่ใช้ในการไตเตรต (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้น NaOH (N)

M คือ น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 แสดงเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มโอเลอิน

น้ำมัน	% กรดปาล์มมิติก			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	0.11	0.10	0.11	0.11

ตารางที่ ค.7 แสดงเปอร์เซนต์กรดไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

อุณหภูมิ (°C)	เรซิเดนซ์ไทม์ (ชม.)	% กรดปาล์มมิติก			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
60	0.73	0.52	0.54	0.53	0.53
	1.13	0.51	0.50	0.51	0.51
	1.44	0.63	0.60	0.60	0.61
	2.07	0.55	0.62	0.58	0.58
65	0.73	0.35	0.37	0.36	0.36
	1.13	0.46	0.48	0.52	0.49
	1.44	0.47	0.52	0.52	0.49
	2.07	0.46	0.50	0.46	0.47
70	0.73	0.45	0.41	0.43	0.43
	1.13	0.43	0.45	0.45	0.44
	1.44	0.49	0.46	0.46	0.47
	2.07	0.42	0.44	0.46	0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
จุดหลอมเหลวที่ได้จากการทำนายด้วยกฎการผสม

โครมาโตแกรมของการวิเคราะห์องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์แสดงค่าของสัดส่วนโดยมวลของไตรกลีเซอไรด์ ตารางที่ 1.1 แสดงถึงจุดหลอมของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์ม และภาพที่ 5.5 ถึง 5.11 ได้จำแนกชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถที่จะทำนายจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มโอเลอินได้จากกฎการผสม จากสูตร

$$MP_{total} = \sum x_i MP_i$$

เมื่อ MP_{total} คือ จุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์

x_i คือ สัดส่วนโดยมวลของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิด

P_i คือ พื้นที่ใต้พีคของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิด

P คือ พื้นที่ใต้พีครวมของผลิตภัณฑ์

MP_i คือ จุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์แต่ละชนิด

ตารางที่ ง.1 ค่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนทำปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นที่ทำนายโดยกฎการผสม

น้ำมันพืช	จุดหลอมเหลว(°C)
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	17.70

ตารางที่ ง.2 ค่าจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มโอเลอินด้วยกฎการผสม

อุณหภูมิการทดลอง (°C)	เรซิเดนซ์ไทม์ (ชม.)	จุดหลอมเหลว (°C)
60	0.73	18.63
	2.07	18.70
65	0.73	18.87
	2.07	18.78
70	0.72	19.39
	1.98	19.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืช

จ.1 มาร์การีน

มาร์การีน คือ เนยเทียมที่มีลักษณะเป็นของแข็งอ่อนนิ่ม หรือของเหลว มักจะมีสีขาว ทำจากไขมันหรือน้ำมันทั้งที่ได้จากพืชและสัตว์ โดยนำมาทำปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นหรือปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชั่น นอกจากนี้ยังอาจจะยังมีส่วนผสมของครีมนมด้วย

มาร์การีนเป็นไขมันในภาพอิมัลชั่นของน้ำในน้ำมัน น้ำที่เป็นส่วนประกอบในมาร์การีนนั้นมาจากครีมนมหรือน้ำที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน

ถ้าผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบ 80 % และปริมาณน้ำน้อยกว่า 16 % จะเรียกว่ามาร์การีน แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันน้อยกว่า 80 % และปริมาณน้ำไม่เกิน 50 % เรียกมินารีนหรือเนยเทียมแคลอรีต่ำ

ตารางที่ จ.1 องค์ประกอบของไขมันในมาร์การีนโดยทั่วไป

ชนิดของไขมัน	ปริมาณเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก
ไขมันอิ่มตัว	48.75
ไขมันไม่อิ่มตัวโมเลกุลเดี่ยว	35.00
ไขมันไม่อิ่มตัวหลายโมเลกุล	15.00

แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แคลเซียม เหล็ก โพแทสเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และ แมกนีเซียม

วิตามินที่มักพบเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี1 วิตามินบี วิตามินบี6 วิตามินซี

ปริมาณกรดไขมันอิสระ 0.15% โดยน้ำหนักของมาร์การีน

จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 38 – 46°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.2 ชอทเทนนิ่ง (Shortening)

ชอทเทนนิ่ง คือเนยเทียมที่ได้จากน้ำมันหรือไขมันสัตว์โดยไม่มีส่วนผสมของน้ำ และไม่มีลักษณะเป็นอิมัลชั่น ในปัจจุบันมีการนำชอทเทนนิ่งจากน้ำมันปาล์ม มีทั้งลักษณะที่เป็นของเหลวประกอบด้วยไขมันที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ เนื้อน้ำมันใส นิยมใช้ในการทอดอาหารที่ต้องการปริมาณน้ำมันมากๆ ลักษณะที่เป็นของแข็งจะคล้ายกันมาร์การีน

ตารางที่ จ.2 องค์ประกอบของไขมันในชอทเทนนิ่งโดยทั่วไป

ชนิดของไขมัน	ปริมาณเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก
ไขมันอิ่มตัว	47.00
ไขมันไม่อิ่มตัวโมเลกุลเดี่ยว	43.00
ไขมันไม่อิ่มตัวหลายโมเลกุล	10.00

ปริมาณกรดไขมันอิสระ 0.10% โดยน้ำหนักของชอทเทนนิ่ง

จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 32 – 34°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	**นายศรัณย์ช. สุขสุวรรณ**
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 17 กันยายน 2519
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เคมี)
สถานที่สำเร็จการศึกษา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
ผลงานทางวิชาการ	1) **"แบบจำลองการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลายโมโนเอทาโนลามีน."** ประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9. 2542. 2) **"ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันปาล์มเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ตรึง Lipozyme TL IM ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด."** ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้