

637.12  
พ 249 ก

รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมสารประกอบเอสเทอร์  
และกลีเซอรอลจากกากของเสียในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม

Feasibility Study in Preparation of Ester Compounds and  
Glycerol from Dairy Waste Sludge of Milk Products Industry

ป. 9 ก.พ. 2553

โดย

รศ.ดร.พรพิมล ม่วงไทย

รศ.ดร.เบญจมาศ ถนอมทรัพย์

ดร. มณีกานต์ ชินวรรังสี

ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ

2551

### บทคัดย่อ

กากของเสียจากโรงงานที่ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันในปัจจุบันมีค่อนข้างมาก ซึ่งเมื่อผ่านการบำบัดและทิ้งไว้ เนื่องจากในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนมส่วนใหญ่จะมีการสูญเสียไขมันไปบางส่วน ดังนั้นกากของเสียที่ออกไปสู่ระบบบำบัดของโรงงานจะมีน้ำมันหรือไขมันนมเจือปน จากสมมุติฐานเบื้องต้นจึงทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาการทำสารเอสเทอร์และกลีเซอรินจากวัตถุดิบกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมนม ซึ่งทำให้สามารถประเมินความน่าจะเป็นของการแปรรูปกากที่มีไขมันตกค้างให้เกิดประโยชน์ได้ทั้งสองทาง โดยสารประกอบเอสเทอร์สามารถจะนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ส่วนกลีเซอรินเป็นสารที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ยา อาหารเป็นต้น โดยการทดลองวิจัยนี้จะได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันพืชใหม่ น้ำมันสัตว์ใหม่ น้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว โดยทำการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ชนิดคะตะลิสต์ ก่อน จึงทำการศึกษาการทำปฏิกิริยากับกากของเสีย โดยต้องนำกากของเสียมาทำการสกัดน้ำมันออกก่อน ที่จะนำไปทำปฏิกิริยา ผลการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันต่างๆ ผลที่ได้ทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองกับน้ำมันจากกากตัวอย่างของเสีย ซึ่งพบว่า ควรทำการทดลองให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน อย่างน้อย 60 นาที โดยคะตะลิสต์ที่ใช้ได้ดี คือเบสโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ กรดซัลฟิวริก ไม่ควรใช้โลหะในการทำปฏิกิริยาเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ไม่เกิดการแยกชั้นของสารเอสเทอร์กับกลีเซอริน ผลการแยกน้ำมันออกจากกากของเสียโดยได้ทดลองสกัดน้ำมันที่ตกค้างในกากของเสีย 2 วิธี แบบไม่ต่อเนื่อง และแบบต่อเนื่อง พบว่า ปริมาณน้ำมันที่ได้ปริมาณโดยเฉลี่ยของน้ำมันที่สกัดได้จากวิธีการทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก ในแต่ละครั้งแยกน้ำมันได้เฉลี่ยประมาณร้อยละ 31.84 – 33.94 มีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 4.98 – 5.01 ภายหลังทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและแยกสารประกอบเอสเทอร์หยาบได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 43 กลีเซอรินหยาบประมาณร้อยละ 57 ภายหลังผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เมื่อตรวจหาปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ที่เตรียมได้พบว่า มีปริมาณสารเอสเทอร์ประมาณร้อยละ 71.21 ซึ่งแสดงว่ายังมีสมบัติไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้มากนัก แต่มีปริมาณน้อยคิดเป็นร้อยละ 25 ของสารเอสเทอร์หยาบตั้งต้น สำหรับกลีเซอรินที่แยกได้ทำให้บริสุทธิ์และมีปริมาณกลีเซอรินมากถึงร้อยละ 96 ซึ่งเป็นกลีเซอรินที่มีเกรดระดับชั้นยา แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบเอสเทอร์ปริมาณน้อยกว่าได้ กลีเซอริน และการแยกสารเอสเทอร์ทำได้ค่อนข้างยากกว่าจึงเกิดการสูญเสียสารประกอบเอสเทอร์ไปในระหว่างการแยกและทำให้บริสุทธิ์ ดังนั้นความเป็นไปได้ในการนำกากของเสียมาผลิตเป็นสารประกอบเอสเทอร์และกลีเซอรินนั้น ควรเตรียมเป็นกลีเซอริน เพราะสามารถแยกและทำเป็นกลีเซอรินเกรดชั้นยาได้ดี

## ABSTRACT

There are a lot of waste from dairy plant which was treated and left in the plant. From milk industry, there was some fat lost from processing, thus the waste must contained some part of fat or oil. From the above assumption, the researcher studied and prepared ester compound and glycerine from those dairy waste to evaluate the feasibility in processing waste to the utility products. The ester compound is the biodiesel which was an alternative energy and glycerine is the one of raw material used in many industries as cosmetic, drug and food. In this research, the transesterification reactions were performed in vegetable fresh oil, animal fresh oil and used oil by variation the factors that effect on the reaction such as temperature, time and type of catalysts. The oil was extracted from dairy waste before performing reaction. The appropriate condition from early study used to performed in extracted oil from waste. The reaction media mixed between oil and methanol and catalysts as KOH or  $H_2SO_4$  by control at  $60^\circ C$  for 60 min. Lipase enzyme was not a good catalyst in this reaction mixer, since it gave the slow reaction and the product could not separate into two layers. However, the method of oil extraction as batch extraction method and continuous extraction method were compared and found that there was no significant difference between both method. So that, the batch extracted method was used through this work. The extracted oil gave crude oil average for 31.84-33.94 % with 4.98-5.01 % of free fatty acid. After transesterification were performed, about 43 % of crude ester compound and 57 % of crude glycerine were collected. Then the purification steps, the ester content in crude was evaluated by GC technique and found that it contained ester compound about 71.21 %. The crude glycerine also purified too and found that the pure glycerine was 96 % which was the pharmaceutical grade. Thus, the feasibility to produce the ester compound and glycerine from dairy waste could conclude that the dairy waste should prepared to glycerine because the reaction gave the glycerine which was purified to pharmaceutical grade.

## ประกาศคุณูปการ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณฝ่ายวิจัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตรที่ได้อนุมัติเงินทุนจากงบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยประจำปี 2551 โดยเงินทุนอุดหนุนการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้จนทำให้คณะผู้วิจัยมีปัจจัยหลักทางทุนทรัพย์ที่ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณบุญลือ กาญจนพงษ์พร ผู้จัดการฝ่ายผลิต และ คุณบังอรศิริ วันสาสับ หัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพ ของบริษัทจอมธนา ซึ่งผลิตจำหน่ายผลิตภัณฑ์ไอศกรีมตราครีโม่ ท่านทั้งสองได้ให้ความอนุเคราะห์ ตลอดจนช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บภาคตัวอย่างของเสียจากบ่อบำบัดของโรงงาน

ขอขอบคุณผู้จัดการศูนย์ผลิตนมสหกรณ์โคนม นครปฐม ได้ให้ความอนุเคราะห์ ตลอดจนช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บภาคตัวอย่างของเสียจากบ่อบำบัดของโรงงาน

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ด้วยเครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟีในราคามิตรภาพ และ ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการให้คณะผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรีในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกลีเซอริน

ขอขอบคุณ รศ.ธีรพันธุ์ ม่วงไทย อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหงซึ่งเป็นผู้ให้ความช่วยเหลือ เป็นธุระในการเดินทางไปเก็บตัวอย่างทุกครั้ง ตลอดจนช่วยดำเนินการจัดซื้อ อุปกรณ์มอเตอร์ไฟฟ้า ใบพัด โดยติดตั้งและประกอบเป็นชุดเครื่องกวนไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์การกวนสารในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ ประจำภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตรทุกคน ที่ได้ให้ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์เครื่องแก้ว เครื่องมือพื้นฐานต่างๆ โดยเฉพาะคุณสมพร ตติยะศรี ที่ดำเนินการบันทึกสเปกตรัมนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ให้แก่ทีมงานวิจัย

คณะผู้วิจัย

รศ.ดร.พรพิมล ม่วงไทย

รศ.ดร.เบญจมาส ถนอมทรัพย์

ดร. มณีกานต์ ชินวรรังสี

ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ

## สารบัญ

หน้า

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| บทคัดย่อ.....                                                     | ก  |
| ABSTRACT.....                                                     | ข  |
| ประกาศคุณูปการ.....                                               | ค  |
| สารบัญ.....                                                       | ง  |
| บัญชีตาราง.....                                                   | จ  |
| บัญชีภาพประกอบ.....                                               | ช  |
| บทที่ 1.....                                                      | 1  |
| บทที่ 2.....                                                      | 5  |
| น้ำมัน.....                                                       | 5  |
| นมและอุตสาหกรรมนม.....                                            | 8  |
| กากของเสีย.....                                                   | 11 |
| ไบโอดีเซล.....                                                    | 12 |
| การวิเคราะห์กลีเซอริน.....                                        | 21 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำกลีเซอริน.....                 | 23 |
| บทที่ 3.....                                                      | 26 |
| อุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี.....                                   | 26 |
| วิธีทดลอง.....                                                    | 28 |
| บทที่ 4.....                                                      | 40 |
| ผลการทดลอง.....                                                   | 40 |
| ผลการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในตัวอย่างน้ำมันพืช.....  | 40 |
| น้ำมันสัตว์ใหม่และน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว.....                 |    |
| ผลการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในตัวอย่างกากของเสีย..... | 48 |
| จากโรงงานผลิตภัณฑ์นม.....                                         |    |
| การศึกษาการแยกและทำให้สารเอสเทอร์และกลีเซอรินบริสุทธิ์.....       | 51 |
| บทที่ 5.....                                                      |    |
| สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....                                 | 64 |
| บรรณานุกรม.....                                                   | 68 |
| ภาคผนวก.....                                                      | 71 |
| ประวัติของผู้วิจัย.....                                           | 7  |

## บัญชีตาราง

หน้า

|               |                                                                                                   |    |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 2.1  | ปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบใน<br>ไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์                              | 6  |
| ตารางที่ 2.2  | แสดงสมบัติของไบโอดีเซลกับกรดไขมันประเภทต่างๆ                                                      | 16 |
| ตารางที่ 2.3  | เกณฑ์กำหนดชั้นคุณภาพของกลีเซอรินบริสุทธิ์มาตรฐาน<br>ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม                           | 19 |
| ตารางที่ 3.1  | สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมทรี<br>ในการวิเคราะห์กรดไขมัน               | 39 |
| ตารางที่ 4.1  | แสดงค่ากรดไขมันอิสระ ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์<br>และ กลีเซอรินดิบ                                  | 40 |
| ตารางที่ 4.2  | เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดย<br>ใช้แอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ                     | 41 |
| ตารางที่ 4.3  | เปรียบเทียบชนิดเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในน้ำมันพืชใหม่                                       | 42 |
| ตารางที่ 4.4  | เปรียบเทียบปริมาณกรดที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา                                                    | 43 |
| ตารางที่ 4.5  | ผลการหาสภาวะของอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำ<br>ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันพืชใหม่             | 44 |
| ตารางที่ 4.6  | ผลการหาสภาวะของอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยา<br>ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมันสัตว์ใหม่         | 44 |
| ตารางที่ 4.7  | ผลการหาสภาวะของเวลาที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยา<br>ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมันพืชใหม่               | 45 |
| ตารางที่ 4.8  | ผลการหาสภาวะของเวลาที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยา<br>ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมันสัตว์ใหม่             | 46 |
| ตารางที่ 4.9  | เปรียบเทียบชนิดเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว                             | 46 |
| ตารางที่ 4.10 | ผลการหาสภาวะของเวลาที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยา<br>ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว     | 47 |
| ตารางที่ 4.11 | ผลการหาสภาวะของอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยา<br>ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว | 48 |
| ตารางที่ 4.12 | ปริมาณน้ำมันที่แยกได้จากกากของเสีย 2 วิธี                                                         | 49 |
| ตารางที่ 4.13 | ปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์<br>เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันจากกากของเสีย                  | 50 |
| ตารางที่ 4.14 | ปริมาณของสารเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดในสารประกอบเอสเทอร์ตัวอย่าง                                     | 56 |

|               |                                                                  |
|---------------|------------------------------------------------------------------|
| ตารางที่ 4.15 | ค่าร้อยละผลผลิตและความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ผ่าน.....59        |
|               | ขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา         |
| ตารางที่ 4.16 | ค่าร้อยละผลผลิตและความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ผ่านขั้นตอน.....60 |
|               | การทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ $H_2SO_4$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา           |
| ตารางที่ 4.17 | เปรียบเทียบผลการกำจัดสีกลิ่นของถ่านกัมมันต์และ.....60            |
|               | ดินเบนทอไนต์ที่อุณหภูมิต่างๆ                                     |



## บัญชีภาพ

หน้า

|             |                                                                                                                                 |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพที่ 2.1  | สูตรโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์.....                                                              | 8  |
| ภาพที่ 2.2  | แสดงแผนผังการผลิตสารประกอบเมทิลเอสเทอร์ด้วย.....<br>ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน                                              | 14 |
| ภาพที่ 2.3  | ชนิดกรดไขมันต่างๆที่มีในวัตถุดิบแต่ละชนิด.....                                                                                  | 15 |
| ภาพที่ 3.1  | ตัวอย่างกากของเสียจากโรงงานผลิตไอศกรีมของบริษัทจอมธนา.....                                                                      | 28 |
| ภาพที่ 4.1  | อินฟราเรดสเปกตรัมของเมทิลลิโนเลอเตมาตรฐาน.....                                                                                  | 51 |
| ภาพที่ 4.2  | อินฟราเรดสเปกตรัมของเมทิลโอเลอเตมาตรฐาน.....                                                                                    | 52 |
| ภาพที่ 4.3  | อินฟราเรดสเปกตรัมของเมทิลปาล์มิตเตมาตรฐาน.....                                                                                  | 52 |
| ภาพที่ 4.4  | อินฟราเรดสเปกตรัมของเมทิลสเตียเรเตมาตรฐาน.....                                                                                  | 53 |
| ภาพที่ 4.5  | อินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบเอสเทอร์ตัวอย่าง.....                                                                              | 53 |
| ภาพที่ 4.6  | นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัมของเมทิลลิโนเลอเตมาตรฐาน.....                                                                | 54 |
| ภาพที่ 4.7  | นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัมของเมทิลโอเลอเตมาตรฐาน.....                                                                  | 54 |
| ภาพที่ 4.8  | นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัมของเมทิลปาล์มิตเตมาตรฐาน.....                                                                | 55 |
| ภาพที่ 4.9  | นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัมของเมทิลสเตียเรเตมาตรฐาน.....                                                                | 55 |
| ภาพที่ 4.10 | นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัมของสารเอสเทอร์ตัวอย่าง.....                                                                  | 56 |
| ภาพที่ 4.11 | กลีเซอรินดิบภายหลังการแยกออกจากสารประกอบเอสเทอร์.....                                                                           | 57 |
| ภาพที่ 4.12 | กลีเซอรินที่ผ่านการระเหยเอาเมทานอลออก.....                                                                                      | 58 |
| ภาพที่ 4.13 | กลีเซอรินหลังการปรับให้เป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน.....<br>เปรียบเทียบกับกลีเซอรินบริสุทธิ์                                       | 58 |
| ภาพที่ 4.14 | กลีเซอรินหลังการกำจัดสีและกลิ่นด้วยถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิห้อง.....<br>เปรียบเทียบกับกลีเซอรินบริสุทธิ์                         | 59 |
| ภาพที่ 4.15 | โครมาโทแกรมของกรดไขมันอิสระมาตรฐาน .....                                                                                        | 60 |
| ภาพที่ 4.16 | สเปกตรัมของกลีเซอรินที่ผ่านการฟอกสีกำจัดกลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์.....                                                              | 61 |
| ภาพที่ 4.16 | โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่มี.....<br>$H_2SO_4$ เป็นคะตะลิสต์ และผ่านการกำจัดสีด้วยถ่านกัมมันต์ | 62 |
| ภาพที่ 4.17 | โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่มี.....<br>$H_2SO_4$ เป็นคะตะลิสต์ และผ่านการกำจัดสีด้วยดินเบนทอไนต์ | 62 |
| ภาพที่ 4.18 | โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่มี.....                                                              | 63 |

KOHเป็นกะตะลิสต์ และผ่านการกำจัดสีด้วยถ่านกัมมันต์

ภาพที่ 4.19 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มี.....63

KOH เป็นกะตะลิสต์ และผ่านการกำจัดสีด้วยดินเบนทอไนต์

ภาพผนวก 1 ตัวอย่างกากของเสีย.....73

ภาพผนวก 2 ชุดสกัดน้ำมันแบบต่อเนื่อง..... 73

ภาพผนวก 3 ชุดเครื่องกวนไฟฟ้าพร้อมอุปกรณ์ให้ความร้อน..... 74

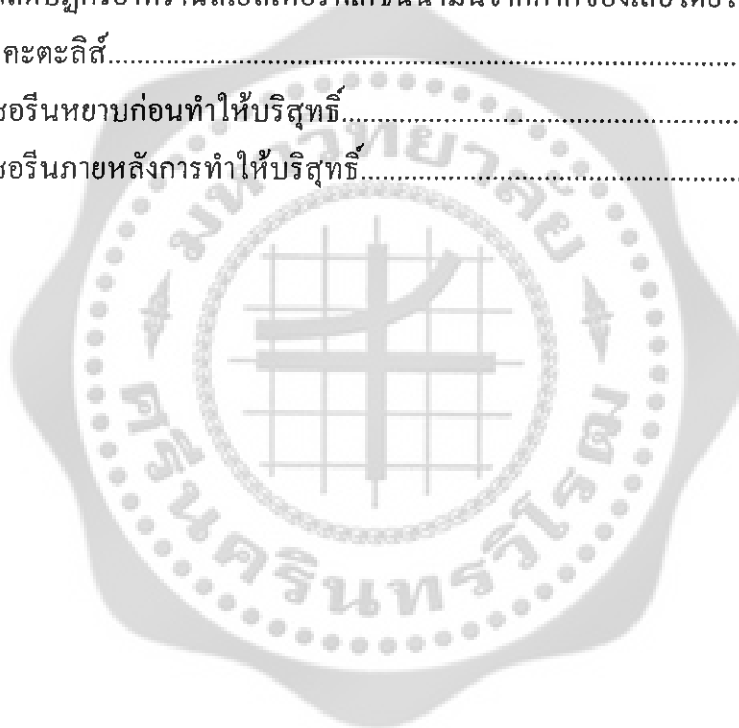
ภาพผนวก 4 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมัน..... 74

ภาพผนวก 5 ผลผลิตปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันจากกากของเสียโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น กะตะลิสต์..... 74

ภาพผนวก 6 ผลผลิตปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันจากกากของเสียโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นกะตะลิสต์..... 75

ภาพผนวก 7 กลีเซอรินหยวก่อนทำให้บริสุทธิ์..... 75

ภาพผนวก 8 กลีเซอรินภายหลังการทำให้บริสุทธิ์..... 75



## บทที่ 1

### บทนำ

ปัจจุบันโลกของเรากำลังประสบปัญหาภาวะน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเบนซิน ขาดแคลนและมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะมีปริมาณความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาแหล่งพลังงานมาทดแทนมากยิ่งขึ้น การศึกษาเกี่ยวกับไบโอดีเซลจึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มนุษยชาติต่างๆ กำลังให้ความสนใจอยู่ในขณะนี้ ปัจจุบันมีการตั้งโรงงานการผลิตไบโอดีเซลในต่างประเทศมากยิ่งขึ้น โดยประเทศเยอรมันเป็นประเทศแนวหน้าในด้านนี้ สำหรับในประเทศไทยก็มีความพยายามที่จะให้มีการตั้งโรงงานลักษณะนี้ให้มากขึ้นตามนโยบายของรัฐบาลซึ่งแนวทางการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลในขณะนี้ เป็นการศึกษาการใช้สบู่ด้ามาเป็นแหล่งวัตถุดิบ (กรมวิชาการเกษตร, 2549) (สุปรียา สุขเกษม, 2548. ) เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันสบู่ด้าเป็นไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยกรดไขมัน และกลีเซอริน เมื่อไตรกลีเซอไรด์รวมตัวกับสารเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยมีแอลกอฮอล์ปริมาณมากเกินไป จะทำให้เกิดการรวมพันธะของกรดไขมันและแอลกอฮอล์เกิดเป็นไบโอดีเซล โดยได้กลีเซอรอล ( glycerol ) ซึ่งเป็นสารเคมีที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอางเป็นผลพลอยได้

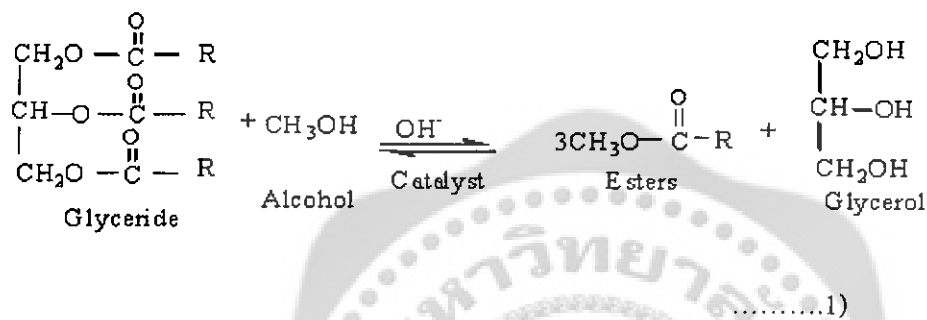
นอกจากนี้ยังมีกลุ่มพืชให้น้ำมันที่สำคัญ 4 ชนิดคือ ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง เรปซิดและทานตะวัน แต่เมื่อเทียบราคาต้นทุนผลิต แล้วปาล์มน้ำมันมีต้นทุนผลิตต่ำ เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้น มีโอกาสเสี่ยงต่อผลกระทบภัยธรรมชาติน้อย เมื่อเทียบพืชอายุสั้นอื่นๆ ( ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย , 2547) ในต่างประเทศมีการทดลองทำทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้เริ่มตั้งแต่ ปี 1979 ที่รัฐโอคาโฮ สหรัฐอเมริกา เพื่อนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง ผลการทดลองในระยะสั้นนั้น พบว่าเป็นบวก (คือ ดี/ใช้ได้) ส่วนในระยะยาวนั้น พบว่า ช่วยทำให้เครื่อง ขนดัดสะอาด ไม่มีตะกอนตกค้าง (engine deposits) ไม่เกิดการติดขัด (ring sticking) ในระบบหัวฉีด สามารถทำงานได้ (injector coking) และช่วยทำให้น้ำมันเครื่องมีความข้นดี (thickening of the lubricating oil) ปัจจุบันนี้มีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไบโอดีเซลค่อนข้างมาก ดังตัวอย่างรายงานวิจัย ของ Fukuda และ คณะ (2001) ได้เสนอการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน Hass และคณะ(2001) ได้รายงานผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง Encinar และคณะ (2002) รายงานผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Cyanara car dunculus ด้วยการใช้ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน Dorado และคณะ(2003) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะกอกที่ใช้แล้ว Dmytryshyn

และ คณะ(2004) ได้สังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันคาโนลาที่ผ่านการใช้แล้วด้วยปฏิกิริยา ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน Felizardo และคณะ(2005) ได้เสนอการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน ปาล์มที่ใช้แล้ว

นอกจากนี้ยังพบว่ามีการศึกษาการใช้วัตถุดิบที่จะนำมาใช้เป็นน้ำมันใช้แล้ว (Tomasevic และ คณะ , 2003) ในประเทศไทยได้มีรายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซล โดยในปี พศ.2545 นุชจรีได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้แล้ว โดยสังเคราะห์ในรูปเมทิลเอสเทอร์ ขณะนี้มีหลายหน่วยงานให้ความสนใจที่จะนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซลมากขึ้น และมีการ พัฒนาการผลิตเครื่องต้นแบบในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและมีการผลิตเครื่องทำไบ โอดีเซลเพื่อจำหน่ายแก่กลุ่มประชาชนในเขตชุมชนต่างๆที่ให้ความสนใจนับว่าเป็นการตื่นตัวในด้าน พลังงานทดแทนอย่างมาก

สำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไปจะใช้ปฏิกิริยาเคมีที่มีชื่อว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน(transesterification) (Schuchardt และ คณะ , 1998)( Meher และคณะ , 2006) ซึ่งมีไขมันที่เป็น แหล่งวัตถุดิบ โดยถ้าวัตถุดิบเป็นน้ำมันพืชจะมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่สามารถเกิด ปฏิกิริยาต่างๆได้เช่น การออกซิเดชัน การพอลิเมอร์ไรเซชัน สำหรับกรณีที่น่าไขมันมาผ่านปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสาร ประกอบเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่า ไบโ อดีเซล นี่จะมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา(Shimada และคณะ ,1999) ส่วนผลพลอยได้จากปฏิกิริยานี้ คือ กลีเซอรอล กลีเซอรอลเป็นสารที่มีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ได้แก่ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร การเคลือบผิว เครื่องสำอาง ตลอดจนบรรจุภัณฑ์ (มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ,2538) จะเห็นว่าการใช้ความรู้การทำปฏิกิริยาทางเคมีคือ ปฏิกิริยาทรานส์เอส เทอร์ฟิเคชัน นี้ทำให้สามารถผลิตสารสำคัญถึงสองชนิดในเวลาเดียวกัน แต่จากผลการค้นคว้านี้ยังไม่ พบว่ามีรายงานการนำกากของเสียจากผลิตภัณฑ์การผลิตอุตสาหกรรมนมซึ่งมีส่วนของไขมัน ที่อาจตก ค้างเหลืออยู่ ปกติในสภาพเป็นของเหลวคือน้ำทิ้งมีรายงานว่ามี ไขมันค้างประมาณ 10 มิลลิกรัม /ลิตร แต่เมื่อทำเป็นกากของแข็งปริมาณไขมันน่าจะมีความเข้มข้นมากขึ้น จากการที่ยังคงมีไขมันค้างในกาก ของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์นมนี้ ทำให้คณะผู้วิจัยมี ความสนใจที่จะศึกษาการใช้ ประโยชน์จากกากของเสียที่ทิ้งไว้ในปริมาณมาก โดยหาแนวทางการผลิตเป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรอล และเป็นการเพิ่มมูลค่าอย่างมหาศาลและช่วยเป็นการขจัดกากของเสียอีกทางหนึ่ง จากการ ดำรวจข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์นมต่างๆ เช่น การผลิตเนย เนยเทียม นมพร้อมดื่ม ไอศกรีม พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วจะมีการสูญเสียไขมันออกจากระบบการผลิตไปมากถึงร้อยละ 10 แต่เมื่อ

เป็นกากของเสียปะปนกับน้ำทิ้ง และแปรเป็นกากแห้งแข็ง ซึ่งพร้อมที่จะนำไปทิ้งในรูปกากตะกอน ย่อมจะมีปริมาณไขมันในกากแข็งนั้นค่อนข้าง มาก ด้วย หนึ่งจากแนวทางการผลิตไบโอดีเซลที่ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันพืชป็นวัตถุดิบ เพราะน้ำมันพืชมีกรดไขมันอิสระ ฟอสโฟไลปิด สเตียรอยด์ และสิ่งเจือปนต่างๆ ก่อนนำไปใช้จะต้องนำไปปรับปรุงสมบัติทางเคมีก่อนโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีที่ทราบกันดีในนามของ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนเป็นองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันให้เป็น สารประกอบเอสเทอร์โดยใช้แอลกอฮอล์เป็นสารที่ทำปฏิกิริยาตามสมการประกอบ



น้ำมันพืช                      เมทิลแอลกอฮอล์                      เมทิลเอสเทอร์                      กลีเซอรอล

สารประกอบ( กลีเซอริน หรือ กลีเซอรอล )จึงเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่ง จะกล่าวถึงต่อไป ในการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนี้ต้องอาศัยตัวคะตะลิสต์ ซึ่งในการผลิตสารเอสเทอร์สามารถทำในระบบที่มีคะตะลิสต์ กรด เบส หรือ เอนไซม์ โดยมีปัจจัยที่มี ผลต่อการเกิดปฏิกิริยานี้ อีกหลายประการ (Hazimah และ คณะ , 2003)เช่น อุณหภูมิ สัดส่วนของ น้ำมันและแอลกอฮอล์

ผลพลอยได้จากปฏิกิริยานี้ คือ กลีเซอรอล จัดเป็นสารที่มีประโยชน์มาก ซึ่งถูกนำไปใช้ใน หลายอุตสาหกรรม กลีเซอรอลจัดเป็นสารพอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ พบครั้งแรกปี 1779 โดย Scheele ในขณะนั้นเขาพบว่าเกิดร่วมกับการผลิตสบู่จากปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน ระหว่าง น้ำมัน มะกอกกับตะกั่วออกไซด์ แต่กลีเซอรอลถูกนำมาใช้ครั้งแรกปี 1896 โดย Nobel ได้นำมาเป็นส่วน ประกอบในการผลิตวัตถุระเบิดไนโตรกลีเซอริน กลีเซอรอลมีคุณสมบัติที่ดี หลายประการ เช่น มีความคงตัวสูง เก็บนานๆจึงไม่เกิดการเปลี่ยนสี รส กลิ่น ละลายน้ำ และ แอลกอฮอล์ได้ดี มีความข้น หนืดจึงถูกนำไปใช้มาก ในการเพิ่มรูปทรงในผลิตภัณฑ์ของเหลวบางชนิด กลีเซอรอลมีความหวาน 55.75 % ของน้ำตาลซูโครส มีความยืดหยุ่นสูง และข้อสำคัญไม่มีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมตาม ปกติการ ผลิตกลีเซอรอลอาจทำได้จากกระบวนการต่างๆเช่น การทำสบู่ การหมักน้ำตาลการเกิด ปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ดังนั้นจากขบวนการเตรียมสารประกอบเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยา ทรานส์เอสเท

อริฟิเคชัน จึงได้กลีเซอรอลออกมาด้วย โดยกลีเซอรอลที่ถูกนำมาใช้มีหลายเกรด ดังนั้นต้องมีขั้นตอน ที่ช่วยทำให้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ตามขนาดกำหนดของเกรดเพื่อจะได้นำไปใช้ประโยชน์ตรงตามประเภทอุตสาหกรรม Yong และ คณะ (2001) ได้นำเสนอขั้นตอนการทำให้กลีเซอรอลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันบริสุทธิ์ Goi และ คณะ (2001) ทำการศึกษาขบวนการทำให้กลีเซอรินบริสุทธิ์มากขึ้นและตรวจสอบด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ตามลักษณะทางกายภาพกากของเสียมีลักษณะหลักเป็นไขมัน แนวการวิจัยจึงตั้งใจศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสารประกอบเอสเทอร์และกลีเซอรินโดยอาศัยหลักการทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเช่นเดียวกับการใช้น้ำมันพืช



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการผลิตสารประกอบเอสเทอร์จากวัตถุดิบที่สำคัญคือ น้ำมันพืช ซึ่งในการวิจัยนี้จะได้นำมาเป็นวัตถุดิบหลักเปรียบเทียบ โดยเฉพาะน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้ว เช่นเดียวกับน้ำมันจากสัตว์ แต่สำหรับวัตถุดิบหลักที่จะใช้ศึกษาในการวิจัยจะเป็นกากของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์นม ดังนั้นจะขอก้าวถึงน้ำมันโค ตลอดจนการผลิตหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมต่างๆ และ ของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมนมพาสเจอร์ ดังต่อไปนี้

#### น้ำมัน

น้ำมันหรือไขมันโดยทั่วไปมีแหล่งกำเนิดจากพืช และสัตว์ ไขมันจัดเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูง 9 กิโลแคลอรี ต่อ กรัม ไขมันสามารถจะจำแนกได้หลายประเภท ตามแต่เกณฑ์ที่นำมาใช้ เช่น อาจจัดแบ่งตามโครงสร้างทางเคมี ก็จัดได้ 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ไขมันธรรมดา (simple lipid) ไขมันประกอบ (compound lipids) และ derived lipids นอกจากนี้ยังจัดแบ่งไขมันตามสมบัติ ได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ neutral lipids และ amphiphilic lipids หรือ อาจจำแนกตามหน้าที่ในสิ่งมีชีวิต ซึ่งจำแนกเป็น ไขมันสะสมพลังงาน และ ไขมันโครงสร้าง (Demian, J.M. 1990) แต่อย่างไรก็ตามไขมันและน้ำมันในอาหารจะแตกต่างกันที่ชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบกันเป็นไขมันและน้ำมัน โดยทั่วไปกรดไขมันในอาหารจะมีได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acids) ซึ่งจะมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4 – 10 อะตอม กรดไขมันสายกลาง (medium chain fatty acids) มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 12 – 14 อะตอม และ กรดไขมันชนิดสายยาว (long chain fatty acids) มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล มากกว่า 16 อะตอม ขึ้นไป ซึ่งจำนวนคาร์บอนหรือความยาวของกรดไขมันจะมีผลต่อคุณสมบัติไขมัน ทั้งด้านกายภาพและเคมี สำหรับปริมาณไขมันที่พบในอาหารต่างๆ มีปริมาณแตกต่างกัน เช่น ในถั่วเหลืองซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่ให้น้ำมันชนิดหนึ่งที่สำคัญมากจะมีไขมันประมาณร้อยละ 17 เมล็ดทานตะวันมีไขมันร้อยละ 28 มะพร้าวมีไขมันร้อยละ 34 ส่วนในไขมันสัตว์เช่นน้ำมันหมู จะมีไขมันมากถึง ร้อยละ 99 และน้ำมันโคมีไขมันเพียงร้อยละ 4 เท่านั้น (Gaman, 1990)

แม้ว่าปริมาณน้ำมันในแหล่งต่างๆ ของอาหารจะแตกต่างกันก็ตาม แต่องค์ประกอบสำคัญที่เหมือนกัน คือการมีกรดไขมันในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล เนื่องจากในธรรมชาติจะพบกรด

ไขมันอิสระน้อยมาก โดยกรดไขมันมีทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวโดยในไขมันจากพืช และสัตว์จะพบทั้ง 2 ชนิด ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันไป เช่น กรดไขมันที่พบมากในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันงา น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดทานตะวัน คือ กรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และมีพันธะคู่ 2 คู่ ปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันและน้ำมันตามแหล่งอาหาร ในตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์

| ประเภทอาหาร   | กรดไขมันอิ่มตัว<br>(%) | กรดไขมันไม่อิ่มตัวมี<br>พันธะคู่ 1 อัน (%) | กรดไขมันไม่อิ่มตัว<br>พันธะคู่ ตั้งแต่ 2 อันขึ้นไป (%) |
|---------------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| ปลา           | 28                     | 29                                         | 43                                                     |
| ไก่           | 40                     | 38                                         | 22                                                     |
| หมู           | 40                     | 46                                         | 14                                                     |
| วัว           | 54                     | 44                                         | 2                                                      |
| เนย           | 59                     | 37                                         | 4                                                      |
| เมล็ดทานตะวัน | 12                     | 18                                         | 70                                                     |
| ข้าวโพด       | 14                     | 26                                         | 60                                                     |
| ถั่วเหลือง    | 15                     | 27                                         | 58                                                     |
| มะพร้าว       | 86                     | 12                                         | 2                                                      |

ที่มา : Cori (1996)

จากการที่อาหารแต่ละชนิดมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณแตกต่างกันจึงทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากแหล่งอาหารเหล่านี้มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น มีสถานะแข็งหรือเหลว ซึ่งขึ้นกับจุดหลอมเหลว โดยจุดหลอมเหลวของน้ำมันเป็นผลจากองค์ประกอบของกรดไขมัน ซึ่งถ้าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนมากก็จะมีจุดหลอมเหลวสูงจึงมีสถานะแข็งกว่า แต่ถ้าน้ำมันนั้นมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนพันธะคู่มาก ก็จะมีจุดหลอมเหลวต่ำ ดังนั้นน้ำมันที่มาจากพืชจึงมีสถานะที่เป็นของเหลวมากกว่าน้ำมันจากสัตว์ เช่น น้ำมันหมู มีจุดหลอมเหลวที่ 33 -46 องศาเซลเซียส น้ำมันถั่วเหลืองมีจุดหลอมเหลว -20 ถึง -23 องศาเซลเซียส สำหรับในกากของเสียที่มาจากอุตสาหกรรมนม จะเป็นไขมันที่มาจากน้ำมันวัวเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปกติในไขมันของน้ำมันจะมี กรดไขมันต่างๆที่สำคัญได้แก่ กรดโอเลอิกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ กรดปาล์มิติก

ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ และ กรดสเตียริกประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ (Young, 1980) กรดไขมันโอเลอิกเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ส่วนกรดสเตียริกและปาล์มมิติกเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว แม้ว่าในน้ำมันวัวจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่นกรดโอเลอิกในปริมาณมากที่สุดก็ตาม แต่การที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวผสมด้วยในปริมาณมากก็ส่งผลถึงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันวัว เมื่อนำไปผ่านการแปรรูป หรือ แปรรูปเป็นสารอื่นๆ ซึ่งในงานนี้มีผลต่อการทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อเตรียมเป็นสารประกอบเอสเทอร์

สำหรับน้ำมันพืชทั่วไปเมื่อผ่านกระบวนการใช้เพื่อการประกอบอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการทอดจะมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของน้ำมัน เกิดการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่สี กลิ่น ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้วจะมีสีดำคล้ำลงไม่นำมาใช้อีก ยิ่งถ้าผ่านการใช้จำนวนมากครั้งจะยิ่งมีสีดำคล้ำมาก กลิ่นเหม็นรุนแรงขึ้น ทั้งนี้เพราะน้ำมันเมื่อผ่านความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดย การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของน้ำมันหรือไขมันระหว่างทอดสามารถเกิดจากปฏิกิริยาสำคัญได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis) ปฏิกิริยาออกซิเดชันไขมัน (lipid oxidation) และปฏิกิริยาทางความร้อน (pyrolysis) ซึ่งจะก่อให้เกิดอัลดีไฮด์ คีโตน และโพลีเมอร์ โดยจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมัน คือ เกิดกลิ่น น้ำมันมีสีดำ ความหนืดเพิ่มขึ้น จุดควันลดลง เกิดฟองเพิ่มขึ้น สำหรับการเกิดไฮโดรลิซิสของน้ำมัน ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) โมโนกลีเซอไรด์ และ ไดกลีเซอไรด์

การออกซิไดซ์ไขมัน (lipid oxidation) ทำให้เกิดสารประกอบหลายชนิดซึ่งระเหยได้ เช่น ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ คอนจูเกตไดอีโนอิกแอซิด (conjugated dienoic acid) อีพอกไซด์ (epoxide) ไฮดรอกไซด์ และคีโตน สารประกอบเหล่านี้ อาจเกิดการแตกตัวต่อไปอีก หรืออาจจะยังคงเป็นโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ และเกิดพันธะข้ามซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดไดเมอร์ และโพลีเมอร์ไตรกลีเซอไรด์ที่สูงขึ้น การเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนโดยไม่มีอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลของไขมัน ถ้าพันธะเหล่านี้เกิดขึ้นในกรดไขมัน 1 โมเลกุล จะทำให้เกิดกรดไขมันแบบต่อกันเป็นวง (cyclic fatty acid) ถ้าเกิดพันธะระหว่างกรดไขมัน 2 โมเลกุล อาจเกิดภายในโมเลกุลเดียวกันหรือระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดกรดไดเมอร์ และถ้าเกิดพันธะข้ามระหว่างโมเลกุลเหล่านี้ต่อไป ก็จะทำให้เกิดโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นอีก (Moreira, 1999)

จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นว่า เมื่อน้ำมันหรือไขมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้ลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป สารที่เกิดขึ้นก็มีมากมายจึงไม่ควรนำน้ำมันที่ผ่านความร้อนแล้วมาใช้อีก

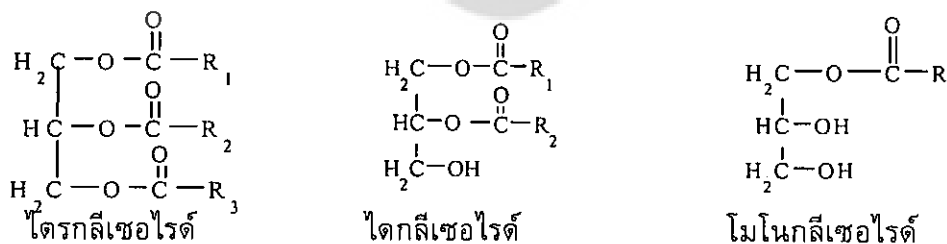
ในเชิงการประกอบอาหาร นอกจากจะนำน้ำมันไปทำให้บริสุทธิ์ก่อน ดังนั้นการนำน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วจึงควรนำกลับไปสู่การใช้ในด้านการเป็นแหล่งวัตถุดิบที่จะผลิตพลังงานทดแทน หรือเป็นสารประกอบเอสเทอร์ แล้วได้ผลิตภัณฑ์ร่วมเป็นสารกลีเซอริน

## นมและอุตสาหกรรมนม

### นม

นมเป็นอาหารธรรมชาติที่มีความสมบูรณ์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมด้วยธาตุอาหารครบทุกหมู่ คือ โปรตีน วิตามิน เกลือแร่ คาร์โบไฮเดรต และไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลนมหรือแล็กโทส ( lactose ) และ โปรตีนที่เรียกว่า เคซีน ( casein ) จะพบในธรรมชาติคือในนมหรือน้ำนมเท่านั้นนมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาร่างกายและสมองของเด็กและเยาวชน นมมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ น้ำ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และวิตามิน สำหรับในส่วนของไขมัน ในน้ำนมจะประกอบด้วยไขมันไม่น้อยกว่า 3.25% โดยปริมาตร เรียกไขมันจากน้ำนมว่ามันเนย ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญทางโภชนาการและเศรษฐกิจให้พลังงาน ตลอดจนสารอาหารและวิตามินเอ ดี อี และ เค

ไขมันในน้ำนมเป็นสารประกอบ ไตรกลีเซอไรด์ ไขมันในนมมีอยู่ในน้ำนมประมาณ 98% และอีก 2% เป็นสารประกอบชนิดอื่นๆ ไขมันอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ หนึ่งโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ประกอบด้วยหนึ่งโมเลกุลของกลีเซอรอล และสามโมเลกุลของกรดไขมัน ( Bernardini : 1973 ) ถ้ากำจัดกรดไขมันออกไปจำนวนหนึ่งหน่วยจากไตรกลีเซอไรด์ จะได้โมเลกุลที่มีชื่อว่า ไดกลีเซอไรด์ หากกำจัดกรดไขมันออกไปสองหน่วยจะได้โมเลกุลของโมโนกลีเซอไรด์ ดังภาพประกอบ 2.1



ภาพที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์

ไขมันในน้ำมันมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนลิบอะตอม ( $C_{10}$ ) และกรดไขมันโมเลกุลต่ำๆ หลายชนิด จึงทำให้ระบบไขมันนมมีความซับซ้อนกว่าไขมันชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากได้ตรวจพบ hydroxyl และ keto fatty acids อยู่ด้วย จึงทำให้ไขมันนมมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากไขมันชนิดอื่นๆ ในไขมันนมประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัว 60% และ กรดไขมันไม่อิ่มตัว 38% สัดส่วนของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและชนิดไม่อิ่มตัวมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไขมัน (Johnson : 1974 ) ตลอดจนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสของน้ำมัน ถ้าไขมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวประกอบอยู่มากก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่าย เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมักจะเกิดปฏิกิริยา enzymatic hydrolysis ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเหม็นหืน กรดไขมันที่พบ ในไขมันนม โดยมากเป็นโมเลกุลที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ ตั้งแต่คาร์บอน 4 อะตอมถึง 26 อะตอม (Ali : 1997) และพบว่า กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก และกรดไมริสติก มีอยู่ประมาณ 72 - 78% ของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบ กรดโอเลอิก ประมาณ 30%

กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) กรดไขมันประเภทนี้ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยว ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์ กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือ กรดปาล์มิติก รองลงมาคือ กรดสเตียริก

กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ 1) monounsaturated fatty acid เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ตำแหน่งเดียวในโมเลกุล ในจำนวนคาร์บอนอะตอมที่เท่ากัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีมวลโมเลกุลน้อยกว่ากรดไขมันอิ่มตัว ดังนั้นจึงมีจุดเดือดต่ำกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือ กรดโอเลอิก กรดปาล์มิติก และ 2) polyunsaturated fatty acid เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีตำแหน่งของพันธะคู่สองตำแหน่งขึ้นไป

คุณสมบัติกรดไขมัน เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลมีลักษณะเป็นลูกโซ่คาร์บอน กรดไขมันในธรรมชาติส่วนมากมักเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอล เช่น ไตรกลีเซอรอล และ ฟอสโฟลิปิด โดยพันธะเอสเทอร์ (ester linkage) ในไตรกลีเซอไรด์จะสลายตัวในกรดหรือด่างได้ง่าย ทั้งนี้คุณสมบัติทางเคมีของกรดไขมันจะขึ้นกับปฏิกิริยาในโมเลกุลไขมัน ตรงตำแหน่งพันธะเอสเทอร์ และในโมเลกุลของกรดไขมันสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีของกรดไขมัน ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน และปฏิกิริยาการเพิ่มฮาโลเจน

### อุตสาหกรรมนม

อุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นมเป็นอุตสาหกรรมที่ต่อเนื่องกันนับตั้งแต่การผลิตทางการเกษตร จนกระทั่งถึงการผลิตในทางอุตสาหกรรมเป็นผลิตภัณฑ์นมประเภทต่างๆ ซึ่งใช้น้ำนมดิบเป็นวัตถุดิบในการผลิตทางอุตสาหกรรม โดยอุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นมอาจแยกออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ การเลี้ยงโคนม การผลิตนมสดพาสเจอร์ไรส์ นมถนอมรูปพาสเจอร์ไรส์และผลิตภัณฑ์ไอศกรีม การผลิตนมผง การผลิตนมข้นและนมระเหย ( วิจารณ์ : 2542 ) แผนพัฒนาเศรษฐกิจสังคมฉบับที่ 6 – 10 รัฐบาลได้มีการส่งเสริมการเลี้ยงโคนม เพื่อผลิตน้ำนมดิบในการบริโภคภายในประเทศ และส่วนหนึ่งเพื่อเป็นการทดแทนการนำเข้าผลิตภัณฑ์นมจากต่างประเทศ ซึ่งในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยมีการนำเข้าหลายหมื่นล้านบาท จากสถิติการนำเข้าผลิตภัณฑ์นมในหมวดอาหารของประเทศไทย ในปี 2541 พบว่า สินค้าอาหารประเภทผลิตภัณฑ์นม ประเทศไทยมีการนำเข้ามากเป็นอันดับ 2 คิดเป็นร้อยละ 14.45 ของสินค้าในผลิตภัณฑ์อาหารนำเข้าทั้งหมด ประกอบกับรัฐบาลต้องการเร่งพัฒนาร่างกายและสมองของเด็กและเยาวชน จึงได้มีการสนับสนุนให้มีการบริโภคนมในโรงเรียน จากการที่ภาครัฐได้มีการส่งเสริมและพัฒนาการเลี้ยงโคนมอย่างต่อเนื่อง ทำให้อุตสาหกรรมต่อเนื่องจากการเลี้ยงโคนมได้ขยายตัวตาม เช่น การตั้งศูนย์รับซื้อน้ำนมดิบ การสร้างโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น

โดยผลิตภัณฑ์นมแปรรูปที่สำคัญ ได้แก่ น้ำนมพร้อมดื่มชนิด พาสเจอร์ไรส์ สเตอริไลซ์ ยูเอชที ครีม เนยเหลว เนยแข็ง ไอศกรีม นมเปรี้ยว นมข้น นมข้นหวาน หางนมข้นหวาน นมผง หางนมผง (whey) และน้ำนมถนอมรูปเวย์ เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์แปรรูปนมส่วนใหญ่สามารถผลิตได้ในประเทศไทย ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมจึงมีการขยายตัวอย่างมาก และปัญหาที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ นั่นคือของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมส่วนใหญ่จะมีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณสูง เพราะวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต คือน้ำนมดิบ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีเสถียรภาพสูง และถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ง่าย เมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดจะรบกวนการบำบัดของจุลินทรีย์ และขัดขวางการถ่ายเทออกซิเจนจากน้ำ ของเสียส่วนใหญ่ถูกปล่อยออกมากับน้ำทิ้งและเป็นปัญหาต่อการกำจัด ในประเทศที่เจริญแล้วได้มีกฎหมายรองรับเกี่ยวกับการกำจัดของเสียนี้ โดยโรงงานต้องปฏิบัติตามกฎหมายและรับผิดชอบต่อการบำบัดให้อยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมก่อน จึงจะสามารถปล่อยไปยังโรงบำบัดชุมชนต่อไป สำหรับประเทศไทยมีการรณรงค์การรักษาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โรงงานขนาดใหญ่บางแห่งมีระบบบำบัดน้ำเสียแล้วแต่บางโรงงานยังขาดอยู่ โดยเฉพาะโรงงานผลิตภัณฑ์นม ( กองอนามัยสิ่งแวดล้อม : 2543 ) ยังมีปัญหาในการกำจัดของเสียอันเกิดจากกระบวนการผลิต เมื่อถึงวันนั้นจะ

เกิดการสะสมของกากตะกอน ของเสีย และน้ำมันจะมีปริมาณมากขึ้น จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ได้ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม แต่ยังไม่พบว่ามีหรือนำกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น

#### กากของเสีย

กากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม หมายถึง ตะกอนของเสียจากน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมนม อันเกิดจากการชะล้าง ซึ่งอยู่ในสถานะของแข็งกึ่งเหลวโดยมีสิ่งเจือปนที่เป็นไขมันผสมอยู่

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม ทั้งหมดเป็นส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วย ไขมัน และกรดไขมันที่มาจากนมเป็นสารหลัก ไขมันและกรดไขมันเหล่านี้จะต้องดำเนินการกำจัดออกก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนต่อไป น้ำทิ้งที่จะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้จะต้องเป็นไปตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลจากการวิเคราะห์เกี่ยวกับอุตสาหกรรมนมในแต่ละอุตสาหกรรมมีการสูญเสียของปริมาณไขมันในกระบวนการผลิต ดังนั้นจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์นมต่างๆ เช่น การผลิตเนย เนยเทียม นมพร้อมดื่ม ไอศกรีม พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วจะมีการสูญเสียไขมันออกจากระบบการผลิตไปมากถึงร้อยละ 10 แต่เมื่อเป็นกากของเสียปะปนกับน้ำทิ้ง และเมื่อนำไปขจัดน้ำเพื่อแปรเป็นกากของเสีย จะมีลักษณะกึ่งเหลว กึ่งแข็ง ทั้งนี้ขึ้นกับระยะเวลาที่ปล่อยให้กากแห้ง พร้อมทั้งจะนำไปทิ้งในรูปกากตะกอน แต่อย่างไรก็ตามไขมันที่ยังคงตกค้างในกากย่อมจะเข้มข้นมากขึ้น จึงมีปริมาณไขมันในกากแข็งนั้นค่อนข้าง มาก ด้วย ดังนั้นจึงคาดว่าน่าจะมีไขมันตกค้างในกากของเสียในปริมาณหนึ่ง กากของเสียที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบหลักเช่นนี้ยังไม่มีรายงานการนำมาแปรรูปเป็นสารประกอบเอสเทอร์และกลีเซอริน แต่พบผลงานวิจัยที่การศึกษาการนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันของฝ่ายโภชนาการของบริษัท การบินไทย จำกัดมหาชนไปใช้ประโยชน์ โดยนำมาผสมกับซีลีเนียมเพื่อเป็นเชื้อเพลิง (ภูธร : 2548) และพบว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านเชื้อเพลิงได้เทียบเท่ากับฟืนและถ่าน โดยอัตราส่วนของการผสมเชื้อเพลิงอัดแท่งกากไขมันต่อซีลีเนียมที่เหมาะสมคือ 1:3 นอกจากนี้ยังมีการนำกากไขมันที่มีเนื้อเยื่อไขมันจากบ่อดักไขมัน และวัตถุดิบประกอบอื่นมาใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม

#### ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงดีเซลที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่าย ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือก นอกเหนือจากดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียม โดยมีคุณสมบัติการเผาไหม้ เหมือนกับดีเซลจากปิโตรเลียมมาก และสามารถใช้แทนกันได้

ไบโอดีเซล คือ เอสเทอร์ของกรดไขมัน เรียกว่า Fatty Acid Methyl Ester (FAME) การเรียกชื่อ ขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา หรือ เอทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอล เป็นสารในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น

ไบโอดีเซลทำขึ้นมาจากน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์ ทั้งที่เป็นน้ำมันใหม่ หรือน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว นำมาทำปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อที่จะกำจัดสารประกอบอื่น ๆ ที่เป็นอันตรายต่อระบบการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงได้ อีกทั้งน้ำมันพืชมีความเข้มข้นสูง คือมีความหนืดสูงกว่า คุณสมบัติสำคัญของไบโอดีเซล คือ สามารถย่อยสลายได้เอง ตามกระบวนการชีวภาพในธรรมชาติ (biodegradable) และไม่เป็นพิษ (non-toxic) ในปัจจุบัน ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล ยังมีราคาแพงกว่าดีเซลจากปิโตรเลียมเมื่อไม่นับรวมถึงอัตราภาษีสรรพสามิต แต่ถูกกว่าน้ำมันดีเซลเพราะมีการยกเว้นภาษีสรรพสามิต กระบวนการผลิตไบโอดีเซลคือปฏิกิริยาเคมีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน หรือ เอสเทอริฟิเคชัน

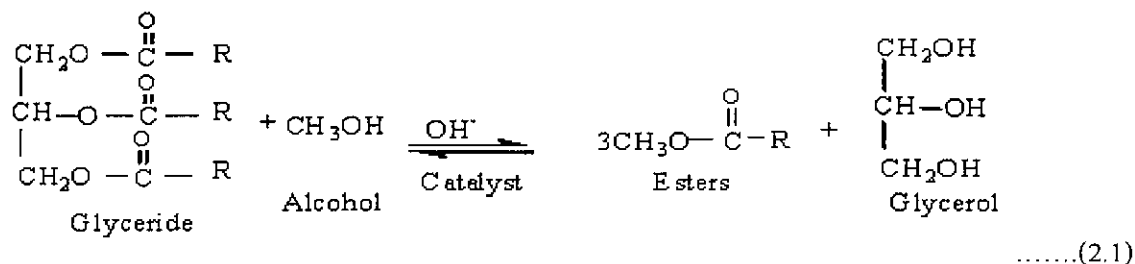
ประเทศไทยเริ่มโครงการไบโอดีเซลเมื่อ ปีพ.ศ. 2543 และได้มีการติดตั้งระบบผลิตเอทิลเอสเทอร์โดยโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ตั้งแต่ 7 พ.ค.47 และได้มีการพัฒนาโครงการไบโอดีเซลชุมชนที่ จ.เชียงใหม่ ปัจจุบัน(มี.ค.49)มีไบโอดีเซล 5% จำหน่ายในสถานีของ ปตท. และบางจาก ในกรุงเทพและเชียงใหม่(ตามโครงการล้านนาฟ้าใสไบโอดีเซล) ทั้งหมด 15 สถานี

### การผลิตไบโอดีเซล

ในการผลิตสารประกอบเอสเทอร์ของกรดไขมัน อาจกล่าวได้ว่าประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักได้แก่

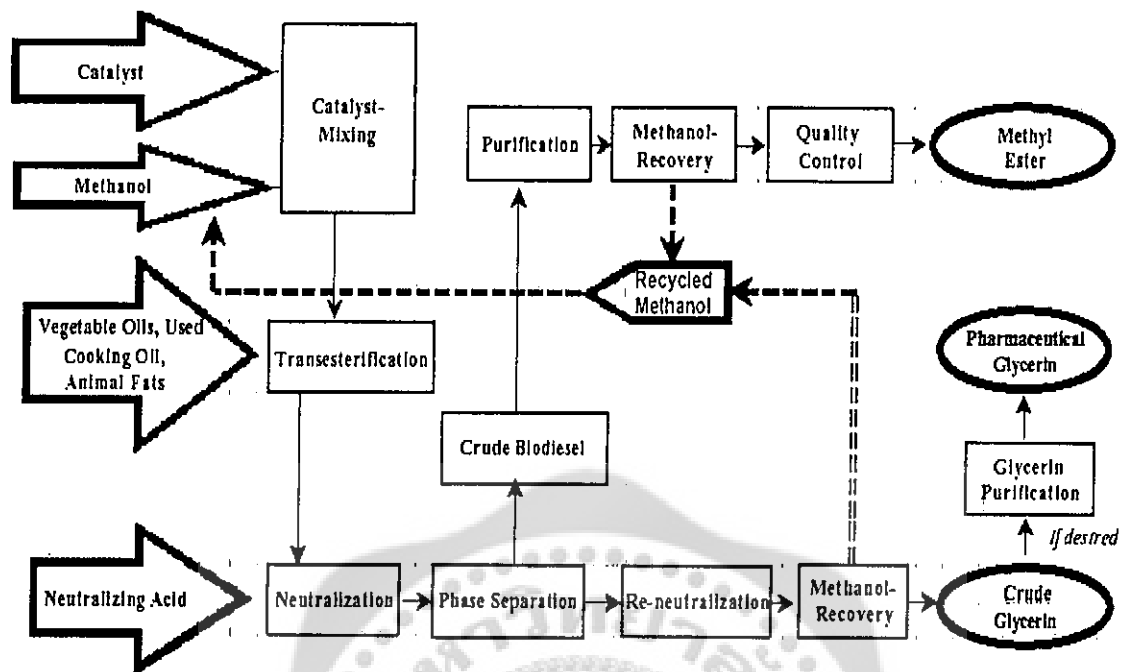
1. ขั้นตอนการแยกน้ำมันออกจากแหล่งให้น้ำมัน ทั้ง พืช หรือ สัตว์ ไปเป็นน้ำมัน
2. ขั้นตอนจากน้ำมันไปเป็นไบโอดีเซลโดยการใช้ปฏิกิริยาเคมี ขบวนการในขั้นนี้คือ การทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ปฏิกิริยาจะเกิดได้โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา อาจใช้ กรด เบส หรือ เอนไซม์ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับคุณภาพและส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ เพื่อให้ได้โมโนแอลคิล เอสเทอร์ (monoalkyl ester) หรือเมทิลเอสเทอร์ เมื่อน้ำมันพืชถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์แล้วขนาดโมเลกุลจะ

ลดลงเหลือ 1 ใน 3 เป็นผลทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลงอย่างมากใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ตามสมการที่ 1



การผลิตสารเอสเทอร์มีรายงานในต่างประเทศตั้งแต่ปี 1984 โดย Jo ได้ทำการรายงานในรูปแบบวิทยานิพนธ์ ถึงการทดลองทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมันพืชเพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งก่อนหน้านี้ Nye และ Southwell (1983) ได้รายงานผลการเตรียมสารประกอบเอสเทอร์จากrapeseed เพื่อนำมาทำเป็นเชื้อเพลิง โดยได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเอสเทอร์ ซึ่งยังมีรายงานการวิจัยพัฒนาแนวทางการเตรียมสารเอสเทอร์ต่อมาหลายงาน เช่น Madsen (1985) รายงานการปรับเปลี่ยนปฏิกิริยาหลายวิธีเพื่อผลผลิตที่ดีขึ้น โดยมีการตรวจสอบผลการทดลองตามวิธีที่เสนอโดย Gauglitz และ Lehman (1963) ขณะนั้นใช้วิธีทีนแตรโทกราฟีในการตรวจวิเคราะห์ ปัจจุบันเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ได้เจริญก้าวหน้ามากขึ้น เช่น ในปี 2006 Arzamendi และคณะ ได้ทำการติดตามผลการเกิดไบโอดีเซลในระบบด้วยเทคนิคsize exclusion chromatography ซึ่งวิเคราะห์ทั้งโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ กลีเซอรอล เมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน น้ำมันเมล็ดทานตะวัน Fukuda และ คณะ (2001) ได้เสนอการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน Hass และคณะ(2001) ได้รายงานผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง Encinar และคณะ (2002) รายงานผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Cyanara car dunculus ด้วยการใช้ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน Dorado และคณะ(2003) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะกอกที่ใช้แล้ว Dmytryshyn และ คณะ(2004) ได้สังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันคาโนลาที่ผ่านการใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน Felizardo และคณะ (2005) ได้เสนอการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว

ดังนั้นในกระบวนการผลิต อาจแสดงด้วยแผนภาพการผลิตได้จากภาพที่ 2.2

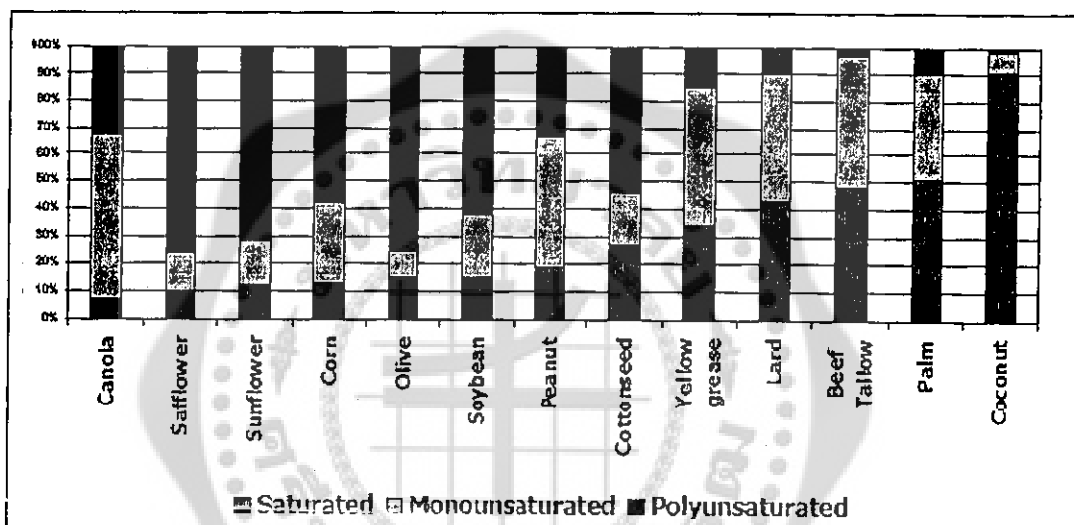


ภาพที่ 2.2 แสดงแผนผังการผลิตสารประกอบเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน  
ที่มา : Shimada และคณะ, 1999

จากแผนผังการผลิตที่เขียนแสดงในภาพที่ 2.2 จะเห็นได้ชัดเจนว่า วัตถุดิบหลักที่ใช้ในปฏิกิริยา คือ น้ำมัน หรือไขมัน โดยให้ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ สารตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่ง ตามที่กล่าวข้างต้น อาจเป็นเบส กรด หรือเอนไซม์ โดยปัจจัยอื่นที่สำคัญคือ ต้องให้ความร้อนแก่น้ำมันซึ่งได้มีการค้นคว้า และรายงานผลจำนวนมากที่ทำการศึกษาค้นคว้าหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นจะได้สาร เอสเทอร์และผลพลอยได้เป็นกลีเซอริน (Shimada และคณะ ,1999) ส่วนผลพลอยได้จากปฏิกิริยานี้ คือ กลีเซอรอล กลีเซอรอลเป็นสารที่มีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ได้แก่ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร การเคลือบผิว เครื่องสำอาง ตลอดจนบรรจุภัณฑ์ (มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , 2538)

สำหรับสารประกอบเอสเทอร์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 215 ถึง 325 ซึ่งมีน้ำหนักเพียง 1 ใน 3 ของน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันพืช (กรณีที่ใช้ไขมันพืชเป็นวัตถุดิบ) จึงทำให้ความหนืดของ ความหนืดของสารเอสเทอร์น้อยกว่าน้ำมันพืช ซึ่งตามขั้นตอนต้องทำการแยกสารเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรินและนำสารเอสเทอร์ไปผ่านการทำให้บริสุทธิ์ก่อน

คุณภาพของไบโอดีเซลนอกจากจะขึ้นกับกระบวนการผลิตแล้วยังขึ้นกับชนิดของน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ที่ใช้ เนื่องจากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์แต่ละชนิดจะประกอบด้วยกรดไขมันประเภทต่างๆ ใน ปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปกรดไขมันที่พบในไบโอดีเซลจะมีสายโซ่มากกว่า 10 ชนิด (คือ มีคาร์บอน C 12-C 22) และร้อยละ 90 จะมี สายโซ่คาร์บอนระหว่าง 16-18 ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของกรด ไขมันอิ่มตัวหรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated) หรือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงพหุ (polyunsaturated) (ภาพที่2) โดยชนิดและปริมาณที่แตกต่างกันนี้จะมีอิทธิพลต่อสมบัติของไบโอดีเซล ที่ได้ ไบโอดีเซลที่ดีจะผลิตจากวัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเท่านั้น



ภาพที่ 2.3 ชนิดกรดไขมันต่างๆที่มีในวัตถุดิบแต่ละชนิด

ที่มา : Tomasevic และ Marrinkovic (2003).

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจะทำให้ค่าจุดขุ่น (cloud point) จำนวนซีเทน (cetane number) สูงขึ้น ปริมาณ NO<sub>x</sub> ลดลงและมีเสถียรภาพ(stability) แต่ถ้ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง จะให้ค่าจุดขุ่น จำนวนซีเทน เสถียรภาพลดลง และปริมาณ NO<sub>x</sub> เพิ่มขึ้น(ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2: แสดงสมบัติของไบโอดีเซลกับกรดไขมันประเภทต่างๆ

| กรดไขมัน        | อิ่มตัว<br>12:0,14:0,16:0,<br>18:0,20:0,22:0 | ไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว<br>16:1,18:1,20:1,22:1 | ไม่อิ่มตัวเชิงพหุ<br>18:2,18:3 |
|-----------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|
| จำนวนซีเทน      | สูง                                          | กลาง                                        | ต่ำ                            |
| จุดขุ่น         | สูง                                          | กลาง                                        | ต่ำ                            |
| เสถียรภาพ       | สูง                                          | กลาง                                        | ต่ำ                            |
| NO <sub>x</sub> | ลดลง                                         | เพิ่มขึ้นเล็กน้อย                           | เพิ่มขึ้นมาก                   |

ที่มา : Tomasevic และ Marrinkovic (2003).

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะต้องมีการควบคุมคุณสมบัติต่างๆของไบโอดีเซลให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆที่ตั้งไว้เช่น ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2550 ของกรมธุรกิจพลังงานซึ่งกำหนดตามมาตรฐาน EN14214 ของสหภาพยุโรป ส่วนสหรัฐอเมริกาใช้ข้อกำหนดตามมาตรฐาน ASTM D 6751 ไม่ว่าข้อกำหนดของประเทศใดก็ตามจะพิจารณาถึงการนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในการใช้งาน มีความปลอดภัย และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อกำหนดนั้นจึงแบ่งวิธีทดสอบออกเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทแรกเป็นการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ เช่น การหาค่าความเป็นกรด ปริมาณการคาร์บอน ปริมาณกำมะถัน ค่าจุดวาบไฟ ค่าความหนืดเป็นต้น

ประเภทที่สองเป็นการทดสอบในการทำงาน เช่น การหาค่าเลขซีเทน

โดยรวมการตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลจะต้องตรวจถึง 24 พารามิเตอร์ ในข้อกำหนดคุณภาพไบโอดีเซลจะบอกถึงวิธีทดสอบมาตรฐานที่ใช้ทุกข้อกำหนด วิธีทดสอบส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่ American Society for Testing and Material (ASTM) หรือ The European Standard (EN) ซึ่งในวิธีทดสอบจะกำหนดเครื่องมือที่ใช้ ทั้งขนาดรูปร่างขั้นตอนการทดสอบอย่างละเอียด วิธีการรายงานผลรวมถึงความแตกต่างระหว่างผลการทดสอบที่ยอมรับได้ เพื่อให้ค่าที่ทดสอบได้มีความละเอียดน่าเชื่อถือ (U.S.Department of Energy ,Energy Efficiency and Renewable Energy,2006)

สำหรับในปัจจุบันมีการเผยแพร่ตลอดจนถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลให้แก่ชุมชนต่างๆ เพื่อให้ใช้น้ำมันที่ใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบ ดังนั้นการตรวจคุณภาพของไบโอดีเซลจะมีเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานให้ตรวจพารามิเตอร์น้อยลงโดยตรวจเฉพาะที่สำคัญเหลือประมาณ 13 พารามิเตอร์ ซึ่งเป็นเกณฑ์กำหนดของกรมธุรกิจพลังงานตั้งแต่ปี 2548

ผลผลิตที่สำคัญอีกชนิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือกลีเซอริน กลีเซอรินถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมครั้งแรกเมื่อ ปี ค.ศ.1866 โดย อัลเฟรด โนเบล ( Alfred Noble ) ได้นำกลีเซอรินมาใช้ในการผลิตระเบิดไดนาไมต์หรือไนโตรกลีเซอริน ( nitroglycerine ) ต่อมาช่วงปลายปี ค.ศ. 1930 ฟาร์เบน ( Farben ) ได้พัฒนาและสังเคราะห์กลีเซอริน โดยใช้สารตั้งต้นเป็นโพนเพน และตั้งแต่ปี ค.ศ.1980 จนถึงปัจจุบันการผลิตกลีเซอรินส่วนใหญ่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติมากถึง 75% และจากการสังเคราะห์โพรพีน 25%

กลีเซอรินมีลักษณะเป็นของเหลวใสหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ มีรสหวานเล็กน้อย ละลายได้ดีในน้ำ เมทานอล เอทานอล ไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล เพนทานอล รวมทั้ง ฟีนอล ไกลคอล โพรเพนไดคอล เอมีน และสารประกอบที่เป็นเฮเทอโรไซคลิก ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลเอสเทอร์และไดออกเซน ไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว และตัวทำละลายจำพวกฮาโลเจน เมื่อนำกลีเซอริน 66.7% โดยน้ำหนัก ละลายในน้ำ 33.3% จะได้สารละลายที่มีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมาก คือ -46.5 องศาเซลเซียส กลีเซอรินมีจุดเดือดสูงถึง 290 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ ( 101.3 kPa ) และมีจุดเดือดลดลงตามความดันที่ลดลง ( Barbara : 1994 )

กลีเซอรินสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ทั่วไป โดยที่หมู่ไฮดรอกซิลด้านนอกจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหมู่ไฮดรอกซิลตรงกลาง ภายใต้ภาวะที่เป็นกลางหรือเบสกลีเซอรินสามารถทนความร้อนได้ถึง 275 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดอะโครลินในทางกลับกันในสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย พบว่า ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จะเกิดอะโครลิน ดังนั้นปฏิกิริยาของกลีเซอรินจึงควรทำในสภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง และที่อุณหภูมิห้องกลีเซอรินจะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้กลีเซอรินยังถูกออกซิไดส์ได้ง่าย โดยที่อะตอมคาร์บอนด้านนอกจะถูกออกซิไดส์เป็นหมู่คาร์บอกซิลและอะตอมคาร์บอนตรงกลางจะเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล

การผลิตกลีเซอริน อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ กลีเซอรินธรรมชาติและกลีเซอรินสังเคราะห์ กลีเซอรินในธรรมชาติไม่พบในรูปแบบอิสระ แต่จะอยู่ในรูปของเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยหมู่ไฮดรอกซิลทั้ง 3 หมู่ มักเกิดปฏิกิริยาเป็นเอสเทอร์ ปริมาณกลีเซอรินในไขมันและน้ำมันจะอยู่ระหว่าง 8 - 14% โดยน้ำหนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน การจะได้กลีเซอรินนั้นต้องทำการแตกตัวไขมันและน้ำมัน (Ffat splitting) ด้วยการแตกตัวด้วยความดันสูง การทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันและการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ในขณะที่กลีเซอรินสังเคราะห์จะได้จากการสังเคราะห์ โพรพีน นอกจากนี้ยังมีกระบวนการผลิตอื่นๆ เช่น การหมักน้ำตาล และปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่นิยมในทางอุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นหากสามารถนำกลีเซอรินที่เตรียมได้มาทำการบำบัดให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น จะทำให้สามารถนำกลีเซอรินที่ได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ และช่วยให้กระบวนการผลิตมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากยิ่งขึ้น

ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จำแนกกลีเซอรินออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. กลีเซอรินดิบ
2. กลีเซอรินบริสุทธิ์

เมื่อผ่านการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ จะมีคุณลักษณะเหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ยา อาหาร บุหรี่ วัตถุระเบิด แต่อย่างไรก็ตามได้มีการแบ่งระดับคุณภาพของกลีเซอรินออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ ได้แก่

1. ชั้นคุณภาพเคมี (chemical grade)
2. ชั้นคุณภาพไดนาไมต์ (dynamite grade)
3. ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม (technical grade)
4. ชั้นคุณภาพยา (pharmaceutical grade)

แต่ละเกรดจะมีโดยมีเกณฑ์กำหนดชั้นคุณภาพกลีเซอรินบริสุทธิ์ดังปรากฏในตาราง 2.3

ตาราง 2.3 เกณฑ์กำหนดชั้นคุณภาพของกลีเซอรินบริสุทธิ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

| รายการ<br>ที่ | ลักษณะ                                                                    | เกณฑ์ที่กำหนด                              |                                           |                                     |                                     |                                       |                           |                       |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------|
|               |                                                                           | กลีเซอรินดิบ<br>จากการ<br>แยกสลาย<br>ไขมัน | กลีเซอริน<br>ดิบจาก<br>อุตสาหกรรม<br>สบู่ | กลีเซอริน<br>ชั้น<br>คุณภาพ<br>เคมี | กลีเซอรินชั้น<br>คุณภาพ<br>ไดนาไมต์ | กลีเซอรินชั้น<br>คุณภาพ<br>อุตสาหกรรม | กลีเซอรินชั้น<br>คุณภาพยา | วิธีทดสอบ<br>ตาม      |
| 1             | กลีเซอริน (ร้อยละ<br>โดยน้ำหนักไม่น้อย<br>กว่า)                           | 88.0                                       | 88.0                                      | 99.0                                | 99.0                                | 99.0                                  | 95.0                      | BS<br>5711:part<br>3  |
| 2             | เถ้า (ร้อยละโดย<br>น้ำหนัก) ไม่เกิน                                       | 1.0                                        | 10.0                                      |                                     |                                     |                                       |                           | ISO 2098              |
| 3             | น้ำ (ร้อยละโดย<br>น้ำหนัก) ไม่เกิน                                        | -                                          | 10.0                                      |                                     |                                     |                                       |                           | ISO 2097              |
| 4             | สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลี<br>เซอริน(ร้อยละโดย<br>น้ำหนัก) ไม่เกิน           | 1.5                                        | 2.5                                       |                                     |                                     |                                       |                           | ISO 2464              |
| 5             | สารหนู<br>(มีผลกรัมต่อกิโลกรัม<br>) ไม่เกิน                               | 2.0                                        | 2.0                                       | 2.0                                 |                                     |                                       | 1.5                       | มอก.1281              |
| 6             | โพเพน -1,3-ได<br>ออล (ร้อยละโดย<br>น้ำหนัก) ไม่เกิน                       | 0.5                                        | 0.5                                       | -                                   | -                                   | -                                     | -                         | BS<br>5711:part<br>11 |
| 7             | น้ำตาล                                                                    | ต้องไม่พบ                                  | ต้องไม่พบ                                 | ต้องไม่พบ                           |                                     |                                       |                           | BS<br>5711:part<br>18 |
| 8             | ค่าของสีโลวิบอนด์<br>สเกลในเซลล์ขนาด<br>113 มิลลิเมตร                     | -                                          | -                                         | -                                   | (5.0Y+1.2R)                         | (5.0Y+1.2R)                           | (5.0Y+1.2R)               | BS 2621-5             |
| 9             | กลิน                                                                      | -                                          | -                                         | ต้องไม่มี<br>กลิน<br>แปลก           | ต้องไม่มีกลิน<br>แปลกปลอม           | ต้องไม่มีกลิน<br>แปลกปลอม             | ต้องไม่มีกลิน<br>แปลกปลอม | ES5711:pas<br>t 19    |
| 10            | ความหนาแน่น<br>สัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ<br>20/20 °C                            | -                                          | -                                         | 1.261-<br>1.264<br>-                | 1.261-1.264<br>-                    | 1.261-<br>1.264-                      | -<br>1.249                | ISO2099               |
| 11            | ความเป็นต่างหรือ<br>ความเป็นกรด<br>(มีลลิกิวเลนซ์ต่อ<br>100 กรัม) ไม่เกิน | -                                          | -                                         | 0.064                               | 0.32                                | 0.32                                  | -                         | BS5711:Par<br>t5      |

ตาราง 2.3 (ต่อ)

| รายการ<br>ที่ | ลักษณะ                                                                | เกณฑ์ที่กำหนด                                  |                                           |                                                               |                                                               |                                           |                               |               |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|---------------|
|               |                                                                       | กลีเซอริน<br>ดิบจาก<br>การ<br>แยกสลาย<br>ไขมัน | กลีเซอริน<br>ดิบจาก<br>อุตสาหกรรม<br>สบู่ | กลีเซอริน<br>ชั้นคุณภาพ<br>เคมี                               | กลีเซอรินชั้น<br>คุณภาพ<br>ไดนาไมต์                           | กลีเซอริน<br>ชั้น<br>คุณภาพ<br>อุตสาหกรรม | กลีเซอริน<br>ชั้น<br>คุณภาพยา | วิธีทดสอบตาม  |
| 12            | เจ้าซัลเฟต<br>(มิลลิกรัมต่อ<br>กิโลกรัม) ไม่เกิน                      | -                                              | -                                         | 0.010                                                         | 0.010                                                         | 0.010                                     | 0.010                         | ISO1616       |
| 13            | ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อ<br>กิโลกรัม) ไม่เกิน                             | -                                              | -                                         | 1.0                                                           | -                                                             | -                                         | -                             | BS2621-5      |
| 14            | โลหะหนักทั้งหมด<br>(เทียบเป็นตะกั่ว)<br>มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)         | -                                              | -                                         | 5.0                                                           | -                                                             | -                                         | 5                             | BS5711:Part15 |
| 15            | คลอไรด์ (ร้อยละโดย<br>น้ำหนัก) ไม่เกิน                                | -                                              | -                                         | -                                                             | 0.010                                                         | 0.010                                     | 0.010                         | BS5711:Part12 |
| 16            | ขีดจำกัดปริมาณคลอ<br>ไรด์                                             | -                                              | -                                         | สารละลาย<br>ต้องไม่ขุ่น                                       | -                                                             | -                                         | -                             | BS5711:Part13 |
| 17            | ขีดจำกัดปริมาณคลอ<br>ไรด์อินทรีย์                                     | -                                              | -                                         | สารละลายที่<br>ได้ต้องไม่<br>ขุ่นกว่า<br>สารละลาย<br>ควบคุม   | -                                                             | -                                         | -                             | BS5711:Part14 |
| 18            | เหล็ก (มิลลิกรัมต่อ<br>กิโลกรัม) ไม่เกิน                              | -                                              | -                                         | -                                                             | -                                                             | 2.0                                       | -                             | BS5711:Part16 |
| 19            | สารประกอบคลอรีน<br>(คำนวณเป็นคลอ<br>ไรด์) ร้อยละโดย<br>น้ำหนักไม่เกิน | -                                              | -                                         | -                                                             | -                                                             | -                                         | 0.003                         | USP           |
| 20            | ซัลเฟตร้อยละโดย<br>น้ำหนักไม่เกิน                                     | -                                              | -                                         | -                                                             | -                                                             | -                                         | 0.002                         | USP           |
| 21            | ขีดจำกัดปริมาณสาร<br>รีดิวซ์                                          | -                                              | -                                         | สีสารละลาย<br>ต้องไม่เข้ม<br>กว่าสีของ<br>สารละลาย<br>มาตรฐาน | สีสารละลาย<br>ต้องไม่เข้ม<br>กว่าสีของ<br>สารละลาย<br>มาตรฐาน | -                                         | -                             | BS5711:Part20 |
| 22            | สะฟอนิฟิเคชันอิกวี<br>เวเลนซ์มิลลิอิกวี<br>เวเลนซ์ต่อ 100 กรัม        | -                                              | -                                         | 0.64                                                          | 0.64                                                          | -                                         | -                             | BS5711:Part21 |

ตาราง 2.3 (ต่อ)

| รายการ<br>ที่ | ลักษณะ                  | เกณฑ์ที่กำหนด                                  |                                           |                                     |                                         |                                       |                                                                                                   | วิธีทดสอบตาม |
|---------------|-------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|               |                         | กลีเซอริน<br>ดิบจาก<br>การ<br>แยกกลาย<br>ไขมัน | กลีเซอริน<br>ดิบจาก<br>อุตสาหกรรม<br>สบู่ | กลีเซอริน<br>ชั้น<br>คุณภาพ<br>เคมี | กลีเซอริน<br>ชั้น<br>คุณภาพ<br>ไดนาไมต์ | กลีเซอรินชั้น<br>คุณภาพ<br>อุตสาหกรรม | กลีเซอริน<br>ชั้น<br>คุณภาพยา                                                                     |              |
| 23            | กรดไขมันและเอส<br>เทอร์ | -                                              | -                                         | -                                   | -                                       | -                                     | ทำ<br>ปฏิกิริยา<br>พอดีกับ<br>สารละลาย<br>โซเดียมไฮ<br>ดรอกไซด์<br>0.5 M ไม่<br>เกิน 1 ลบ.<br>ซม. | USP          |

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2538

### การวิเคราะห์กลีเซอริน

การตรวจสอบกลีเซอรินทำได้หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

1. ตรวจสอบคุณภาพ โดยให้ความร้อนสารตัวอย่างพร้อมโพแทสเซียมไฮโดรเจนซัลเฟต โดยกลีเซอรินจะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงเป็นอะโคริน
2. ตรวจสอบปริมาณกลีเซอริน สามารถทำได้ โดยวิธีการไทเทรต ด้วยการออกซิไดส์กลีเซอริน ด้วยโซเดียมเปอร์ไอโอเดต (sodium periodate) เกิดเป็นอัลดีไฮด์และกรดฟอร์มิก แล้วไทเทรตหาปริมาณของกลีเซอรินด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้สามารถตรวจสอบหาปริมาณกลีเซอรินด้วยวิธีการทางโครมาโทกราฟี เช่น ใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High-Performance Liquid Chromatography, HPLC) เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC)
3. ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในกลีเซอริน โดยเทคนิค คาร์ลฟิชเชอร์ไทเทรชัน (Karl Fischer titration)

### การทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์

เนื่องจากกลีเซอรินที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันได้เป็นผลิตภัณฑ์ร่วมอาจประกอบด้วยสิ่งปนเปื้อนอยู่หลายชนิด ซึ่งกลีเซอรินจะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หากไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จึงขอกล่าวถึงวิธีการทำกลีเซอรินที่ได้ให้บริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น โดยวิธีการต่างๆ ซึ่งมีขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ดังต่อไปนี้

### 1. การระเหยเมทานอล

กลีเซอรินที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันจะต้องนำมาผ่านการกำจัดเมทานอลโดย การระเหยที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส (Bernardini : 1973) ซึ่งจุดเดือดของเมทานอลที่ความดัน 1 บรรยากาศจะมีค่าประมาณ 64 องศาเซลเซียส แต่กลีเซอรินมีจุดเดือดประมาณ 290 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อให้ความร้อน เมทานอลจะระเหยออกไปก่อน

### 2. การกำจัดสิ่งปนเปื้อนและการปรับสถานะให้เป็นกลาง

เนื่องจากกลีเซอรินที่ผ่านการระเหยเมทานอลแล้วประกอบไปด้วยสารอินทรีย์หลายชนิด นอกเหนือจากกลีเซอริน กล่าวคือ อาจประกอบด้วยกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน กรดไขมัน เม็ดสี สารอินทรีย์ปนเปื้อนชนิดอื่นๆ ซึ่งสารเหล่านี้จะนำมาทำการทดลองเพื่อสกัดสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในกลีเซอรินและสามารถละลายได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Swern : 1964) ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวทำละลายเป็นเฮกเซน

### 3. การฟอกสีและกลั่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์

ปัญหาเกี่ยวกับสีและกลิ่นของกลีเซอรินสามารถกำจัดออกได้โดยการใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพสูง ในการบำบัด ใช้กระบวนการบำบัดและการเก็บรักษาที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังต้องหลีกเลี่ยงอุณหภูมิ สูงๆ ในระยะเวลานานๆ สิ่งปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบ โดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอริน มีปริมาณ สูง จะส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณของกลีเซอรินซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปัญหาเกี่ยวกับ สี และกลิ่น เนื่องจากไตรเมทิลีนไกลคอลที่อยู่ในสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรินจะมีผลต่อสีของกลีเซอริน โดยในงานวิจัยนี้ใช้ถ่านคาร์บอนกัมมันต์เป็นสารฟอกสีและกลั่นของกลีเซอริน (เกสร เอื้อสุนทร : 2525)

### กลไกการฟอกสีของคาร์บอนกัมมันต์

โดยอาศัยกลไกการดูดซับ ซึ่งการดูดซับเป็นการแยกองค์ประกอบของตัวดูดซับออกจากสารละลายของเหลว หรือก๊าซสัมผัสกับตัวดูดซับ องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลาย หรือก๊าซมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ปฏิกิริยาการดูดซับขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ ดังนั้นความสามารถ

ในการแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลาย หรือก๊าซ จึงขึ้นอยู่กับทางเลือกตัวดูดซับให้เหมาะสมกับองค์ประกอบนั้น (Thieme : 1968)

เนื่องจากการดูดซับเป็นการถ่ายเทมวลสารจากของเหลวหรือก๊าซ มายังของแข็ง การดูดติดผิวเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ ดังนี้

- ระยะที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของถ่านกัมมันต์
- ระยะที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแพร่ (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของถ่านกัมมันต์
- ระยะที่ 3 เกิดการดูดซับในรูพรุนของตัวถูกดูดซับที่พื้นที่ผิวภายในถ่านกัมมันต์ซึ่งอาจดูดติดผิวด้วยแรงทางกายภาพ หรือเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน

### ประโยชน์ของกลีเซอริน

กลีเซอรินสามารถทำปฏิกิริยาได้หลากหลาย จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ด้านอาหาร เนื่องจากไม่มีพิษ สามารถใช้แทนคาร์โบไฮเดรตได้ เป็นส่วนประกอบของน้ำเชื่อม (Syrup) ในลูกอมและไอซิ่ง (Icing) ใช้ในการแช่แข็งอาหารและเป็นสารหล่อลื่น เครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหารและการบรรจุหีบห่อ
2. ด้านยาและเครื่องสำอาง เป็นส่วนผสมของยาหลายชนิด สารละลายกลีเซอริน-ฟีนอล (Glycerol-phenol) ใช้ในการล้างหู ในเครื่องสำอางผสมครีมและโลชั่น ทำให้ผิวนุ่มและชุ่มชื้น ทำยาสีฟันให้มีความหนืดและมันวาว
3. บุหรี่ เป็นส่วนสำคัญในการขึ้นรูปบุหรี่ป้อนบรรจุ ทำให้บุหรี่ปัดไฟช้า

กลีเซอรินบริสุทธิ์จะต้องไม่มีกรดไขมันตกค้างอยู่ ส่วนใหญ่การทดสอบปริมาณของกรดไขมันอิสระที่ตกค้างอยู่ในกลีเซอรินจะใช้เทคนิคการไทเทรชัน

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำกลีเซอริน

Yong และคณะ (2001) ได้เสนอขั้นตอนใจการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ โดยการแยกสบู่ออกด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำไประเหยไอน้ำและเมทานอลออก แล้วจึงนำไปกลั่นได้เป็น Distilled Glycerine และส่วนที่เหลืออยู่จากการกลั่น เรียกว่า Glycerine Residue ที่ได้ซึ่งมีความเป็นกรดค้าง 12.8 พบว่า ประกอบด้วย กลีเซอริน 20.2% เถ้า 64.3% ความชื้น 3.0%

สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอริน 12.4% และกรดไขมัน 6.6% ซึ่งมีองค์ประกอบหลักๆ คือ C 8:0 30.0% C 10:0 9.4% และ C12:0 40.8%

Ooi และคณะ (2001) นำ Glycerine Residue จากผลงานของ Yong และคณะมาทำให้บริสุทธิ์ขึ้น โดยการทำให้เป็นกรดด้วยกรดกำมะถัน กรอง และแยกกรดไขมันออก ทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปประเหยจะได้เกลือแยกเป็นของแข็งออกมา นำกลีเซอรินที่ได้ไปสกัดด้วยตัวทำละลาย และกรองอีกครั้งเพื่อแยกเอาเกลือที่ไม่ละลายในตัวทำละลายออก นำไปประเหยตัวทำละลายจะได้กลีเซอรินที่เรียกว่า Crude Glycerine ประกอบไปด้วย กลีเซอริน 51.4% เถ้า 13.8% น้ำ 8.9% และสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอริน 25.9% ดังภาพประกอบ.... แสดงถึงสเปกตรัมจากเครื่องอินฟราเรดสเปกตรัมสเปกโทรโตมิเตอร์ของ Crude Glycerine จะเห็นว่ายังมีพีคที่ 1737.21  $\text{cm}^{-1}$  แสดงว่ายังมีหมู่คาร์บอนิล ( $\text{C}=\text{O}$ ) อยู่ ซึ่งอาจมาจากกลีเซอไรด์ต่างๆ ที่ยังคงตกค้างอยู่ใน Crude Glycerine

Hazimah และคณะ (2003) นำ Glycerol pitch ซึ่งได้จากส่วนของกรดไขมันในโรงงานการกลั่นสวิตเทอร์เพื่อให้ได้กลีเซอรินบริสุทธิ์ นำมาทำการสกัดด้วยกรด-ด่าง เพื่อแยกองค์ประกอบ ซึ่งได้แก่ ไดกลีเซอริน กรดไขมัน และเกลืออินทรีย์ออกได้เป็นกลีเซอรินดิบ จากนั้นจึงนำไปกลั่นสุญญากาศจะได้กลีเซอรินบริสุทธิ์ โดยส่วนที่กลั่นไม่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นไดกลีเซอริน หลังจากนั้นนำกลีเซอรินบริสุทธิ์ไปวิเคราะห์ พบว่ามีปริมาณกลีเซอริน 60-80% ความชื้น 1.5-6.5% เถ้า 1.5-2.5% และสบู่ 3.5% นอกจากนี้ยังใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared : FTIR และเทคนิค High Performance Liquid Chromatography : HPLC ในการหาความบริสุทธิ์และ องค์ประกอบของ Glycerol pitch พบว่าปริมาณกลีเซอริน 55-65% ไดกลีเซอริน 15-25% และกรดไขมันและเกลืออินทรีย์น้อยกว่า 10%

Encinar และคณะ (2002) ได้ศึกษากระบวนการของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของพืชน้ำมันพื้นเมืองตระกูล *Cynara cardunculus* L. ด้วยเอทานอล โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 25 ถึง 75 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาตั้งแต่ 0.25 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนของสารตั้งต้นเอทานอลต่อน้ำมันตั้งแต่ 3:1 ถึง 15:1 โมลาร์ พบว่า อัตราส่วนโมลของเอทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมคือ 12:1 ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไปทดสอบตามคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงพบว่า ให้คุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมายเลข 2

สุรารักษ์ บุญโชติ และคณะ (2546) นำกลีเซอรินที่ได้จากการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพมาทำการไล่เมทานอลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และใช้กรดเกลือเพื่อแยกของผสมอินทรีย์ออกจากกลีเซอรินโดยใช้สัดส่วนกลีเซอรินต่อกรดเกลือ โดยน้ำหนักคือ 20:22 หลังจากนั้น กลีเซอรินจะถูกปรับ

ให้มีค่าความเป็นกรดต่างเป็น 5 ด้วยสารละลายโซดาไฟ แล้วนำไปกลั่นที่อุณหภูมิ 180-195 องศาเซลเซียส ภายใต้สุญญากาศ 20 มิลลิเมตรปรอท กลีเซอรินที่ได้มีความบริสุทธิ์เท่ากับ 94%

ก่อฤกษ์ เชียงว่อง และวีระชัย โคตรคำหาญ (2544) ได้ทำการศึกษากระบวนการเบื้องต้นในการทำกลีเซอรินซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ การทดลองประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การระเหยเมทานอลโดยใช้อุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส การกำจัดด่างด้วยสารละลายกรด การสกัดสิ่งเจือปนด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ การใช้ดินกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ในการบำบัดสี กรดที่ใช้ในการกำจัดด่างคือ กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.8 โมลาร์ กรดอะซิติกความเข้มข้น 17.3 โมลาร์ และกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2.7 โมลาร์ พบว่าการใช้กรดซัลฟูริกและกรดอะซิติกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกกรดไขมันออกมาได้ดี สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ตัวทำละลายที่ใช้ทดสอบคือ เฮกเซน นอร์มอลเฮปเทน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งทำละลายที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ เฮกเซน และในการบำบัดโดยใช้ดินกัมมันต์ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของดินกัมมันต์ต่อสารละลายกลีเซอริน 1:30 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการบำบัดสีของผลิตภัณฑ์ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ต่อสารละลายกลีเซอริน 1:3 ที่อุณหภูมิห้อง และใช้เวลาในการบำบัด 40 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอริน พบว่ามีค่า 75.9% โดยน้ำหนัก

ครรชิต จุดประสงค์ (2543) ได้ทำการวิเคราะห์กรดไขมันอิ่มตัวโดยใช้ packed column และ capillary column ในตัวอย่างอาหารสำเร็จรูปและกึ่งสำเร็จรูป 60 ชนิด พบว่า การวิเคราะห์กรดไขมันจากคอลัมน์ทั้ง 2 ชนิด ให้ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นกรดไขมันบางชนิด ได้แก่ linolenic acid และ arachidic acid และพบว่า ในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวซึ่งต้องแสดงบนฉลากโภชนาการ สามารถใช้คอลัมน์ทั้งสองชนิดได้ เนื่องจากให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามการใช้ packed column จะทำได้ง่ายและประหยัด ส่วน capillary column จะให้ค่าที่ถูกต้องมากกว่า

### บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

##### อุปกรณ์ เครื่องมือ

- บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- เครื่องกวนเชิงกล ความเร็ว 115 รอบต่อนาที
- กรวยแยกขนาด 500 มิลลิลิตร
- แผ่นให้ความร้อน
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ sartorius
- เครื่องมือวัดความเป็นกรดเบส ของบริษัทmettler toledo
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ buchii
- เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง
- ชุดกรองชนิดลดความดันยี่ห้อ buchii
- กระดาษกรอง Whatman No.1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร
- ชุดสกัดไขมันแบบต่อเนื่อง ยี่ห้อ Buchii
- ถ่านกัมมันต์ เกรดแอลคาร์ ของบริษัทmerck
- ขวดบรรจุสารขนาดเล็ก
- ไมโครปิเปต
- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ HP
- เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรเมตริยี่ห้อ brucker
- เครื่องฟูรีเยอร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ยี่ห้อJasco
- คอลัมน์สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเอสเทอร์
- แคปิลารีคอลัมน์สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

##### วัสดุและสารเคมี

- น้ำมันตัวอย่างได้แก่  
น้ำมันหมู น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง ซื้อมาจากห้างสรรพสินค้าทั่วไป  
น้ำมันใช้แล้ว ซื้อมาจากผู้ขายปาหึงไก่ อาหารทอดทั่วไป
- กากตัวอย่างของเสีย เก็บจากบ่อบำบัดของระบบบำบัดของเสียของโรงงานผลิตไอศกรีม ยี่ห้อครีโมของบริษัทจอมธนา และจากสหกรณ์โคนมนครปฐม
- โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ เกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck

- โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck
- เอนไซม์ไลเปสเกรดแอนาลาร์ ของบริษัทFluka
- เมทานอลเกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck
- กรดซัลฟิวริกเกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck
- โปตัสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck
- โซเดียมเปอร์ไอโอเดตเกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck
- อีเทนไดออกไซด์เกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck
- โบรโมไมมอลบลูเกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck
- ถ่านกัมมันต์เกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck
- ดินเบนทอไนต์เกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck
- เฮกเซนเกรดห้องปฏิบัติการของบริษัทMerck
- สารละลายมาตรฐานของกรดไขมัน ได้แก่ กรดโอเลอิก กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก และกรดลิโนเลอิกเกรดโครมาโทกราฟของบริษัทFluka
- สารละลายมาตรฐานของเอสเทอร์ ได้แก่ เมทิลโอเลอเตต(Methyl Oleate) เมทิลปาล์มิตเตต (Methyl Palmitate) เมทิลสเตียเรต (Methyl Stearate) และเมทิลลิโนเลอเตต (Methyl Linoleate).เกรดโครมาโทกราฟของบริษัทFluka

ผู้วิจัยได้ทำการดำเนินการวิจัยดังนี้ คือ

1. เก็บตัวอย่างกากของเสียจากโรงอุตสาหกรรมที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการทดลอง เป็นกากของเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นม
2. จัดเตรียมน้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์ใหม่ ตลอดจนเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้วที่นำมาเป็นวัตถุดิบหลักเพื่อใช้ศึกษา ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันหมู น้ำมันไก่
3. ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่

ชนิดน้ำมัน

ชนิดแอลกอฮอล์ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล

คะตะลิสต์ ได้แก่

3.3.1 คะตะลิสต์เบส คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

3.3.2 คะตะลิสต์กรด คือ กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก กรดซัลฟิวริก

3.3.2 คะตะลิสต์ เอนไซม์ คือเอนไซม์ไลเปส

3.4 อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา

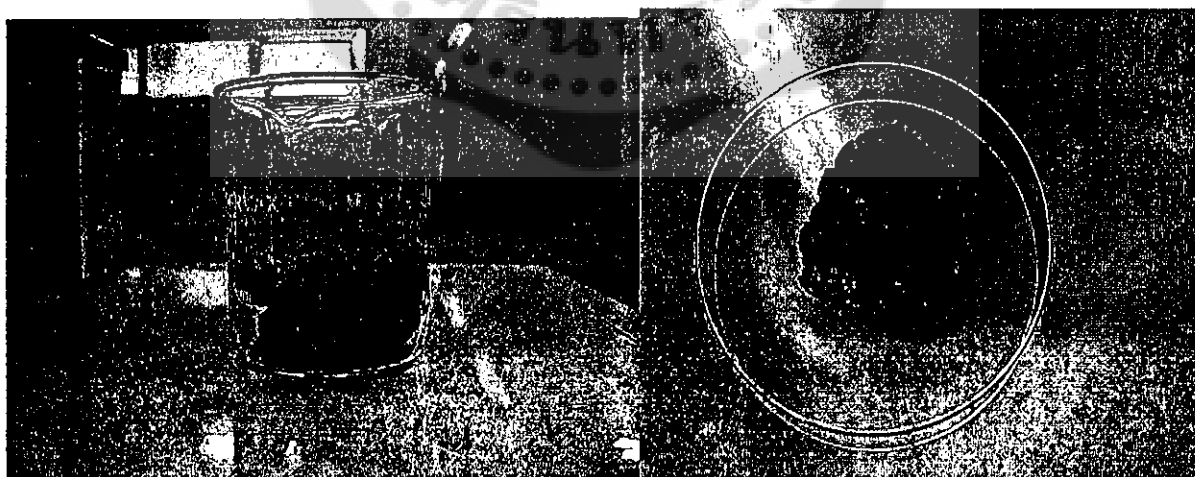
3.5 ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

4. ติดตามผลการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทำโดยการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นในระบบ ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี
5. การแยกกลีเซอรอล ศึกษาแนวทางการทำให้บริสุทธิ์ และตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมีตามความเหมาะสมของปัจจัยที่ตรวจสอบ
  - 5.1 การระเหยเมทานอล
  - 5.2 การปรับสถานะให้เป็นกลางด้วยกรดซัลฟูริกและการสกัดด้วยเฮกเซน
  - 5.3 การฟอกสีกลีเซอรอลด้วยถ่านกัมมันต์หรือดินเบนทอนไนต์
6. การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอล
7. การตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในกลีเซอรอลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

### วิธีทดลอง

#### ขั้นตอนที่ 1 การเก็บตัวอย่าง

คณะผู้วิจัยที่รับผิดชอบได้ทำการติดต่อโรงงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมนม และเดินทางไปดูสถานที่จริงของโรงงานในระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าแต่ละโรงงานมีการบำบัดที่เป็นไปตามข้อกำหนดของระบบโรงงาน ซึ่งคณะผู้วิจัยได้เลือกเก็บตัวอย่างกากของเสียที่มีลักษณะเป็นดินโคลนดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างกากของเสียจากโรงงานผลิตไอศกรีมของบริษัทจอมธนา

เมื่อเก็บกากตัวอย่างจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเก็บในบ่อส่วนที่เป็นกากตะกอน ได้บรรจุใส่ในขวดเก็บตัวอย่าง นำกลับมาเพื่อเตรียมการทดลองต่อไป

เนื่องจากการวิจัยนี้ได้วางแผนการทดลองศึกษากับน้ำมันใหม่ทั้งน้ำมันพืช และสัตว์ น้ำมันใช้แล้ว ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างน้ำมันทำโดย จัดการซื้อน้ำมันพืชจากห้างสรรพสินค้าที่มีจำหน่ายทั่วไปในการทดลอง ได้จัดซื้อ น้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลือง ส่วนน้ำมันสัตว์ที่จัดซื้อได้นั้นมีจำหน่ายตามท้องตลาดสดทั่วไป โดยมีจำหน่ายเฉพาะน้ำมันหมู และน้ำมันไก่เท่านั้น สำหรับน้ำมันใช้แล้วส่วนใหญ่จะจำแนกไม่ได้ว่าเป็นน้ำมันพืชหรือสัตว์ แต่โดยการสอบถามผู้ประกอบการรายย่อย คือ พ่อค้า แม่ค้าที่จัดเตรียมอาหารทอดจำหน่าย ส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำมันพืช ผู้เก็บตัวอย่างจึงจัดหาน้ำมันทั้งใหม่และน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วมาเตรียมทดลองในห้องปฏิบัติการ เช่นเดียวกับ กากตัวอย่างจากโรงงานอุตสาหกรรมนม

## ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

การทดลองตอนนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- 1 การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในตัวอย่างน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ใหม่ และน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว
- 2 การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในตัวอย่างกากของเสียที่เก็บจากโรงงานในขั้นตอนที่ 1

### 2.1 การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในตัวอย่างน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ใหม่และน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว

การทดลองตอนนี้ ทำการศึกษาเพื่อเป็นกรณีศึกษา ด้านแบบการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่เกิดขึ้นในน้ำมัน ทั้งนี้ศึกษาเพื่อจะได้ทราบแนวทางที่จะทำการทดลองกับกากของเสียจริง พร้อมทั้งได้ทราบสถานะที่เหมาะสมในการทดลอง จึงดำเนินการทดลอง ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ได้แก่

1. ชนิดน้ำมัน
2. ชนิดแอลกอฮอล์ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล
3. คะตะลิสต์ ได้แก่
  - 3..1 คะตะลิสต์เบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
  - 3.2 คะตะลิสต์กรด
  - 3..2 คะตะลิสต์เอนไซม์ ไลเปส
4. อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ 40 60 80 องศาเซลเซียส
5. ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

#### 2.1.1 การศึกษาปัจจัยชนิดน้ำมัน

### 2.1.1.1 การตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

ก่อนนำน้ำมันตัวอย่างไปทดลองต้องศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระตามมาตรฐานของ A.O.C.S. Official Method Ca 5a-40. :ซึ่งทำการทดลองดังนี้

1. ชั่งน้ำมันตัวอย่าง 56.4 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน 2 มิลลิลิตร ลงในน้ำมัน

2. เติมนีออนอลที่เป็นกลาง (ซึ่งเตรียมจากเอทานอล 95 % ที่ผ่านการสแตนด์คาร์ดไดซ์มาแล้ว ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 นอร์มัล และนำไปให้ความร้อนเรียบร้อยแล้ว) ปริมาณ 50 มิลลิลิตรลงในน้ำมัน

3. นำสารละลายทั้งหมดไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนถึงจุดยุติสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตร เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ในตัวอย่างน้ำมัน โดยใช้สูตรตามสมการที่ 3.1

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ(ร้อยละ)} = \frac{V \times N \times 25.6}{M} \quad \dots\dots\dots 3.1)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หน่วย นอร์มัล

M คือ น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน หน่วย กรัม

### 2.1.1.2 การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันและปัจจัยชนิดน้ำมัน

การทดลองนี้ได้ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน 2 สภาวะ เมื่อใช้เบสเป็นคะตะลิสต์ เป็นดังนี้

สภาวะที่1 ใช้ไขมันช่วง 50 – 150 กรัม เบส 1 - 3 กรัม แอลกอฮอล์ 150 – 300 มิลลิลิตร

สภาวะที่ 2 ใช้ไขมันช่วง 50 – 150 กรัม เบสเข้มข้น 1 % โดยมวลต่อ ปริมาตรของ ปริมาณน้ำมัน แอลกอฮอล์ 25 % โดยปริมาตรของน้ำมันพืช

#### วิธีทดลองตามสภาวะที่ 1

1. ตวงน้ำมันตัวอย่างประเภทต่างๆได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันหมู น้ำมันไก่ น้ำมันใช้แล้ว ปริมาตร 50 กรัม

2. นำโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ผสมในเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร นำสารละลายผสมนี้ ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา

3. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนออกมา นำไปหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ บันทึกผลโดยการชั่งน้ำหนักสารที่ได้ ก่อนนำไปทำให้สารแต่ละชนิดบริสุทธิ์

#### วิธีทดลองตามสภาวะที่ 2

1. ตวงน้ำมันตัวอย่างประเภทต่างๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันหมู น้ำมันไก่ น้ำมันใช้แล้ว ปริมาตร 100 กรัม

2. นำโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ผสมในเมทานอลปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำสารละลายผสมนี้ ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา

3. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนออกมา นำไปหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ บันทึกผลโดยการชั่งน้ำหนักสารที่ได้ ก่อนนำไปทำให้สารแต่ละชนิดบริสุทธิ์

การทดลองทั้ง 2 สภาวะจะทำการศึกษาการแปรผันปริมาณน้ำมัน โดยทดลองกับน้ำมันปาล์มเป็นต้นแบบ โดยทำการปรับปริมาณน้ำมันเป็น 100 และ 150 กรัมตามลำดับ

#### **2.1.2 การศึกษาปัจจัยชนิดแอลกอฮอล์**

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอน 2.1.1.2 ในสภาวะที่ 1 โดยทดลองกับน้ำมันชนิดเดียวคือ น้ำมันปาล์มใหม่ ใช้แอลกอฮอล์ใหม่ เป็น เอทานอล และ บิวทานอล แทน เมทานอล ไปผสมลงในน้ำมันปาล์ม และ โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม นำสารละลายผสมนี้ ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนออกมา นำไปหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ บันทึกผลโดยการชั่งน้ำหนักสารที่ได้ก่อนนำไปทำให้สารแต่ละชนิดบริสุทธิ์

จากการทดลองข้างต้น ให้ทำการทดลองซ้ำเดิม โดยทำการแปรผันปริมาณแอลกอฮอล์เป็น 250 และ 300 มิลลิลิตร

#### **2.1.3 การศึกษาปัจจัยชนิดอะตอมลิสส์**

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอน 2.1.2 โดยทดลองกับน้ำมันชนิดเดียวคือ น้ำมันปาล์มใหม่ ใช้แอลกอฮอล์ คือ เมทานอล ไปผสมลงในน้ำมันปาล์ม แต่ ทดลองใช้อะตอมลิสส์ เป็น โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรด

ไฮโดรคลอริก แทน โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ นำสารละลายผสมนี้ ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นไปโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนออกมา นำไปหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ บันทึกลง จากการทดลองข้างต้น ให้ทำการทดลองซ้ำเดิม โดยทำการแปรผันปริมาณเบสแต่ละชนิดเป็น 2 และ 3 กรัม

สำหรับการใช้เอนไซม์ไลเปส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะใช้เอนไซม์ไลเปส 0.1 กรัม ต่อตัวอย่างน้ำมัน 50 กรัม นำไปกวนให้เข้ากัน โดยให้ความร้อนเพียง 40 องศาเซลเซียส เท่านั้น กวนสารละลาย นานประมาณ 6 ชั่วโมง หรือ จนกว่าจะเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นกลีเซอรินดิบที่อยู่ชั้นล่างออกมา แยกชั้นไปโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนออกมา นำไปหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ บันทึกลง โดยการชั่งน้ำหนักสารที่ได้ก่อนนำไปทำให้สารแต่ละชนิดบริสุทธิ์

#### 2.1.4 การศึกษาปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

1. ตวงน้ำมันตัวอย่างประเภทต่างๆได้แก่ น้ำมันปาล์ม หรือ น้ำมันหมู ปริมาตร 50 กรัม
2. นำโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ผสมในเมทานอลปริมาตร 250 มิลลิลิตร นำสารละลายผสมนี้ ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา
3. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นไปโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนออกมา นำไปหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ บันทึกลง โดยการชั่งน้ำหนักสารที่ได้ก่อนนำไปทำให้สารแต่ละชนิดบริสุทธิ์
4. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนอุณหภูมิการให้ความร้อนในปฏิกิริยาเคมีเป็น 60 และ 80 องศาเซลเซียส

#### 2.1.5 การศึกษาปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

1. ตวงน้ำมันตัวอย่างประเภทต่างๆได้แก่ น้ำมันปาล์ม ปริมาตร 50 กรัม
2. นำโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ผสมในเมทานอลปริมาตร 250 มิลลิลิตร นำสารละลายผสมนี้ ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา
3. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นไปโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนออกมา นำไปหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ บันทึกลง โดยการชั่งน้ำหนักสารที่ได้ก่อนนำไปทำให้สารแต่ละชนิดบริสุทธิ์

4. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนระยะเวลา การให้ความร้อนในปฏิกิริยาเคมีเป็น 60 และ 90 นาที

#### หมายเหตุ

การทดลองกับน้ำมันพืชใช้แล้วจะได้น้ำมันที่เหมาสมจากการทดลองกับน้ำมันใหม่มาใช้ทดลอง

## 2.2 การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในตัวอย่างกากของเสียจากโรงงานผลิตภัณฑ์นม

จากผลการทดลองในตอน 2.1 ทำให้สามารถทราบและเห็นสถานะจริงในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันใหม่ ชนิดต่างๆ และน้ำมันผ่านการใช้แล้ว คณะวิจัยมีทักษะมากขึ้นจึงเริ่มทำการทดลองกับกากตัวอย่าง ซึ่งการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

### 2.2.1 การสกัดน้ำมันที่ตกค้างในกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม

#### 2.2.1.1 การสกัดน้ำมันแบบไม่ต่อเนื่อง (batch extraction)

ชั่งกากของเสียให้มีน้ำหนัก 50 กรัม สกัดด้วยเฮกเซน 25 มิลลิลิตร ให้ความร้อน 40 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แยกส่วนที่เป็นไขมันออกซึ่งอยู่ชั้นบน สกัดซ้ำด้วยเฮกเซน 2 ครั้ง ระเหยเฮกเซนและบันทึกปริมาณที่แน่นอน ก่อนนำไขมันที่สกัดได้ไปใช้ต้องศึกษาสมบัติของไขมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยการหาปริมาณกรดไขมันอิสระตามมาตรฐาน A.O.C.S. Official Method Ca 5a-40. (วิธีทดลองตามข้อ 2.1.1 )

#### 2.2.1.2 การสกัดน้ำมันแบบต่อเนื่อง (continuous extraction)

ชั่งกากของเสียให้มีน้ำหนัก 50 กรัม บรรจุใส่ในtimbleเพื่อสกัดด้วยเฮกเซนโดยนำเฮกเซน 25 มิลลิลิตร ใส่ในชุดสกัดแบบต่อเนื่องยี่ห้อbuchii ให้ความร้อน 40 องศาเซลเซียส สกัดต่อเนื่องนานประมาณ 4 ชั่วโมง ระเหยเฮกเซนและบันทึกปริมาณที่แน่นอน ก่อนนำไขมันที่สกัดได้ไปใช้ต้องศึกษาสมบัติของไขมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยการหาปริมาณกรดไขมันอิสระตามมาตรฐาน A.O.C.S. Official Method Ca 5a-40. (วิธีทดลองตาม ข้อ 2.1.1 )

### 2.2.2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

#### 2.2.2.1 ศึกษาปัจจัยอะคะติสส์

1. ตวงน้ำมันที่แยกได้จากข้อ 2.2.1 ประมาณ 50 กรัม

2. นำโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ผสมในเมทานอลปริมาตร 150 มิลลิลิตร นำสารละลายผสมนี้ ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา

3. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นไปโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนออกมา นำไปหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ บันทึกผลโดยการชั่งน้ำหนักสารที่ได้ ก่อนนำไปทำให้สารแต่ละชนิดบริสุทธิ์

4. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนใช้กรดซัลฟิวริกหรือ เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

#### 2.2.2.2 ศึกษาปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1. นำน้ำมันจากกากตัวอย่างของเสียที่สกัดได้ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. นำโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ผสมในเมทานอลปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำสารละลายผสมนี้ ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา

3. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นไปโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนออกมา นำไปหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ บันทึกผลโดยการชั่งน้ำหนักสารที่ได้ ก่อนนำไปทำให้สารแต่ละชนิดบริสุทธิ์

4. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนอุณหภูมิการให้ความร้อนในปฏิกิริยาเคมีเป็น 60 และ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

#### 2.2.2.3 ศึกษาปัจจัยเวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1. ตวงน้ำมันตัวอย่างประเภทต่างๆได้แก่ น้ำมันปาล์ม ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. นำโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ผสมในเมทานอลปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3. นำสารละลายผสมนี้ ใส่ในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกล อัตราเร็ว 115 รอบต่อนาที ตลอดเวลา

4. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ทำการแยกชั้นไปโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนออกมา นำไปหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ บันทึกผลโดยการชั่งน้ำหนักสารที่ได้ ก่อนนำไปทำให้สารแต่ละชนิดบริสุทธิ์

5. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนระยะเวลา การให้ความร้อนในปฏิกิริยาเคมีเป็น 60 และ 90 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

## 2.3 การศึกษาการทำให้สารประกอบเอสเทอร์และกลีเซอรินที่แยกได้บริสุทธิ์

### 2.3.1 การทำให้สารประกอบเอสเทอร์บริสุทธิ์

#### ขั้นตอน 1. การล้างสารประกอบเอสเทอร์

##### วิธีการทดลอง

1. ตวงสารประกอบเอสเทอร์ที่ได้ 100 มิลลิลิตร ใส่ในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
2. นำน้ำกลั่นที่ต้มและมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียสหยดลงในกรวยแยกที่บรรจุสารประกอบเอสเทอร์ ประมาณ 20 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ สังเกตชั้นของสารประกอบเอสเทอร์ ควรใสขึ้น
3. ทำซ้ำข้อ 2 จนกว่าของเหลวชั้นล่างจะใส
4. แยกเอาสารประกอบเอสเทอร์ที่ผ่านการล้าง ซึ่งอยู่ชั้นบนออกมาเพื่อนำไปเข้าสู่กระบวนการต่อไป

#### ขั้นตอน 2. การกำจัดเมทานอล

##### วิธีการทดลอง

1. นำสารประกอบเอสเทอร์ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำอุ่นในขั้นตอน 1 ใส่ในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. นำไปอุ่นด้วยเตาไฟฟ้า โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
3. นำสารประกอบเอสเทอร์ที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ไปตรวจสอบด้วยเทคนิค อินฟราเรดสเปกโตรเมตรีและนิวเคลียร์แมกเนติกส์ เรโซแนนซ์สเปกโตรเมตรีเพื่อเป็นการยืนยันผลเบื้องต้น ทั้งนี้สารละลายมาตรฐานของเอสเทอร์ ได้แก่ Methyl Oleate, Methyl Palmitate, Methyl Stearate และ Methyl Linoleate ละลายในสารประกอบนออลแล้วไปใส่เซลล์อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์บันทึกอินฟราเรดสเปกตรัมมาตรฐานไว้เปรียบเทียบกับในทำนองเดียวกันนำสารละลายมาตรฐานไปบันทึกนิวเคลียร์แมกเนติกส์ เรโซแนนซ์สเปกตรัมเช่นกัน

#### ขั้นตอน 3 การตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในสารประกอบ เอสเทอร์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

##### วิธีทดลอง

##### 1. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

นำสารละลายมาตรฐานของเอสเทอร์ ได้แก่ เมทิลโอเลต(methyl oleate), เมทิลปาล์มมิเตต(methyl palmitate), เมทิลสเตียเรต(methyl stearate) และ เมทิลลิโนเลต(methyl linoleate) 100 มิลลิกรัม ละลายในเฮกเซน แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานที่มีความ

เข้มข้น 100 ppm นำ สารมาตรฐานเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ไปฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี สังเกตผล และบันทึก นำค่าพื้นที่ที่พิกไปพลอตกราฟกับความเข้มข้นจะได้กราฟมาตรฐาน

2. นำสารตัวอย่างที่เป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันชั้นบนที่คาดว่า เป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์แล้วฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี บันทึก ค่าพื้นที่พิกและคำนวณหาความเข้มข้นเทียบกับกราฟมาตรฐาน

### 2.3.2 การทำให้กลีเซอรินบริสุทธิ์

#### ขั้นตอน 1. การระเหยเมทานอล

##### วิธีการทดลอง

1. ชั่งกลีเซอรินดิบ 100 กรัมในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. นำไปวางบนแผ่นให้ความร้อน โดยควบคุมอุณหภูมิที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-60 นาที หรือจนกว่าไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น บันทึกน้ำหนักของกลีเซอรินที่เหลือจากการระเหย และวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินร้อยละ โดยน้ำหนักด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก.337 - 2538

#### ขั้นตอน 2. การปรับสถานะให้เป็นกลางด้วยกรดซัลฟิวริกและการสกัดด้วยเฮกเซน

##### วิธีการทดลอง

1. ชั่งกลีเซอรินที่ผ่านการระเหยเมทานอลแล้วให้มีน้ำหนัก 25 กรัม เติมน้ำกลั่นลงไป ในกลีเซอรินเพื่อช่วยลดความหนืด 25 มิลลิลิตร คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน
2. ทำให้เป็นกลางด้วยกรดซัลฟิวริก โดยค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น โดยใช้หลอดหยดสาร และใช้แท่งแก้วคนพร้อมๆ กับเติมกรด วัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง จนได้ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ได้เท่ากับ 7 (คลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.01) และทำการสกัดด้วยเฮกเซน 25 มิลลิลิตร เพื่อเอาสีปนเปื้อนที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์เช่น กลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ เมทิลเอสเทอร์ เป็นต้น
3. ทำการแยกชั้นกลีเซอรินที่อยู่ด้านล่างออก และนำกลีเซอรินที่ได้มาสกัดด้วยเฮกเซน ปริมาตร 25 มิลลิลิตรซ้ำอีกครั้ง.
4. จากนั้นนำชั้นกลีเซอรินที่ได้มาทำการระเหยเฮกเซนและน้ำที่ตกค้าง แล้วทำการแยกเกลือซัลเฟตที่ไม่ละลายออกด้วยเครื่องมือหมุนเหวี่ยง อัตราเร็ว 370 รอบต่อนาที บันทึกน้ำหนักของกลีเซอรินที่เหลือจากการระเหย และวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินร้อยละ โดยน้ำหนักด้วยการไทเทรตตามมาตรฐาน มอก.337 - 2538

#### ขั้นตอน 3. การฟอกสี กลิ่นด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์เปรียบเทียบกับดินเบนทอนไนต์

##### วิธีการทดลอง

1. อบถ่านคาร์บอนกัมมันต์ประมาณ 2 ชั่วโมง
2. ชั่งกลีเซอรินให้มีน้ำหนัก 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรเพื่อลดความหนืดของกลีเซอรินซึ่งอาจมีผลต่อการดูดซับ
3. แช่กลีเซอรินด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ ในอัตราส่วนระหว่างกลีเซอรินต่อถ่านคาร์บอนกัมมันต์ 1:1 1:3 และ 1:5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 วัน เปรียบเทียบผลที่ได้
4. จากนั้นทำการกรองกลีเซอรินด้วยชุดกรองสุญญากาศ เพื่อกำจัดอนุภาคของถ่านคาร์บอนกัมมันต์
5. ทำการระเหยน้ำในกลีเซอรินออกไปด้วยแผ่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส
6. ถ่ายสารที่เหลือใส่ในขวดใส่ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี
7. ทำการทดลองลักษณะเดียวกับข้อ 1-6 แต่ใช้ดินเบนทอนไนต์แทน

หมายเหตุ ทำการศึกษาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการดูดซับเพิ่มเติม ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 ทำการทดลองเช่นเดิมแต่เติมน้ำ 20 และ 30 มิลลิลิตรเพื่อลดความหนืดของกลีเซอรอล เปรียบเทียบผลการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 เพิ่มอุณหภูมิให้กับกลีเซอรินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโดยใช้อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบผลการดูดซับ

#### ขั้นตอน 4 การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอริน

การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินจะทำการตรวจทุกครั้งหลังจากการผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในแต่ละขั้นตอน โดยทดลองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลีเซอรินบริสุทธิ์ มอก.337-2538

#### วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างกลีเซอรินให้ได้น้ำหนักระหว่าง  $(41 \pm 9) / P$  กรัม เมื่อ P คือ ค่าร้อยละของปริมาณกลีเซอรินที่คาดว่าจะมีในตัวอย่าง กรณีไม่ทราบค่าให้คำนวณจากค่า P ให้เท่ากับ 100 ก่อน แล้วจึงเลือกขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมต่อไป
2. เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรประมาณ 50 มิลลิลิตร หยดโบรโมไทมอลบลูอินดิเคเตอร์ 5 ถึง 7 หยด แล้วทำให้เป็นกรดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.2 นอร์มัล
3. ปรับค่าความเป็นกรดเบสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลต่อ มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.2 นอร์มัล ให้ได้ค่า pH  $8.1 \pm 0.1$
4. ทำแบลนด์โดยใช้ น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 แต่ปรับค่า pH  $6.5 \pm 0.1$

5. ปิเปตสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต 50 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายตัวอย่างนำไปอุ่นโดยปิดฝาภาชนะนาน 30 นาที เติมสารละลายอีเทนไดออล 10 มิลลิลิตร ผสมให้สารละลายเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่มีอุณหภูมิห้อง นาน 20 นาที

6. เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 300 มิลลิลิตร จึงนำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.125 นอร์มัล ติดตามการเปลี่ยนแปลงในระบบด้วยเครื่องวัดค่า pH โดยที่จุดยุติจะมีค่า pH  $6.5 \pm 0.1$  โดยสารละลายแบลنگก์ก็ไตเตรตเช่นเดียวกันแต่ปรับค่า pH ที่จุดยุติเป็น  $8.1 \pm 0.1$  บันทึกปริมาตรสารละลายเบสที่ใช้แล้วนำไปคำนวณ ตามสมการ 3.2)

$$\text{ปริมาณกลีเซอริน (\% โดยน้ำหนัก)} = 1.151 \times (v_0 - v_1) / m \times T \quad \dots\dots 3.2)$$

เมื่อ  $v_0$  คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตกลีเซอริน

ตัวอย่าง หน่วย มิลลิลิตร

$v_1$  คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตสารละลาย

แบลنگก์ หน่วย มิลลิลิตร

T คือ แฟกเตอร์ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมเทียบกับ

ความเข้มข้น 0.125 นอร์มัล

m คือ น้ำหนักกลีเซอรินตัวอย่าง หน่วย กรัม

## 2.4 การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกลีเซอริน

### 2.4.1 การตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วยเทคนิคฟูริเยร์สทรานส์ฟอร์มสเปกโตรเมตรี

นำกลีเซอรินที่ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์แต่ละขั้นไปตรวจสอบโดยหยดกลีเซอรินลงบนเซลล์ของเครื่องฟูริเยร์สทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ เกลี่ยตัวอย่างให้ทั่วแผ่นเซลล์ แล้วนำไปวางในช่องบรรจุเซลล์ ของเครื่องฟูริเยร์สทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ สแกนสเปกตรัมตลอดช่วงความยาวคลื่น บันทึกสเปกตรัมเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของกลีเซอรินบริสุทธิ์มาตรฐาน

### 2.4.2 การตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในกลีเซอรินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

นำสารละลายมาตรฐานของกรดไขมัน อันได้แก่ กรดโอเลอิก กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก และ กรดลิโนเลอิก 100 มิลลิกรัม ละลายในเฮกเซน แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย มาตรฐานที่มีความเข้มข้น 100 ลูกบาศก์เดซิเมตร

### วิธีการทดลอง

นำสารละลายมาตรฐานของกรดไขมันและสารตัวอย่างกลีเซอรินที่ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์แล้วฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี ซึ่งมรสภาวะที่ใช้ตามตารางที่ 3.1. สังเกตผลและบันทึกพื้นที่พีค

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรเมตรี ในการวิเคราะห์ กรดไขมัน

| GC-MS Parameter   | GC Condition                                                                                               |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GC                | Agilent 6890 N                                                                                             |
| MS                | Agilent Mass selective Detector 5973N                                                                      |
| Analytical Column | 30 m.x 0.25 mm.i.d. x 0.25 $\mu$ m.film thickness<br>J&W DB-WAX (Polyethylene Glycol) capillary column     |
| Injector          | Split injector (10:1), 270 °C                                                                              |
| Injector Volume   | 1.0 $\mu$ L                                                                                                |
| Carrier Gas       | He                                                                                                         |
| Flow Rate         |                                                                                                            |
| - He              | 1.0 mL/min                                                                                                 |
| - H <sub>2</sub>  | 45.0 mL/min                                                                                                |
| - Air             | 450.0 mL/min                                                                                               |
| - N <sub>2</sub>  | 25.0 mL/min                                                                                                |
| Oven              | 100 °C hold 2 min<br>100 °C to 180 °C at 10 °C/min. hold 3 min<br>180 °C to 240 °C at 4 °C/min. hold 7 min |

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในตัวอย่างน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ใหม่และน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว

##### 4.1.1 ผลจากการศึกษาปัจจัยการแปรผันชนิดน้ำมัน

จากการทดลองนำน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ใหม่ชนิดต่างๆและน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ก่อนนำมาทำปฏิกิริยาได้ตรวจสอบหาค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) พบว่า น้ำมันแต่ละชนิดมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์สารประกอบเอสเทอร์ และกลีเซอรินได้ ตามผลที่แสดงในตารางที่ 4.1 (ทดลองตามสภาวะที่ 1)

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากรดไขมันอิสระ ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ และ กลีเซอรินดิบ

| ชนิดน้ำมัน       | ร้อยละกรดไขมันอิสระ | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบ<br>เอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|------------------|---------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| น้ำมันปาล์ม      | 0.13                | 57.52 ± 1.44                            | 94.52 ± 2.14                   |
| น้ำมันรำข้าว     | 0.15                | 54.68 ± 4.33                            | 89.32 ± 3.72                   |
| น้ำมันถั่วเหลือง | 0.16                | 55.78 ± 1.97                            | 86.22 ± 2.19                   |
| น้ำมันหมู        | 4.54                | 37.56 ± 0.93                            | 61.04 ± 4.33*                  |
| น้ำมันไก่        | 4.47                | 37.88 ± 2.77                            | 59.24 ± 1.28*                  |
| น้ำมันใช้แล้ว    | 0.53                | 48.32 ± 2.00                            | 82.68 ± 1.36                   |

หมายเหตุ การทดลองแต่ละครั้งทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

เบสที่ใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์

\* เกิดสบู่ขึ้นในระบบ

ผลจากการทดลองตามตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า สภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้ทำให้ได้กลีเซอรินดิบในปริมาณที่มากกว่า การเกิดสารประกอบเอสเทอร์ที่ยังไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ โดยถ้าพิจารณาชนิดน้ำมันพืชทั้ง สามชนิด พบว่า น้ำมันทั้งสามให้ปริมาณร้อยละผลได้ของกลีเซอรินสูงในช่วงมากกว่าร้อยละ 85 โดยน้ำมันถั่วเหลืองให้ปริมาณร้อยละของกลีเซอรินน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันพืชใหม่

ชนิดต่างๆ ก็จัดว่าให้ร้อยละผลได้ของสารประกอบเอสเทอร์ที่สภาวะการทดลองนี้น้อยกว่า ได้กลีเซอริน และจัดว่าไม่ต่างกันมากนักระหว่างชนิดของน้ำมัน สำหรับผลการทดลองกับน้ำมันหมู่น้ำมันไก่ก็ได้ผลในช่วง ร้อยละ 59 – 61 และไม่ต่างกันมาก แต่ถ้าเทียบกับน้ำมันพืช พบว่าร้อยละผลได้ของกลีเซอรินดิบและสารประกอบเอสเทอร์น้อยกว่ามาก อาจเนื่องจากการทดลองกับน้ำมันสัตว์เกิดเป็นสบู่ แสดงว่าสภาวะการทดลองโดยใช้เบสนี้ น้ำมันสัตว์เมื่อผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน มีการเกิดสบู่ขึ้นมีผลทำให้การแยกชั้นของสารประกอบเอสเทอร์และกลีเซอริน แต่ที่น่าสังเกตการนำน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วมาทำการสังเคราะห์สารประกอบเอสเทอร์จะสามารถผลิตได้ใกล้เคียงกับการผลิตจากน้ำมันพืชใหม่ ทั้งนี้เพราะการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนี้ขึ้นกับปริมาณกรดไขมันอิสระเนื่องจากน้ำมันใหม่ควรจะมีปฏิกิริยาได้ดี เพราะปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันน้ำมันจากสัตว์หายากมากขึ้น และมนุษย์ส่วนใหญ่ยังมีการบริโภคน้ำมันสัตว์ ประกอบกับน้ำมันสัตว์มีจำหน่ายน้อย อาจเป็นเพราะไขมันจากสัตว์มีปริมาณน้อยลง โดยเฉพาะไขมันจากหมู ซึ่งคนทั่วไปนิยมบริโภคเนื้อที่มีไขมันปนน้อยจึงทำให้เกษตรกรพยายามเลี้ยงหมูด้วยสูตรอาหารที่ช่วยเร่งให้มีเนื้อแดงมาก ดังนั้นส่วนไขมันจึงมีจำหน่ายน้อยมาก

แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจริง ในประเทศไทยเราก็ไม่นิยมใช้ไขมันหรือน้ำมันจากสัตว์ เพราะการผลิตจริงก็ต้องมีปัญหาด้านวัตถุดิบ

#### 4.1.2 การศึกษาปัจจัยชนิดแอลกอฮอล์

จากการศึกษาปัจจัยชนิดน้ำมันพบว่าสภาวะเดียวกัน ถ้าทำการสังเคราะห์สารประกอบเอสเทอร์จากน้ำมันพืชใหม่ จากผลตอนที่ 4.1 พบว่า น้ำมันปาล์มมีราคาไม่สูงเท่าน้ำมันพืช 2 ชนิด จึงถูกเลือกมาทดลองศึกษาปัจจัยของการเปลี่ยนชนิดแอลกอฮอล์ ซึ่งได้ทดลองสังเคราะห์สารเอสเทอร์โดยใช้แอลกอฮอล์ ชนิดใหม่คือ เอทานอล และ นอร์มัลบิวเทน ได้ผลการทดลองตามที่แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้แอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ

| ชนิดแอลกอฮอล์    | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบเอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| เมทิลแอลกอฮอล์   | 17.96 ± 1.44                        | 27.96 ± 2.14                   |
| เอทิลแอลกอฮอล์   | 23.86 ± 4.33                        | 23.86 ± 1.72                   |
| นอร์มัล-บิวทานอล | 18.49 ± 1.97                        | 18.30 ± 2.12                   |

ตามที่แสดงผลในตารางที่ 4.2 พบว่า ในสภาวะที่ทดลองนี้ การใช้เมทิลแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนี้ มีแนวโน้มเกิดเป็นกลีเซอรินดิบได้มากที่สุด ในขณะที่เดียวกันถ้าใช้

นอร์มัล-บิวทานอลจะทำให้โอกาสเกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการเกิดเป็นสารไบโอดีเซล ยังอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นในรายงานการผลิตไบโอดีเซลทั่วไปจึง นิยมใช้เมทิลแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาเพราะจัดว่า ราคาต้นทุนในการทำต่ำที่สุด ประกอบกับการใช้แอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ จะมีผลต่อลักษณะกายภาพของสารประกอบเอสเทอร์ มีลักษณะขุ่นหนืดมากขึ้น

#### 4.1.3 การศึกษาปัจจัยชนิดตะลีสต์

จากการศึกษาผลการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 3 ประเภท โดยในการทดลองนี้จะได้ศึกษาชนิดของเบส 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ ในตัวอย่างน้ำมันใหม่ คือน้ำมันปาล์ม ได้ผลตามแสดงร้อยละผลได้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบชนิดเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในน้ำมันพืชใหม่

| ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบเอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ | $17.01 \pm 1.44$                    | $27.96 \pm 2.14$               |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์    | $16.36 \pm 1.34$                    | $14.99 \pm 1.72$               |

ผลจากตารางแสดงให้เห็นว่า การใช้เบสทั้งสองเป็นตะลีสต์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทำให้ได้ร้อยละผลได้ของสารประกอบเอสเทอร์และกลีเซอรินต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่ข้อสังเกตคือ การใช้เบสโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีผลมากในด้านทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน คือ เกิดเป็นสบู่ทำให้การแยกชั้นของสารประกอบเอสเทอร์กับชั้นกลีเซอรินได้ยากไม่ชัดเจน เท่ากับการใช้ โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตะลีสต์ แต่ในกรณีที่ทำการทดลองปริมาณมาก ผู้ประกอบการบางรายก็นิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตะลีสต์ เนื่องจากเป็นเบสที่จัดหาได้ง่าย จึงเป็นที่นิยมใช้

การศึกษาคะตะลิสต์ประเภทกรดกับตัวอย่างน้ำมันพืชใหม่ พบว่าชั้นของผลิตภัณฑ์ไม่แยกชั้นและน้ำมันมีสีดำคล้ำ จึงไม่สามารถจะแยกเป็นผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนน้ำมันจากสัตว์จะได้นำไปศึกษาในขั้นต่อไป

การศึกษาคะตะลิสต์เอนไซม์ไลเปส พบว่า ปฏิกิริยาใช้เวลานานมากกว่า 18 ชั่วโมงจึงจะเริ่มสังเกตการเกิดปฏิกิริยาเคมีว่ามีการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ ขึ้น ซึ่งน้อยมาก ประกอบกับเอนไซม์มีราคาสูง จึงจะทดลองโดยตรงกับกากของเสียซึ่งเป็นตัวอย่างจริง

สำหรับผลการทดลองกับน้ำมันจากสัตว์ได้นำน้ำมันหมูมาเป็นตัวอย่างในการศึกษา โดยได้ทำการทดลองตามสภาวะที่ 1 ซึ่งศึกษาอะตตะลิสต์สกรด เนื่องจากน้ำมันจากสัตว์มีกรดไขมันอิสระในปริมาณที่มากกว่าในน้ำมันพืชใหม่มาก มีรายงานการวิจัยต่างๆ เสนอแนะให้ใช้กรดเป็นอะตตะลิสต์ ดังนั้นในการทดลองนี้จะใช้กรดซัลฟิวริก เป็นอะตตะลิสต์โดยทำการศึกษหาปริมาณที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ผลการทดลองตามที่แสดงปริมาณร้อยละของผลผลิตขณะที่ยังไม่ได้ทำให้บริสุทธิ์ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณกรดที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

| ปริมาณ<br>กรด<br>(มิลลิลิตร) | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบ<br>เอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| 1                            | $18.33 \pm 0.77$                        | $22.0 \pm 0.46$                |
| 2                            | $22.26 \pm 0.39$                        | $38.40 \pm 0.75$               |
| 3                            | $26.46 \pm 0.92$                        | $54.13 \pm 0.67$               |

ผลตามตารางที่ 4.4 แสดงว่า ผลผลิตที่ได้เกิดเป็นกลีเซอรินค่อนข้างมากกว่า สารเอสเทอร์ โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้ กรดซัลฟิวริกมากถึง 3 มิลลิลิตร แต่อย่างไรก็ตามสารอื่นๆที่เกิดขึ้นในระบบซึ่งจำแนกไม่ได้ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นชั้นของไขมันที่อาจไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ ก็ยังคงมีในปริมาณหนึ่ง ผลจากการทดลองตอนนี้ทำให้ทราบว่า เมื่อนำน้ำมันจากสัตว์มาผ่านกระบวนการทางเคมีนี้ ควรจะใช้อะตตะลิสต์สกรดกับน้ำมันจากสัตว์

#### การศึกษาปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

เมื่อนำน้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันหมูมาทดลองตามสภาวะที่ 1 โดยในน้ำมันพืชจะใช้โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นอะตตะลิสต์ ส่วนน้ำมันหมูจะใช้กรดซัลฟิวริกเป็นอะตตะลิสต์ ทำการทดลองปรับหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยานี้ ได้ผลตามที่แสดงใน ตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามที่แสดงผลในตารางที่ 4.5 เป็นผลการทดลองกับตัวอย่างน้ำมันปาล์ม โดยควบคุมสภาวะ เบส ชนิดโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณเท่ากัน ปริมาณน้ำมันคงที่ แต่แปรผันระดับอุณหภูมิที่ 3 ค่า ในเวลาทำการทดลองเท่ากัน

ตารางที่ 4.5 ผลการหาสภาวะของอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันพืชใหม่

| วัตถุดิบ    | อุณหภูมิ<br>(องศาเซลเซียส) | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบ<br>เอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|-------------|----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| น้ำมันปาล์ม | 40                         | 52.44 $\pm$ 1.56                        | 59.44 $\pm$ 0.55               |
|             | 60                         | 50.30 $\pm$ 2.03                        | 62.28 $\pm$ 0.69               |
|             | 80                         | 49.10 $\pm$ 1.88                        | 48.80 $\pm$ 1.36               |

พบว่า ระดับอุณหภูมิที่ให้ความร้อนแก่ น้ำมันนั้น การทดลองที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตหยาบของสารทั้งสองชนิดน้อยกว่า การทดลองที่ระดับ 40 และ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่ระดับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระดับจุดเดือดของแอลกอฮอล์เมทานอลจึงทำให้เกิดการสูญเสียสารเมทานอลซึ่งเป็นรีเอเจนต์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไปบ้างจึงอาจเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ ถ้าพิจารณาการทดลองที่ 40 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า สมควรที่จะเลือกทดลองที่ 60 องศาเซลเซียส มากกว่า เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.6 ผลการหาสภาวะของอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมันสัตว์ใหม่

| วัตถุดิบ  | อุณหภูมิ<br>(องศาเซลเซียส) | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบ<br>เอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|-----------|----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| น้ำมันหมู | 40                         | 23.60 $\pm$ 1.56                        | 29.00 $\pm$ 0.78               |
|           | 50                         | 46.86 $\pm$ 0.54                        | 63.53 $\pm$ 1.02               |
|           | 60                         | 49.86 $\pm$ 1.34                        | 82.00 $\pm$ 0.97               |

หมายเหตุ \* มีสบู่เกิดขึ้น ทำให้การแยกชั้นระหว่างสารเอสเทอร์กับกลีเซอรินยากมาก

ตามผลการทดลองในตารางที่ 4.6 เป็นผลการทดลองกับตัวอย่างน้ำมันหมู โดยควบคุมสภาวะกรดซัลฟิวริก ที่ปริมาณเท่ากัน ปริมาณน้ำมันคงที่ แต่แปรผันระดับอุณหภูมิที่ 3 ค่า ในเวลาทำการทดลองเท่ากัน โดยทดลองแปรผันอุณหภูมิสูงไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากผลการทดลองของข้อมูลในการทดลองกับน้ำมันพืชจึงปรับการทดลองที่ช่วง 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ระดับอุณหภูมิที่ให้ความร้อนแก่ น้ำมันนั้น ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตหยาบของสารทั้งสองชนิด

อาจไม่ถูกต้องมากนัก เพราะเกิดเป็นชั้นของสบูระหว่างสองชั้นรวมถึงอาจมีส่วนกรดไขมันอิสระที่ตกค้างมากปะปนอยู่ ดังนั้นจากการทดลองนี้ พบว่า สมควรที่จะเลือกทดลองที่ 50 องศาเซลเซียส มากกว่า เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด

#### การศึกษาปัจจัยเวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

เมื่อทดลองแปรผันระยะเวลาที่ให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชใหม่ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการหาสถานะของเวลาที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน  
ในน้ำมันพืชใหม่

| วัตถุดิบ    | เวลา<br>(นาท) | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบ<br>เอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|-------------|---------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| น้ำมันปาล์ม | 30            | 50.76±0.26                              | 63.87±0.09 *                   |
|             | 60            | 52.42±1.00                              | 62.32±1.06                     |
|             | 90            | 49.80±1.07                              | 50.56±0.25                     |

หมายเหตุ \* มีชั้นไขมันชั้นบนเหลืออยู่ ทำให้การแยกชั้นระหว่างสารเอสเทอร์กับกลีเซอรินยากมาก

จากผลการทดลองใช้สภาวะการทดลองที่ 1 โดยทดลองกับน้ำมันปาล์มใหม่ ควบคุมปริมาณเบสไปดัสเซียมไฮดรอกไซด์คงที่ ปริมาณเมทานอลคงที่ อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส แต่แปรผันระยะเวลา ซึ่งพบว่าถ้าใช้การทดลองนาน 30 นาที จะมีการเกิดปฏิกิริยาอาจไม่สมบูรณ์ เพราะตามผลทดลองจะเป็นการแยกชั้นสารผลิตภัณฑ์ทั้งสองออกจากกันได้ไม่ดีนักจึงเป็นเพียงน้ำหนักโดยประมาณเท่านั้น ส่วนเมื่อเพิ่มระยะเวลาให้ความร้อนนานขึ้นถึง 90 นาที กลับให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับการทดลองที่ใช้เวลานาน 60 นาที จึงสมควรทดลองที่สภาวะนี้นานเพียง 60 นาที หรือ 1 ชั่วโมง

สำหรับผลการศึกษาเกี่ยวกับน้ำมันสัตว์โดยทดลองกับกะตือลิสต์กรดซัลฟิวริก ส่วนน้ำหนักน้ำมันอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาควบคุมให้คงที่ ปริมาณเมทานอลคงที่ อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส แต่แปรผันระยะเวลา ได้แสดงผลตามตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการหาสถานะของเวลาที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน  
ในน้ำมันสัตว์ใหม่

| วัตถุดิบ  | เวลา<br>(นาที) | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบ<br>เอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|-----------|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| น้ำมันหมู | 30             | $20.00 \pm 1.22$                        | $30.20 \pm 0.54$               |
|           | 60             | $28.33 \pm 0.77$                        | $65.33 \pm 0.88$               |
|           | 90             | -                                       | -                              |

ผลจากตารางพบว่า ถ้าทดลองนานถึง 90 นาที ปฏิกิริยาจะเกิดนานมากจนสารผลิตภัณฑ์ทั้งสอง  
คำคล้า แยกชั้นแล้วจึงไม่ได้นำมาชั่งน้ำหนัก เพราะในทางปฏิบัติจริงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถ  
นำไปใช้ได้ จึงไม่พิจารณาที่สถานะการทดลองนานถึง 90 นาที ดังนั้นผลตามตารางจึงสมควรที่จะ  
ทดลองที่เวลานาน 60 นาที

การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมันที่ผ่านการ  
ใช้แล้ว โดยทำการทดลองหาผลการใช้กะตะลิสส์เบสเท่านั้น ทั้งนี้ทำการทดลองตามที่มีผู้อ้างอิงไว้ โดย  
ทดลองตามสภาวะที่ 2 ซึ่งใช้เบสโซเดียมไฮดรอกไซด์และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ ทดลองที่อุณหภูมิ  
50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ปรับระยะเวลาในช่วง 60 90 และ 120 นาที เนื่องจาก  
ผู้วิจัยจะศึกษาช่วงเวลาที่ใช้น้ำมันใหม่ทั้งน้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์ให้นานขึ้น ทั้งนี้เพราะน้ำมันที่  
ผ่านการใช้แล้วได้รับสถานะที่รุนแรงเนื่องจากการใช้งาน หรือ การตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานมาก่อนแล้ว  
สำหรับผลการทดลองนี้

ผลการเปรียบเทียบชนิดเบส สามารถตรวจหาปริมาณร้อยละของสารเอสเทอร์ และกลีเซอริน  
ได้ตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบชนิดเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว

| ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบเอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ | $70.37 \pm 1.54$                    | $16.96 \pm 1.14$               |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์    | $51.61 \pm 1.04$                    | $38.03 \pm 1.72$               |

ผลจากตารางที่ 4.9 พบว่า การใช้เบสโปดัสเซียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชันน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วจะได้สารประกอบเอสเทอร์ในปริมาณมากกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และในการทดลองพบว่า การใช้โปดัสเซียมทำการทดลองได้สะดวก แยกชั้นผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับนักวิจัยหลายท่าน<sup>(.....)</sup> และสอดคล้องกับการทดลองกับน้ำมันใหม่ที่เป็นน้ำมันพืช

เมื่อทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อนจึงเลือกใช้เบสโปดัสเซียมไฮดรอกไซด์เท่านั้นมาทำการทดลองผลได้แสดงตามตารางที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลการหาสถานะของเวลาที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชันน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว

| วัตถุดิบ             | เวลา<br>(นาท) | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบ<br>เอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|----------------------|---------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| น้ำมันผ่านการใช้แล้ว | 60            | 72.56 ±2.26                             | 15.97 ±1.09                    |
|                      | 90            | 72.92 ±1.50                             | 14.32 ±1.16                    |
|                      | 120           | 69.80 ±1.07                             | 16.56 ±1.25                    |

เมื่อนำน้ำมันผ่านการใช้แล้วมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชันโดยการใช้สถานะน้ำมัน ปริมาณเมทานอล ปริมาณโปดัสเซียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิที่ทดลองให้คงที่ แต่ใช้เวลาในการทดลองต่างกัน พบว่า ปริมาณสารเอสเทอร์แบบหยานนี้ไม่แตกต่างกันมาก โดยเฉพาะที่การทดลองนาน 60 และ 90 นาที ส่วนการทดลองนาน 120 นาที กลับให้ปริมาณต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ใช้เวลานานมากที่สุด โดยรวมสถานะที่ดีที่สุดที่จะเลือกทดลองก็ควรใช้เพียง 60 นาที จะได้ลดการสิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด

ตารางที่ 4.11 ผลการหาสภาวะของอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว

| วัตถุดิบ                 | อุณหภูมิ<br>(องศาเซลเซียส) | ร้อยละผลได้<br>ของสารประกอบ<br>เอสเทอร์ | ร้อยละผลได้<br>ของกลีเซอรินดิบ |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| น้ำมัน<br>ผ่านการใช้แล้ว | 50                         | 72.29 $\pm$ 1.26                        | 13.87 $\pm$ 0.59               |
|                          | 60                         | 71.92 $\pm$ 1.50                        | 17.32 $\pm$ 1.16               |
|                          | 70                         | 73.80 $\pm$ 1.07                        | 13.56 $\pm$ 1.25               |
|                          | 80                         | 78.86 $\pm$ 1.07                        | 10.37 $\pm$ 1.25               |

หมายเหตุ : ผลลัพธ์ทั้งสองแยกชั้นไม่ชัดเจน

กรณีที่ทดลองเช่นเดิม แต่เปลี่ยนระดับความร้อนที่ใช้ในการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆ โดยควบคุมการทดลองที่ระยะเวลา 60 นาที พบว่า ผลได้ของสารเอสเทอร์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสมีชั้นของไขมันมาปะปนทำให้ ไม่สามารถแยกชั้นของสารเอสเทอร์และกลีเซอรินได้ชัดเจน จึงทำให้ร้อยละของสารทั้งสองค่านี้ เนื่องจาก จุดเดือดของเมทานอลเท่ากับ 64.9 องศาเซลเซียส หากให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่สูงกว่านี้จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาว่าการทดลอง 60 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่น่าสนใจมากที่สุด เนื่องจากสอดคล้องกับผลการวิจัยที่มีรายงานไว้ และตามผลที่ทดลองนี้ ผลลัพธ์ร่วมคือ กลีเซอรินก็ได้มาในปริมาณมากที่สุด

#### 4.2 ผลการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในตัวอย่างกากของเสียจากโรงงานผลิตภัณฑ์นม

##### 4.2.1 ผลการแยกน้ำมันออกจากกากของเสีย

ตามที่ได้ทดลองสกัดน้ำมันที่ตกค้างในกากของเสีย 2 วิธี คือสกัดแบบไม่ต่อเนื่อง และแบบต่อเนื่อง พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้ ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ปริมาณน้ำมันที่แยกได้จากกากของเสีย 2 วิธี

| วิธีการสกัดน้ำมัน | การเก็บตัวอย่าง | ปริมาณเฉลี่ยร้อยละ<br>น้ำมันที่ได้ |
|-------------------|-----------------|------------------------------------|
| แบบไม่ต่อเนื่อง   | ครั้งที่ 1      | 38.07± 2.66                        |
|                   | ครั้งที่ 2      | 10.26± 5.26                        |
|                   | ครั้งที่ 3      | 30.51± 3.16                        |
|                   | ครั้งที่ 4      | 48.51± 2.16                        |
| แบบต่อเนื่อง      | ครั้งที่ 1      | 39.07± 1.16                        |
|                   | ครั้งที่ 2      | 12.26± 5.26                        |
|                   | ครั้งที่ 3      | 33.51± 3.16                        |
|                   | ครั้งที่ 4      | 49.91± 2.10                        |

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำในแต่ละกลุ่มตัวอย่างประมาณ 10 ครั้ง

เมื่อนำกากของเสียซึ่งเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง ครั้งที่ 1 3 และ 4 เป็นการเก็บตัวอย่างกากจากโรงงานผลิตไอศกรีมครีโมของบริษัทจอมธนา อ.ลาดหลุมแก้ว จ. ปทุมธานี ครั้งที่ 2 เป็นกากที่เก็บจากโรงงานผลิตน้ำมันพร้อมดื่ม อ.กำแพงแสน จ. นครปฐม จากการเก็บกากของเสียทั้งสองแหล่งพบว่า แต่ละแหล่งให้น้ำมันที่ตกค้างแตกต่างกัน จากการที่คณะผู้วิจัยเดินทางไปเก็บตัวอย่างซึ่งทางโรงงานให้ความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีในการเข้าไปถึงระบบ บำบัดน้ำเสียของโรงงานซึ่งผู้วิจัยได้ตัดตัวอย่างจากระบบมาทดลอง จากการสังเกตพบว่า โรงงานที่ตั้งมานานจะมีกากของเสียมากและเข้มข้นหนืดมากกว่าโรงงานที่ตั้งใหม่ ดังนั้นกากของเสียที่ได้ทั้งสองโรงงาน จะให้ปริมาณน้ำมันตกค้างแตกต่างกัน โดยโรงงานผลิตไอศกรีมครีโมจะให้น้ำมันตกค้างมากกว่ามาก หนึ่งโรงงานผลิตน้ำมันพร้อมดื่มของ จ. นครปฐม เพิ่งย้ายที่ทำการของโรงงานไปเปิดใหม่ ณ. อำเภอกำแพงแสน ประมาณ 2 ปี เมื่อคณะผู้วิจัยเดินทางไปเก็บตัวอย่างซึ่งทางโรงงานให้ความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีในการเข้าไปถึงระบบ บำบัดน้ำเสียของโรงงานซึ่งผู้วิจัยได้ตัดตัวอย่างจากระบบมาทดลอง จากการสังเกตพบว่า โรงงานที่ตั้งมานานจะมีกากของเสียมากและเข้มข้นหนืดมากกว่าโรงงานที่ตั้งใหม่ ดังนั้นกากของเสียที่ได้ทั้งสองโรงงาน จะให้ปริมาณน้ำมันตกค้างแตกต่างกัน โดยโรงงานผลิตไอศกรีมครีโมจะให้น้ำมันตกค้างมากกว่ามาก แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันที่แยกจากกากของเสียของโรงงานไอศกรีมครีโมทั้ง 3 ครั้ง ซึ่งเป็นแหล่งเดียวกัน ก็

ยังให้ปริมาณน้ำมันแตกต่างกัน จากการทดลองนี้ทำให้ได้ข้อมูลว่า ตัวอย่างที่นำมาทดลองเป็นกากของเสียบ จะสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้แน่นอน แต่ปริมาณที่แยกได้แตกต่างกันขึ้นกับสถานที่ และระยะเวลา

สำหรับในการทดลองตอนนี้สามารถหาปริมาณโดยเฉลี่ยของน้ำมันที่สกัดได้จากวิธีการทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก ถือว่าในแต่ละครั้งปริมาณน้ำมันที่ได้จากการแยกทั้งสองวิธีการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เฉลี่ยแยกน้ำมันได้ประมาณ 31.84 – 33.94 % จากการทดลองนี้ทำให้เห็นว่า การทดลองสกัดแบบต่อเนื่องจะให้ปริมาณน้ำมันมากกว่าการสกัดด้วยวิธีการแบบไม่ต่อเนื่องเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม แม้จะทำการสกัดแบบไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยก็ได้ทำการสกัดกากของเสียบซ้ำประมาณ 3 ครั้ง ซึ่งการสกัดโดยรวมใช้เวลาไม่นาน แต่การทดลองสกัดแบบต่อเนื่องด้วยการใช้ชุดสกัดแบบsoxhlet ทำการทดลองนาน 4 ชั่วโมง ซึ่งถ้าคิดถึงการคุ้มทุนแล้วก็ควรสกัดแบบไม่ต่อเนื่อง เพราะจากผลการแยกน้ำมันที่ได้ สามารถจะแยกน้ำมันออกมาได้มากใกล้เคียงกันกับการใช้ชุดเครื่องมือสกัด

#### ผลการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

จากการสกัดน้ำมันตกค้างออกมาจากกากตามข้อ 4.2.1 จึงนำไปหาค่าปริมาณกรดไขมันอิสระพบว่า น้ำมันจากกากของเสียบมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณ 4.98 – 5.01 % ซึ่งใกล้เคียงกับค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่มาจากสัตว์ ดังนั้นจึงสามารถจะทดลองทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันหมู แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ได้ใช้น้ำมันนี้ไปทดลองด้วยการใช้เบสเป็นคะตะลิสต์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นไข มากในชั้นของสารเอสเทอร์ แต่สามารถแยกเป็นกลีเซอรินได้ แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.13 เมื่อ นำน้ำมันจากกากของเสียบไปทดลองทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากการทดลองกับน้ำมันสัตว์มาก่อนจึงนำสถานะที่เหมาะสมมาใช้ทดลองกับน้ำมันจากกากของเสียบ โดยทำการทดลองใช้น้ำมัน 15 กรัม กรด 3 มิลลิลิตร เมทานอล 45 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ปั่นตลอดเวลา ได้ผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันจากกากของเสียบ

| ชนิดคะตะลิสต์        | ร้อยละผลได้ของสารประกอบเอสเทอร์ | ร้อยละผลได้ของกลีเซอรินดิบ |
|----------------------|---------------------------------|----------------------------|
| โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ | 43.29 ± 1.23                    | 54.66 ± 0.19               |
| กรดซัลฟิวริก         | 42.43 ± 1.50                    | 58.62 ± 1.23               |
| เอนไซม์ไลเปส         | -                               | -                          |

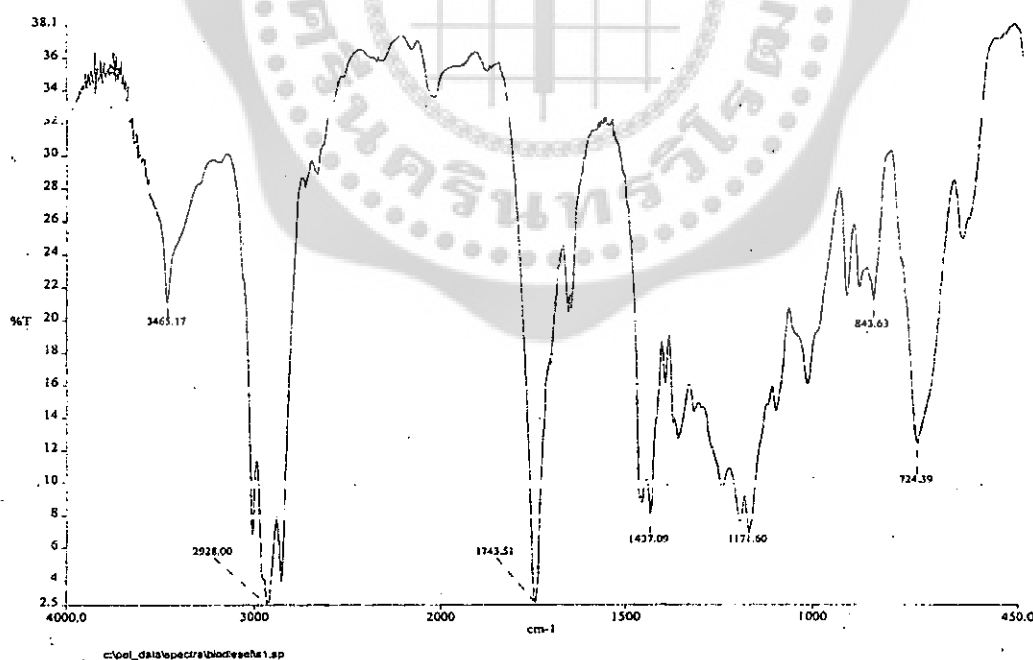
สำหรับการใช้เอนไซม์ไลเปสมาเป็นคะตะลิสต์ โดยเติมเอนไซม์ไลเปส 1% ของน้ำหนักน้ำมัน ผสมกับเมทานอลในอัตราส่วน 1 : 3 เพื่อให้เมทานอลมากเกินไปในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งทำการกวนเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง<sup>(๙๙)</sup> พบว่า ไม่เกิดการแยกชั้นชัดเจน แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาน้อยมากหรือไม่เกิดเลย ซึ่งอาจต้องทำการกวนต่อเนื่องไปถึง 24 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทดลองในการทดลองนี้

#### 4.3 การศึกษาการแยกและทำให้สารเอสเทอร์และกลีเซอรินบริสุทธิ์

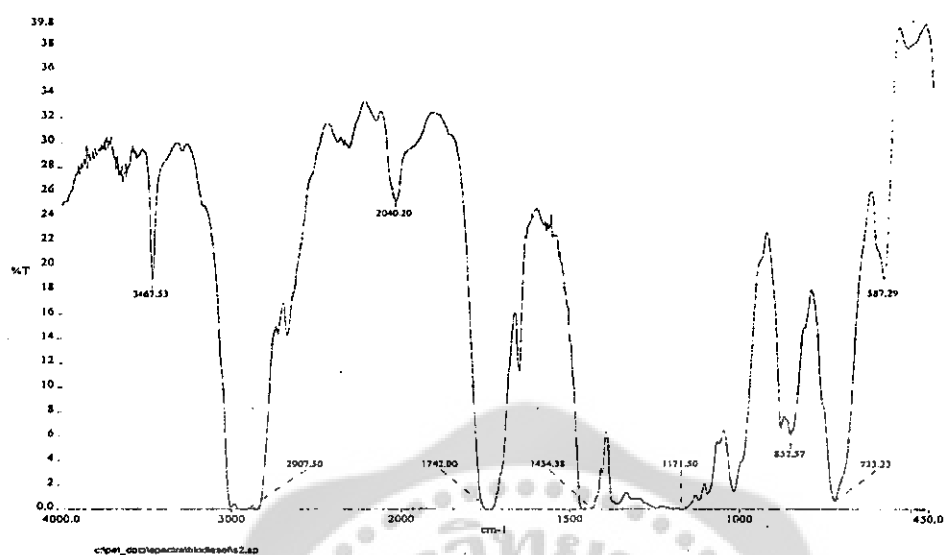
ในการทดลองนี้ เมื่อทำการแยกชั้นของสารประกอบเอสเทอร์ออกจากกลีเซอริน จะได้นำผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งผลการทดลองได้ทำการทดลองผ่านขั้นตอนต่างๆ โดยผลการทดลอง

##### 4.3.1 ผลการแยกและทำให้สารเอสเทอร์บริสุทธิ์

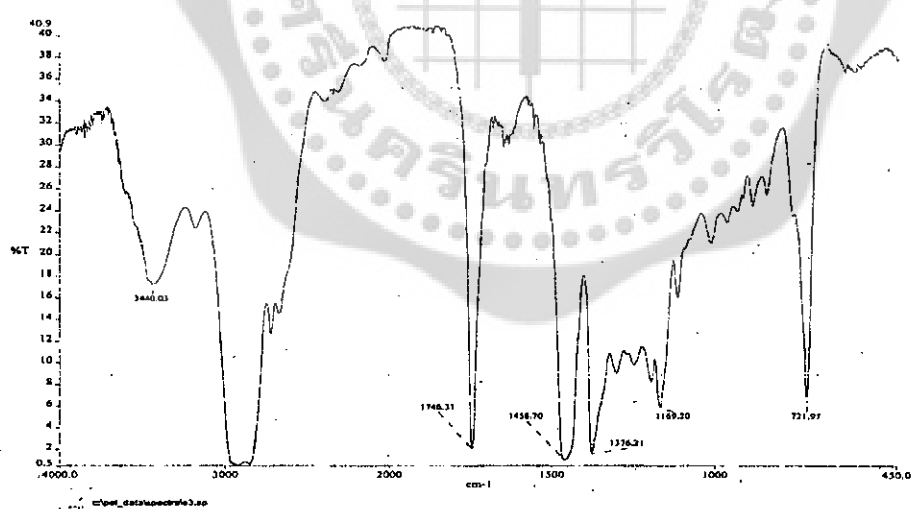
ผลการบันทึกอินฟราเรดสเปกตรัมและนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัมของสารเอสเทอร์ที่แยกได้ เปรียบเทียบสเปกตรัมสารมาตรฐานตามแสดงในภาพที่ 4.1- 4.5



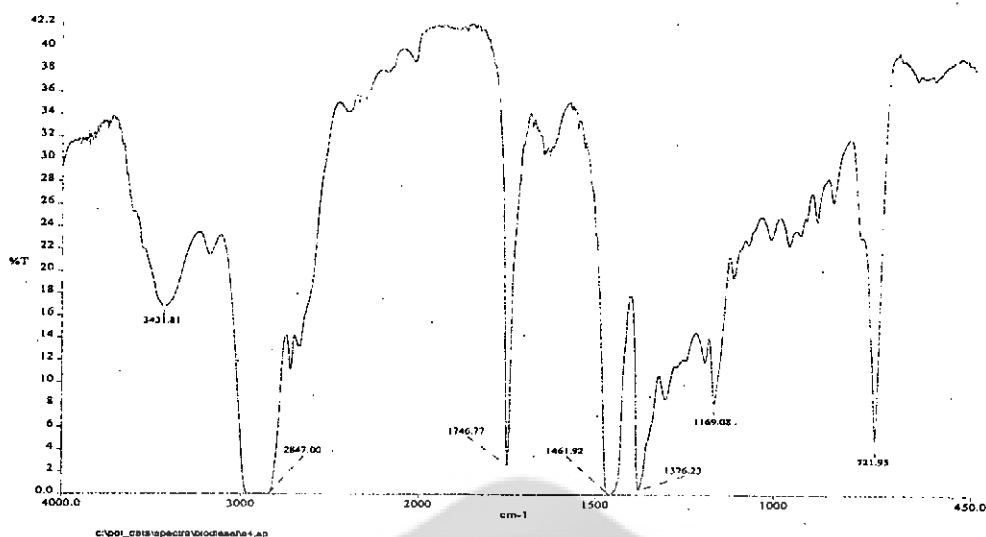
ภาพที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเมทิลลิโนเลอเตมาตรฐาน



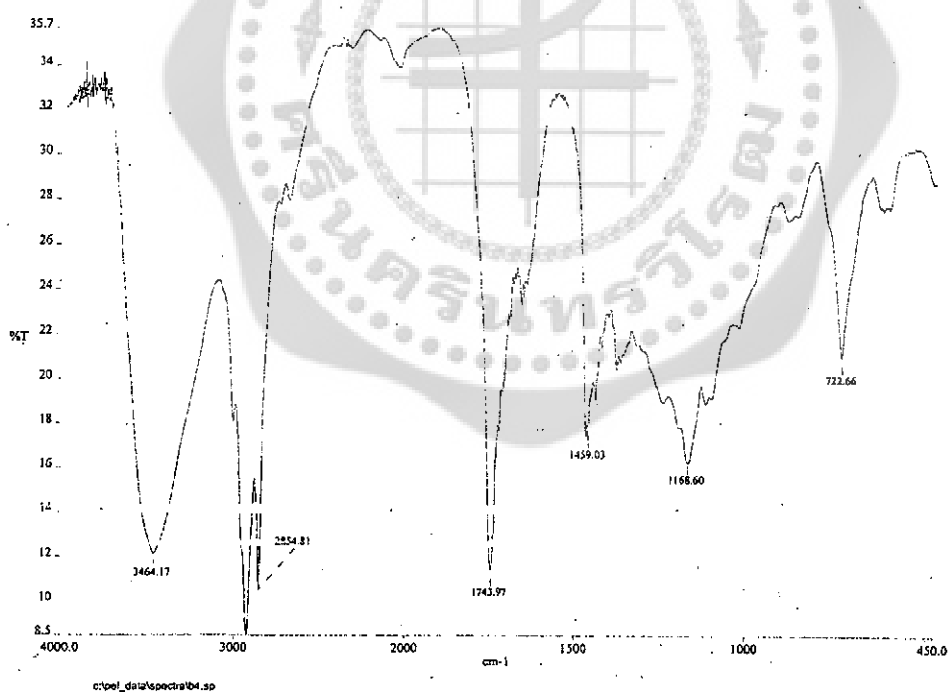
ภาพที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเมทิลโอเลตมาตรฐาน



ภาพที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของเมทิลปาล์มมิเตตมาตรฐาน



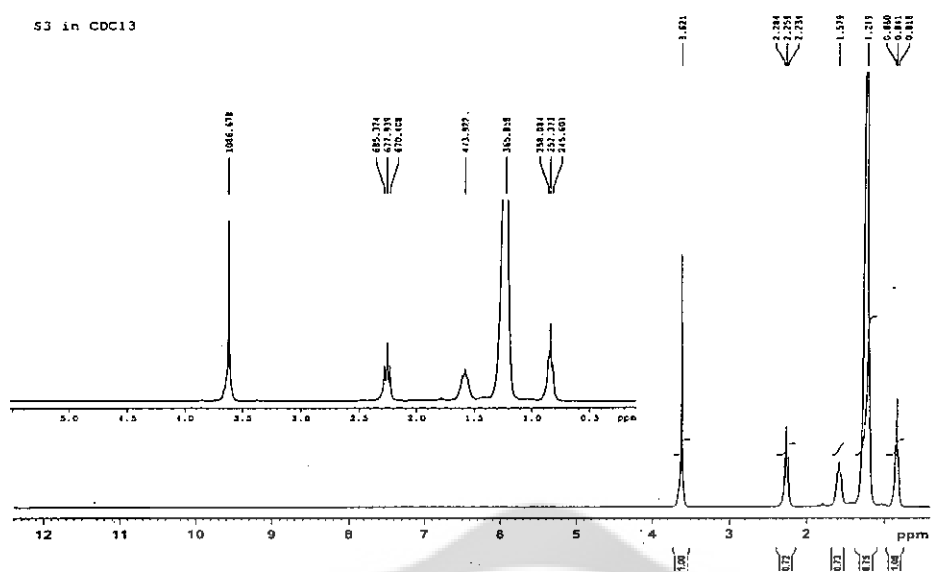
ภาพที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของเมทิลสแตนด์มาตรฐาน



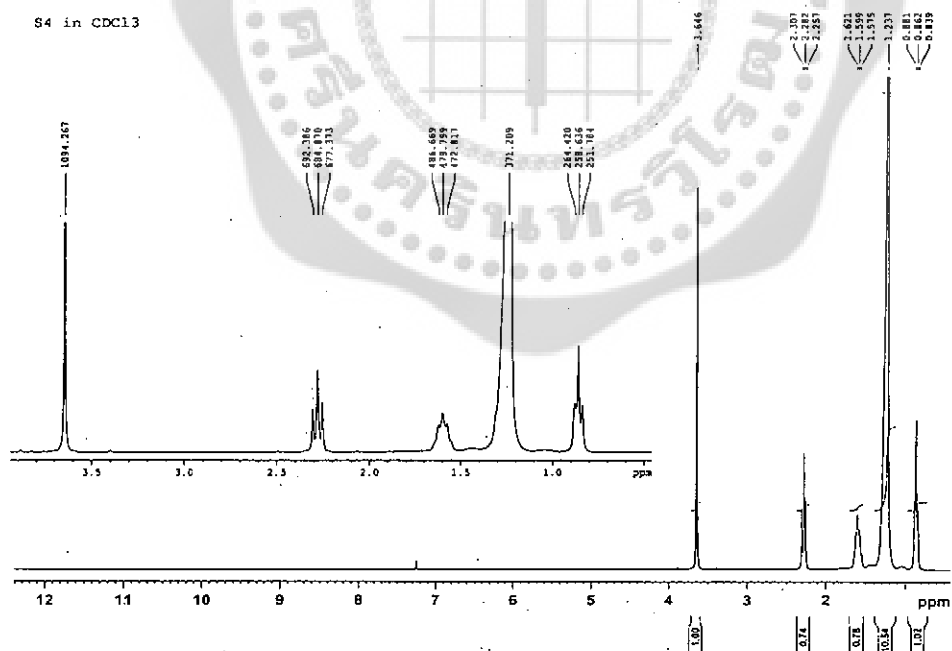
ภาพที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบเอสเทอร์ตัวอย่าง

ผลจากการเปรียบเทียบสเปกตรัมของสารประกอบเอสเทอร์กับสเปกตรัมมาตรฐาน จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์ที่สำคัญๆใกล้เคียงกัน เช่นที่ช่วงความยาวคลื่น ประมาณ  $3000\text{ cm}^{-1}$  และ ช่วง  $1700\text{ cm}^{-1}$  แสดงว่าการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันที่แยกได้จากกากของเสียของโรงผลิต

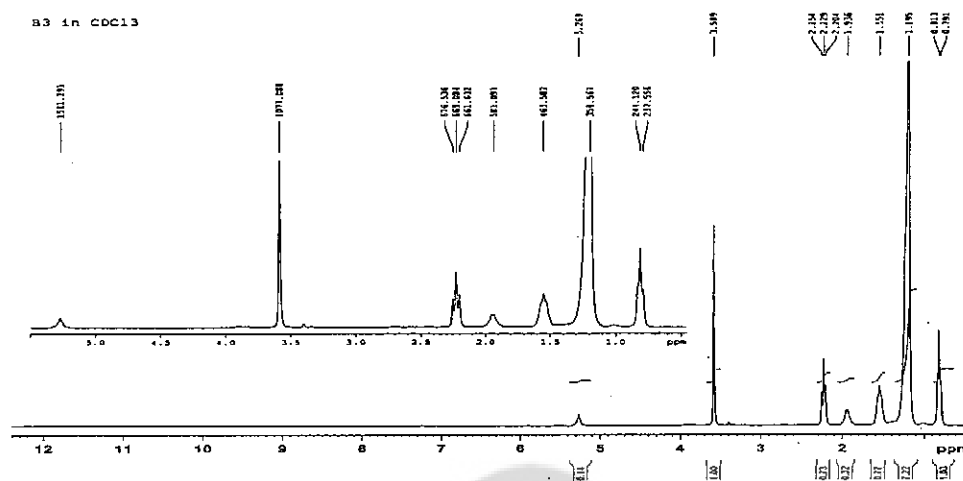




ภาพที่ 4.8 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัมของเมทิลปาล์มมิเตมาตรฐาน



ภาพที่ 4.9 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัมของเมทิลสเตียเรตมาตรฐาน



ภาพที่ 4.10 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัมของสารประกอบเอสเทอร์ที่เตรียมได้

ผลจากการเปรียบเทียบนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัมของสารประกอบเอสเทอร์กับสเปกตรัมมาตรฐาน จะเห็นว่ามีความถี่ที่สำคัญต่างๆ ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะที่ตำแหน่งเคมีคัลชิฟประมาณ 5.6 ppm เป็นตำแหน่งแสดงการเกิดสารประกอบเอสเทอร์ แสดงว่าการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันที่แยกได้จากกากของเสียของโรงผลิตผลิตภัณฑ์นม เกิดปฏิกิริยาได้จริง และเปลี่ยนเป็นสารประกอบเอสเทอร์จริงแน่นอน

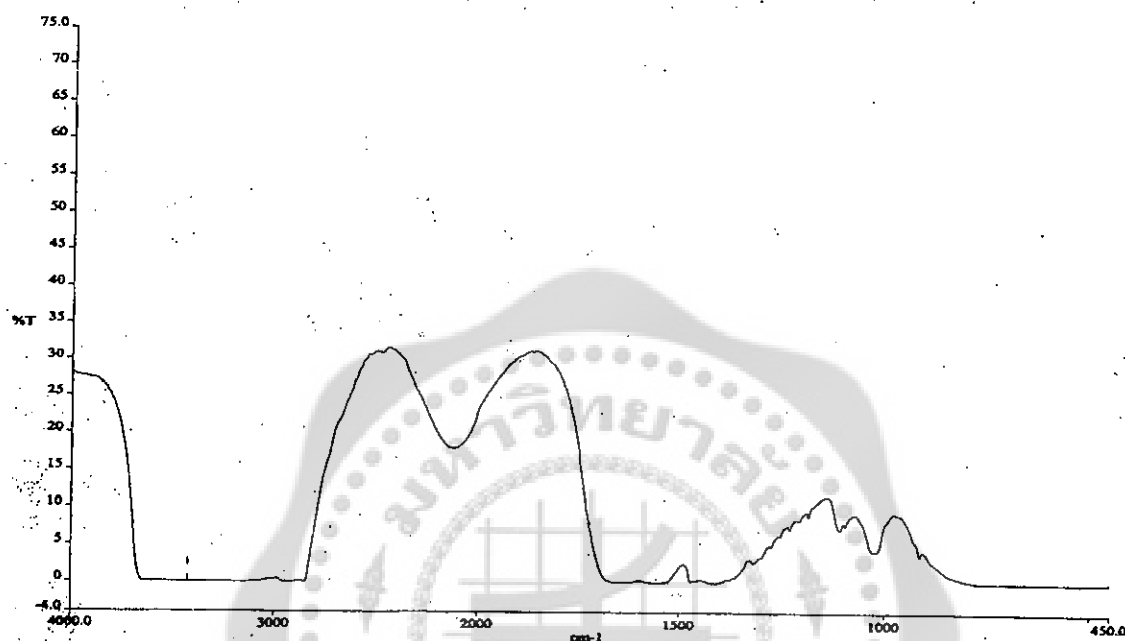
สำหรับผลการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ว่าภายในสารนี้ประกอบด้วยเอสเทอร์อะไรบ้างนั้น จากผลการตรวจสอบด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ได้ผลตามแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ปริมาณของสารเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดในสารประกอบเอสเทอร์ตัวอย่าง

| ชนิดสารเอสเทอร์ | ร้อยละ |
|-----------------|--------|
| เมทิลปาล์มไมเตด | 28.31  |
| เมทิลสเตียเรต   | 22.66  |
| เมทิลไมริสเตต   | 6.67   |
| เมทิลลิโนลีเอต  | 3.57   |

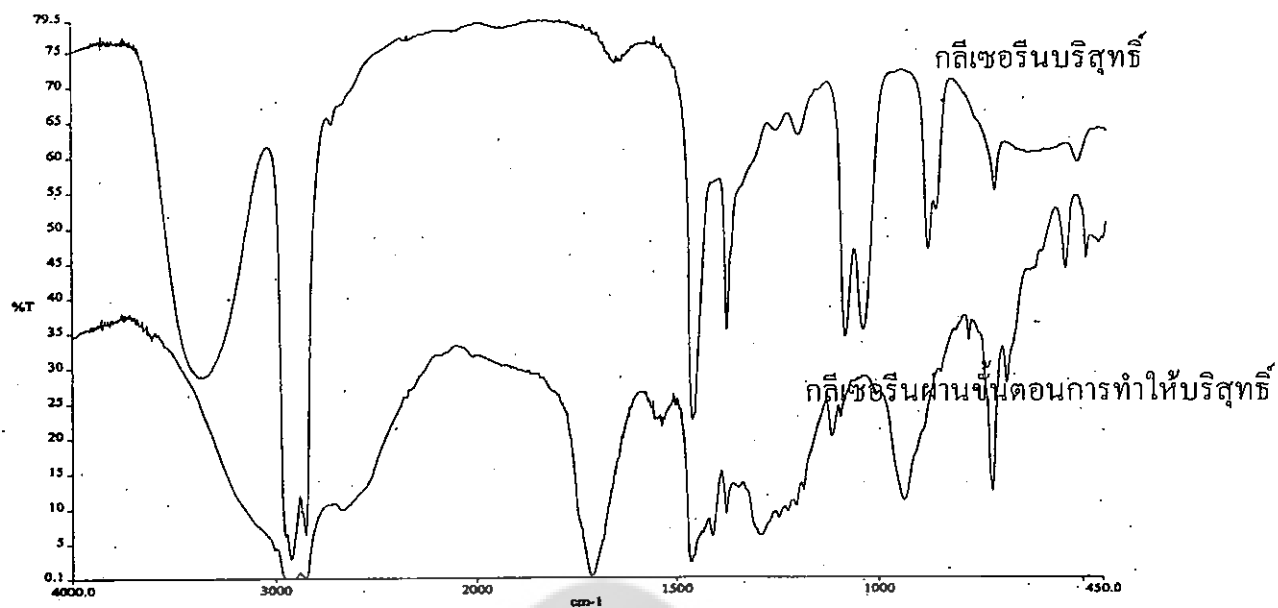
#### 4.3.2 ผลการแยกและทำให้กลีเซอรินบริสุทธิ์

ในส่วนกลีเซอริน ได้ผลการทดลองที่แสดงถึงการทดลองผ่านกระบวนการแต่ละขั้น แล้วกลีเซอรินมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น ทั้งนี้ได้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินตามวิธีมาตรฐาน และบันทึกอินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินที่แยกได้ เปรียบเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐานทุกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 4.11

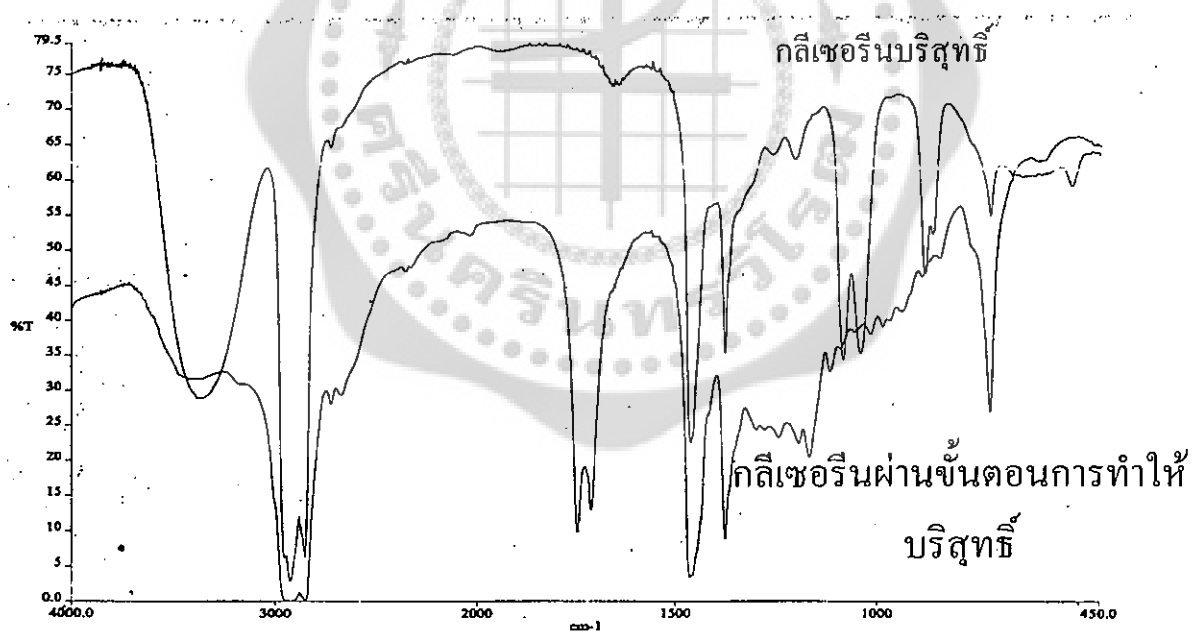


ภาพที่ 4.11 กลีเซอรินดิบภายหลังการแยกออกจากสารประกอบเอสเทอร์

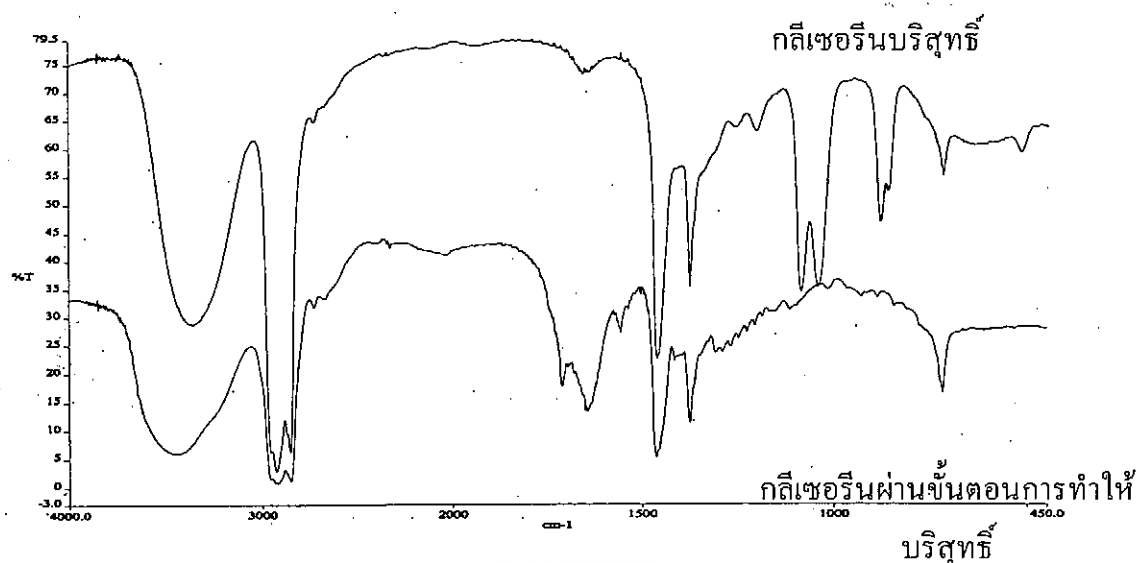
เมื่อแยกกลีเซอรินดิบออกจากสารประกอบเอสเทอร์ นำกลีเซอรินที่แยกได้ไปบันทึกสเปกตรัมตามที่แสดงในรูปที่ 4.11 จะเห็นว่า กลีเซอรินค่อนข้างทึบแสงมากเนื่องจากยังมีสิ่งเจือปนต่างๆในกลีเซอรินตกค้างมาก เมื่อนำไปผ่านขั้นตอนการระเหยเอทานอลที่ตกค้างอยู่ออกไป และทำให้บริสุทธิ์ตามขั้นตอนที่ 2 คือ การปรับให้กลีเซอรินปั่นกลางและระเหยเฮกเซนออกไป ขั้นสุดท้ายคือ การกำจัดสีและกลิ่นด้วยถ่านกัมมันต์ แต่ละขั้นจะนำกลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการไป บันทึกสเปกตรัมเพื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกลีเซอริน ได้ผลตามภาพที่ 4.12 - 4.14



ภาพที่ 4.12 กลีเซอรินที่ผ่านการระเหยเอทานอลออก



ภาพที่ 4.13 กลีเซอรินหลังการปรับให้เป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน  
เปรียบเทียบกับกลีเซอรินบริสุทธิ์



ภาพที่ 4. 14 กลีเซอรินหลังการกำจัดสีและกลั่นด้วยถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิห้องเปรียบเทียบกับกลีเซอรินบริสุทธิ์

เมื่อนำกลีเซอรินที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณเนื้อกลีเซอรินที่บริสุทธิ์ด้วยวิธีการไทเทรต พบว่ากลีเซอรินที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น ตามที่แสดงผลในตารางที่ 4.15 และ 4.16 ตารางที่ 4.15 ค่าร้อยละผลผลิตและความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

| สถานะของกลีเซอรินต่างๆ           | น้ำหนักเริ่มต้น<br>(กรัม) | น้ำหนักกลีเซอริน<br>(กรัม) | ร้อยละผลผลิต | ร้อยละความบริสุทธิ์ |
|----------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|---------------------|
| กลีเซอรินดิบ                     | 50                        | 33.99±0.09                 | 67.91±0.59   | 58.27± 0.52         |
| หลังการระเหยเมทานอล              | 50                        | 23.34±0.17                 | 46.68±0.17   | 63.34 ± 0.43        |
| ปรับให้เป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน | 25                        | 15.64±0.06                 | 62.57±0.24   | 82.34± 0.21         |
| กำจัดสีกลั่นด้วยถ่านกัมมันต์     | 10                        | 5.30±0.06                  | 53.06±0.65   | 91.88± 0.34         |
| กำจัดสีกลั่นด้วยดินเบนทอนไนต์    | 10                        | 6.66±0.05                  | 66.60±0.55   | 88.90± 0.38         |

หมายเหตุ จำนวนซ้ำการทดลองแต่ละสถานะเท่ากับ 5

ตารางที่ 4.16 ค่าร้อยละผลผลิตและความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้  $H_2SO_4$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

| สถานะของกลีเซอรินต่างๆ           | น้ำหนัก<br>เริ่มต้น<br>(กรัม) | น้ำหนัก<br>กลีเซอริน<br>(กรัม) | ร้อยละ<br>ผลผลิต | ร้อยละความ<br>บริสุทธิ์ |
|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|
| กลีเซอรินดิบ                     | 50                            | 19.32±0.37                     | 38.64±0.75       | 48.27± 0.52             |
| หลังการระเหยเมทานอล              | 50                            | 22.12±0.20                     | 56.25±0.41       | 60.34 ± 0.45            |
| ปรับให้เป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน | 25                            | 12.64±0.13                     | 50.57±0.54       | 82.14± 0.22             |
| กำจัดสีกลิ่นด้วยถ่านกัมมันต์     | 10                            | 5.33±0.05                      | 53.30±0.52       | 91.80± 0.36             |
| กำจัดสีกลิ่นด้วยดินเบนทอไนต์     | 10                            | 6.59±0.03                      | 65.93±0.37       | 89.02± 0.32             |

หมายเหตุ จำนวนซ้ำการทดลองแต่ละสถานะเท่ากับ 5

จากตารางแสดงผลการทำกลีเซอรินด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ด้วยการใช้คะตะลิสต์เบส และ กรด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการใช้คะตะลิสต์ทั้งสองชนิด ทำให้ได้กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์ในระดับใกล้เคียงกันคือประมาณร้อยละ 92 ส่วนผลการกำจัดสีและกลิ่นโดยใช้ดินเบนทอไนต์ที่อุณหภูมิห้องทำให้ได้กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์ในระดับใกล้เคียงกันอีกเช่นกันคือประมาณร้อยละ 89 เมื่อทดลองศึกษาผลการให้ความร้อนเพื่อกระตุ้นพื้นที่ผิวของวัสดุทั้งสอง ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าได้ผลตามตารางที่ 4.17

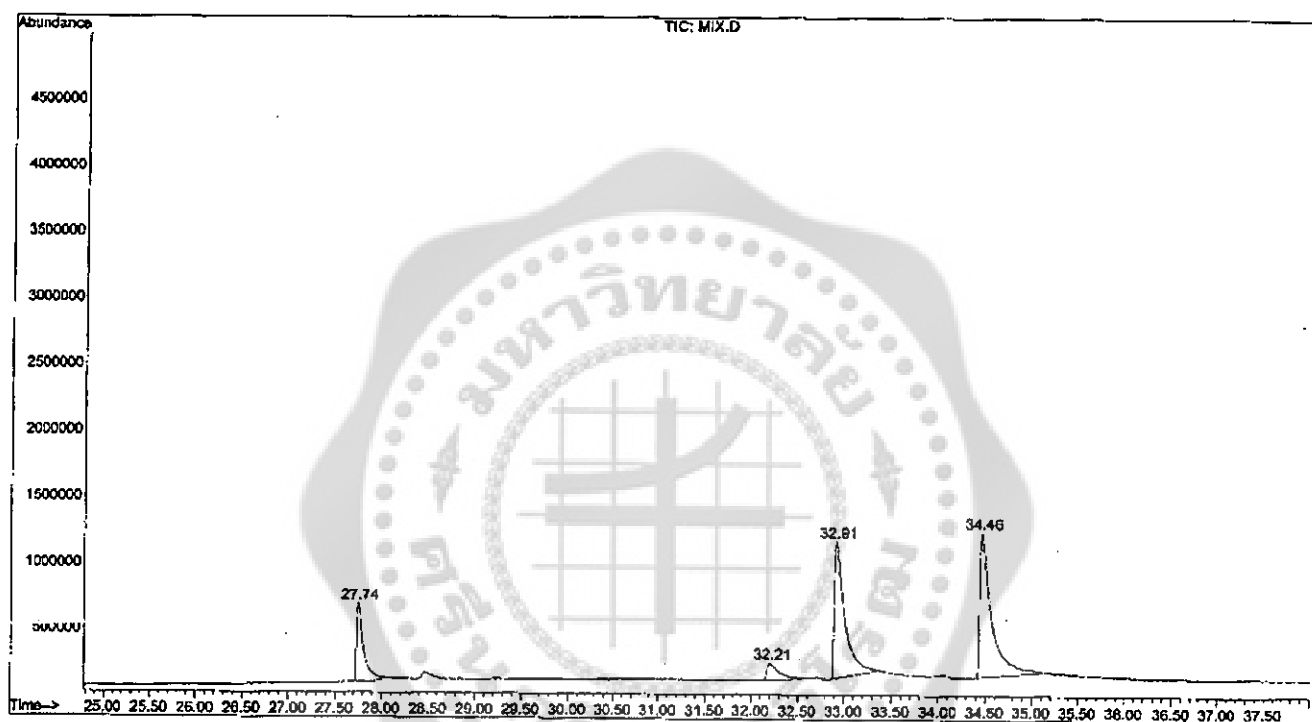
ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบผลการกำจัดสีกลิ่นของถ่านกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ที่อุณหภูมิต่างๆ

| อุณหภูมิ<br>(องศาเซลเซียส) | ร้อยละความบริสุทธิ์ เมื่อ<br>ใช้ถ่านกัมมันต์กำจัดสีกลิ่น | ร้อยละความบริสุทธิ์ เมื่อใช้<br>ดินเบนทอไนต์กำจัดสีกลิ่น |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| อุณหภูมิห้อง               | 91.88± 0.34                                              | 88.90± 0.38                                              |
| 40                         | 96.40± 0.43                                              | 94.27± 0.25                                              |
| 50                         | 95.80± 0.11                                              | 94.05± 0.15                                              |
| 60                         | 96.27± 0.16                                              | 93.27± 0.06                                              |

จากผลการทดลองในตารางจะเห็นว่า การนำวัสดุทั้งสองไปอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้การทำงานของสารดูดซับทั้งสองดีขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้สารทั้งสองที่อุณหภูมิห้อง แต่เมื่อให้ความร้อนสูงประมาณ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของสารทั้งสองในการดูดซับไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นเพื่อสะดวก ควรอบวัสดุทั้งสอง เพียง 40 องศาเซลเซียส

ผลการตรวจสอบหากรดไขมันอิสระที่ตกค้างในกลีเซอรินที่บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี ซึ่งได้แสดงโครมาโทแกรมของกรดไขมันอิสระมาตรฐานในภาพที่ 4.15 พบว่า ไม่มีกรดไขมันอิสระตกค้างเลย

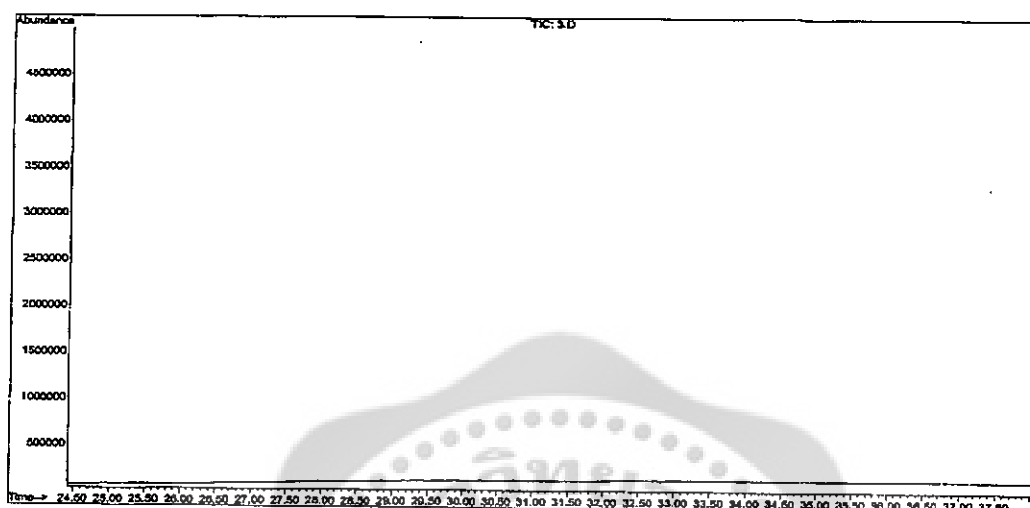
File : D:\51\_0042\MIX.D  
 Operator : p  
 Acquired : 23 May 2008 17:12 using AcqMethod 51\_0042  
 Instrument : Instrumen  
 Sample Name: mix  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1



ภาพที่ 4.15 โครมาโทแกรมของกรดไขมันอิสระมาตรฐาน

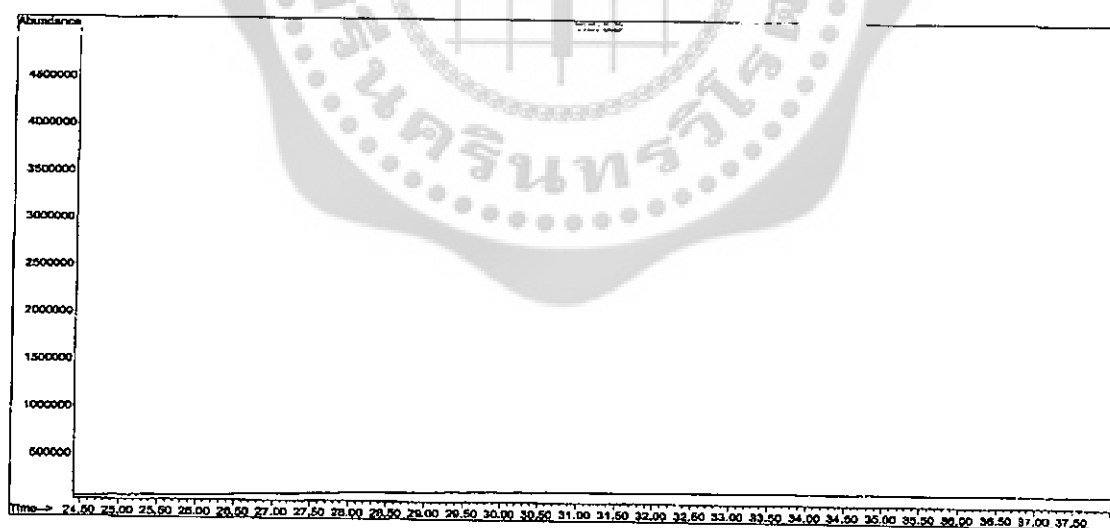
กรดไขมันมาตรฐานทั้ง 4 ชนิดได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และ กรดลิโนลิก มีตำแหน่งพีคที่ปรากฏที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน โดยจะแสดงพีคที่เวลา 27.74 32.21 32.91 และ 34.48 นาที ตามลำดับ ผลการบันทึกโครมาโทแกรมของกลีเซอรินที่เตรียมจากสภาวะอะเซตัสเบสและกรด โดยใช้สารดูดซับกำจัดสีกลืนเป็นถ่านกัมมันต์และดินเบนทอนต์ ได้ผลตามแสดงในภาพที่ 4.16-4.19

File : D:\51\_0042\3.D  
 Operator : p  
 Acquired : 23 May 2008 17:54 using AcqMethod 51\_0042  
 Instrument : Instrumen  
 Sample Name: Sample  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1



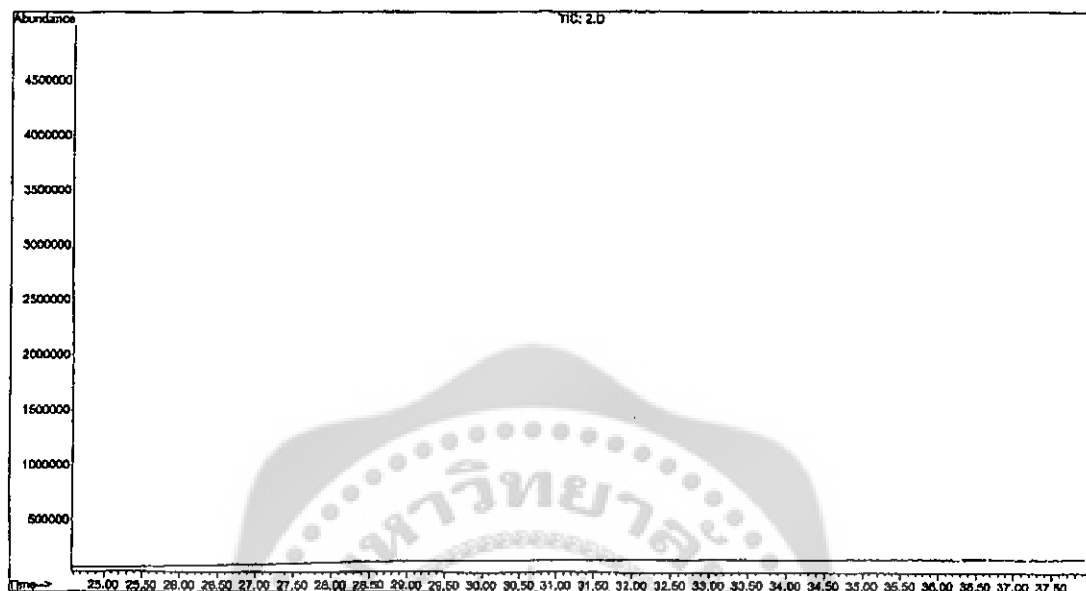
ภาพที่ 4.16 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่มี  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เป็น  
 คະตะลิสต์ และผ่านการกำจัดสีด้วยถ่านกัมมันต์

File : D:\51\_0042\3.D  
 Operator : p  
 Acquired : 23 May 2008 17:54 using AcqMethod 51\_0042  
 Instrument : Instrumen  
 Sample Name: Sample  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1



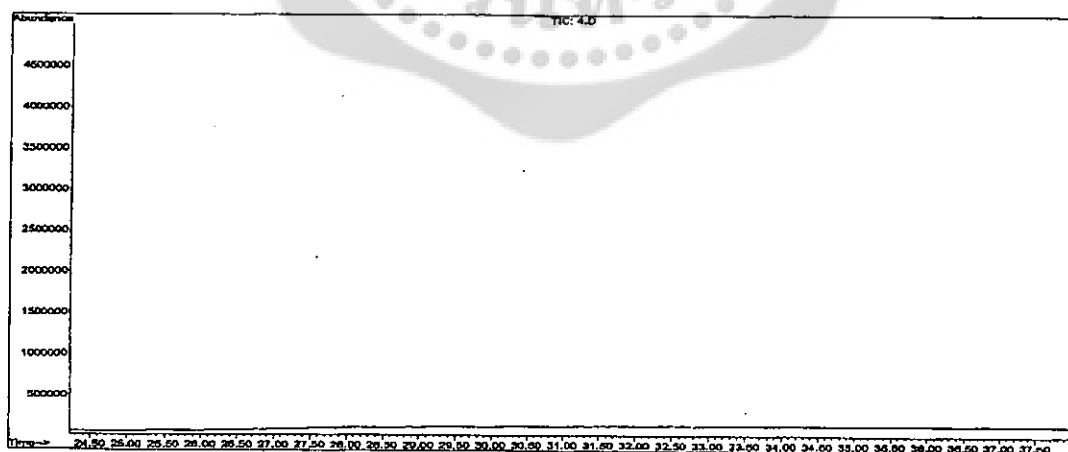
ภาพที่ 4.17 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่มี  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เป็น  
 คະตะลิสต์ และผ่านการกำจัดสีด้วยดินเบนทอนไนต์

File : D:\51\_0042\2.D  
 Operator : p  
 Acquired : 23 May 2008 17:54 using AcqMethod 51\_0042  
 Instrument : Instrumen  
 Sample Name: Sample  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1



ภาพที่ 4.18 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่มี KOH เป็น  
 คะตะลิสต์ และผ่านการกำจัดสีด้วยถ่านกัมมันต์

File : D:\51\_0042\4.D  
 Operator : p  
 Acquired : 23 May 2008 17:54 using AcqMethod 51\_0042  
 Instrument : Instrumen  
 Sample Name: Sample  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1



ภาพที่ 4.19 โครมาโทแกรมของกลีเซอรินจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่มี KOH เป็น  
 คะตะลิสต์ และผ่านการกำจัดสีด้วยดินเบนทอนไนด์

ผลจากการทดลองด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ในการตรวจหากรดที่ตกค้างในกลีเซอรินที่แยกได้จากสถานะต่างๆ พบว่าไม่ปรากฏฟีดของกรดไขมันชนิดใดๆในกลีเซอรินที่ผลิตได้ในครั้งนี้



## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### สรุป อภิปรายผล

1. จากผลการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในตัวอย่างน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ใหม่และน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว พบว่า น้ำมันแต่ละชนิดมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์สารประกอบเอสเทอร์ และกลีเซอรินได้ ตามผลการทดลองนั้น น้ำมันปาล์มให้ผลผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นสารทั้งสอง คือ สารเอสเทอร์และกลีเซอริน แบบประมาณ มากที่สุด ส่วนน้ำมันสัตว์จะเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันให้สารเอสเทอร์และกลีเซอรินคิบน้อยที่สุด น้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันพืช เมื่อนำไปทำปฏิกิริยานี้จะให้สารทั้งสองมากกว่าน้ำมันสัตว์ การที่เป็นเช่นนี้เพราะน้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าในน้ำมันจากสัตว์ จึงสามารถนำมาทำปฏิกิริยาเคมีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ง่ายกว่า น้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระมากจะสูญเสียกรดไขมันที่จะทำปฏิกิริยาไปส่วนหนึ่ง เนื่องจากในการทดลองกรดไขมันอิสระสูงจะก่อให้เกิดปัญหาการแยกชั้น ของกรดไขมันพวกนี้ ภายหลังทำปฏิกิริยาเคมีแล้ว แต่อย่างไรก็ตามการทดลองครั้งนี้ ทำให้เห็นว่า น้ำมันจากสัตว์สามารถนำมาผลิตเป็นสารเอสเทอร์และกลีเซอรินได้ แต่ได้ผลผลิตหยาบในขั้นต้นนี้ต่ำกว่านั่นเอง

2. จากการศึกษาปัจจัยชนิดแอลกอฮอล์พบว่า ที่การทดลองสภาวะเดียวกัน ถ้าทำการแปรผันชนิดแอลกอฮอล์เป็น เมทิลแอลกอฮอล์ เอทิลแอลกอฮอล์ และ นอร์มัล-บิวทานอล ทำให้ทราบว่า การใช้เมทิลแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนี้ มีแนวโน้มเกิดเป็นกลีเซอรินคิบดีมากที่สุด ในขณะที่เดียวกันถ้าใช้นอร์มัล-บิวทานอลจะทำให้โอกาสเกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการเกิดเป็นสารไบโอดีเซล ยังอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลทั่วไปจึง นิยมใช้เมทิลแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาเพราะการใช้แอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ จะมีผลต่อลักษณะกายภาพของสารประกอบเอสเทอร์ มีลักษณะขุ่นหนืดมากขึ้น

3.จากผล การศึกษาปัจจัยชนิดคะตะลิสต์ ตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 3 ประเภท คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ ในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม ได้ร้อยละผลได้ของสารประกอบเอสเทอร์และกลีเซอรินต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่ การใช้เบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน เป็นสบู่ทำให้การแยกชั้นของสารประกอบเอสเทอร์กับชั้นกลีเซอรินได้ยากไม่ชัดเจน เทกับการใช้ โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นคะตะลิสต์ แต่ถ้าทำการทดลองปริมาณมากจะนิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นคะตะลิสต์มากกว่า เนื่องจากเป็นเบสที่จัดหาได้ง่าย ส่วนการศึกษาคะตะลิสต์ประเภทกรดกับตัวอย่างน้ำมันพืชใหม่ พบว่าชั้นของผลิตภัณฑ์ไม่แยกชั้น และน้ำมันมีสีดำ

ค้ำ จึงไม่สามารถจะแยกเป็นผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนน้ำมันจากสัตว์ได้ผลการทดลองที่ดีและ ควรจะใช้กะ ตะลิสส์กรดกับน้ำมันจากสัตว์ และผลการศึกษาจะตะลิสส์เอนไซม์ไลเปส นั้นในการเกิดปฏิกิริยาใช้ เวลานานมากกว่า 18 ชั่วโมง ซึ่งนานมาก ประกอบกับเอนไซม์มีราคาสูง จึงจะทดลองโดยตรงกับกาก ของเสียซึ่งเป็นตัวอย่างจริง

4. ผลการศึกษาปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยนำ น้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันหมูมาทดลองตามสภาวะที่ 1 โดยในน้ำมันพืชจะใช้โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น คตะลิสส์ ส่วนน้ำมันหมูจะใช้กรดซัลฟิวริกเป็นคตะลิสส์ ทำการทดลองปรับหาอุณหภูมิที่เหมาะสม ในการทำปฏิกิริยา โดยควบคุมคตะลิสส์ปริมาณเท่ากัน ปริมาณน้ำมันคงที่ แต่แปรผันระดับอุณหภูมิที่ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส และใช้เวลาที่ทำการทดลองเท่ากัน พบว่าสมควรที่จะเลือกทดลองที่ 60 องศาเซลเซียส มากกว่า เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า เนื่องจากที่ระดับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็น ระดับจุดเดือดของแอลกอฮอล์เมทานอลจึงทำให้ เกิดการสูญเสียสารเมทานอลซึ่งเป็นรีเอเจนต์ที่ใช้ใน การทำปฏิกิริยาไปบ้างจึงอาจเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์

5 ผลการศึกษาปัจจัยเวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เมื่อทดลอง แปรผันระยะเวลาที่ให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชใหม่ โดยแปรผันเวลานาน 30 60 และ 90 นาที พบว่า สมควรทดลองที่นาน 60 นาที หรือ 1 ชั่วโมง

6. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมันที่ ผ่านการใช้แล้ว ทำการทดลองหาผลการใช้คตะลิสส์เบสเท่านั้น ทั้งนี้ทำการทดลองตามที่ผู้อ้างอิงไว้ โดยทดลองตามสภาวะที่ 2 ซึ่งใช้โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลการทดลองดีกว่าใช้เบสโซเดียมไฮดร ออกไซด์ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับนักวิจัยหลายท่าน และสอดคล้องกับการทดลองกับน้ำมันใหม่ที่เป็น น้ำมันพืช โดยควรทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้เวลานานเพียง 60 นาที จะได้ลดการ สิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด สำหรับความร้อนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันควรทำที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมมากที่สุด

7 ผลการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในตัวอย่างกากของเสียจากโรงงานผลิตภัณฑ์ นม ผลการแยกน้ำมันออกจากกากของเสียโดยได้ทดลองสกัดน้ำมันที่ตกค้างในกากของเสีย 2 วิธี แบบ ไม่ต่อเนื่อง และแบบต่อเนื่อง พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้ปริมาณโดยเฉลี่ยของน้ำมันที่สกัดได้จากวิธีการ ทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก ถือว่าในแต่ละครั้งปริมาณน้ำมันที่ได้จากการแยกทั้งสองวิธีการไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เฉลี่ยสามารถแยกน้ำมันได้ประมาณ 31.84 – 33.94 % ซึ่งการสกัด แบบต่อเนื่องจะให้ปริมาณน้ำมันมากกว่าการสกัดด้วยวิธีการแบบไม่ต่อเนื่องเพียงเล็กน้อย แต่การ ทดลองสกัดแบบต่อเนื่องด้วยการใช้ชุดสกัดแบบsoxhlet ทำการทดลองนาน 4 ชั่วโมง เป็นเวลานาน ไม่คุ้มทุน จึงควรสกัดแบบไม่ต่อเนื่อง เพราะจากผลการแยกน้ำมันที่ได้ สามารถจะแยกน้ำมันออกมา ได้มากใกล้เคียงกันกับการใช้ชุดเครื่องมือสกัด จากการทดลองนี้ทำให้ได้ข้อมูลว่า ตัวอย่างที่นำมา

ทดลองเป็นกากของเสีย จะสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้แน่นอน แต่ปริมาณที่แยกได้แตกต่างกันขึ้นกับสถานที่ และระยะเวลา

ผลการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จากการสกัดน้ำมันคั่วจากกากของเสีย มีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ประมาณ 4.98 – 5.01 % ซึ่งใกล้เคียงกับค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่มาจากสัตว์ ดังนั้นจึงทดลองทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเช่นเดียวกับการทดลองใช้น้ำมันหมู น้ำมันจากกากของเสียไปทดลองทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ น้ำมัน 15 กรัม กรด 3 มิลลิลิตร เมทานอล 45 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง โดยมีการกวนระบบตลอดเวลา สำหรับการใช้น้ำมันไขมันปลาเป็นคะตะลิสต์ เกิดปฏิกิริยาน้อยมากหรือไม่เกิดเลย ซึ่งอาจต้องทำการกวนต่อเนื่องไปถึง 24 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทดลองในการทดลองนี้

8 ผลการศึกษการแยกและทำให้สารเอสเทอร์และกลีเซอรินบริสุทธิ์ เมื่อทำการแยกชั้นของสารประกอบเอสเทอร์ออกจากกลีเซอริน จะได้นำผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งผลการทดลองได้ทำการทดลองผ่านขั้นตอนต่างๆ การทำให้สารประกอบเอสเทอร์ที่ได้บริสุทธิ์ ซึ่งผลการตรวจสอบด้วยเทคนิคอินฟราเรด และนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรเมตรีพบว่า สารประกอบเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นเป็นสารเอสเทอร์ตรงตามทฤษฎี แต่ปริมาณที่ได้จากจากตรวจวัดด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่า ตามตารางที่ 4.14 สารเอสเทอร์ที่เตรียมได้เป็นเมทิลปาล์มไมเตด เมทิลสเตียเรต เมทิลไมริสเตต และ เมทิลลิโนเลอเตด ในปริมาณร้อยละ 28.31 22.66 6.67 และ 3.57 ตามลำดับ ซึ่งผลรวมของสารเอสเทอร์ประมาณร้อยละ 71.21 ซึ่งยังไม่เข้าเกณฑ์ของไบโอดีเซล โดยตามกำหนดต้องมีสารเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 97 แต่จากการทดลองนี้ได้ผลิตไบโอดีเซลต่ำกว่าค่ามาตรฐาน เป็นเพราะเวลาที่ใช้ในการทดลองอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์มากกว่านี้ หรือ อาจเป็นผลจากการที่กากของเสียจากโรงงานถูกทิ้งไว้นาน จนน้ำมันถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระมากเกินไป แต่อย่างไรก็ตามคาดว่า ถ้าจะลงทุนผลิตเป็นสารเอสเทอร์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงควรต้องใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยามากกว่านี้ แต่ก็จะมีผลเรื่องการลงทุนพลังงานเท่านั้น สำหรับผลการทดลองในส่วนกลีเซอรินได้ผลการทดลองที่แสดงถึงการทดลองผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ 3 ขั้นตอน คือ ระบายเมทานอลออก ปรับสภาพเป็นกลางและสกัดด้วยเฮกเซน ขั้นสุดท้ายคือ การกำจัดสีและกลิ่น แล้วกลีเซอรินมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น ทั้งนี้ได้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินตามวิธีมาตรฐาน และบันทึกอินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรินที่แยกได้ เปรียบเทียบกับกลีเซอรินมาตรฐานทุกครั้ง ผลการทดลองกับน้ำมันจากกากของเสียที่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถใช้ กรด และเบสเป็นคะตะลิสต์ได้ และผลจากการใช้ถ่านกัมมันต์ ในขั้นตอนสุดท้ายของการทำให้กลีเซอรินบริสุทธิ์นั้น พบว่า กลีเซอรินทั้งสองแหล่งจะมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นถึงระดับ 95 ถึง 96% นอกจากนี้พบว่าควรใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ อย่างน้อย 40 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ก่อนนำไปใช้ สำหรับดินเบนทอนไนต์

ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองนี้ก็แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสี และกลิ่นไม่ด้อยกว่าการใช้  
ถ่านกัมมันต์ โดยสามารถทำให้ได้กลิ่นเชอรินบริสุทธิ์ประมาณช่วง ร้อยละ 94 – 95



## บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. (2549). *พืชทดแทนพลังงาน*. ข้อมูลวิชาการในสมุดบันทึกประจำปี 2549 กรมวิชาการเกษตร.
- เกสร เอื้อสุนทร. (2525). *การผลิตน้ำมันปรุงอาหารคุณภาพสูงจากไขมันไก่*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วท.ม (เทคโนโลยีอาหาร) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร. (2543). *รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งของบ่อดักไขมันในสถานที่จำหน่ายอาหารกรุงเทพมหานคร*. กรุงเทพฯ.
- ก่อฤกษ์ เชี่ยว่อง และวีระชัย โคตรคำหาร. (2544). *การศึกษาเบื้องต้นการทำกลีเซอริน* จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.ม. (วิศวกรรมศาสตร์) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กิตติยา อัลภาชน. *กลีเซอรินบริสุทธิ์*. สมอ.สาร ปีที่ 28 . ฉบับที่ 326 สค. 2545
- กรรจิต จุดประเสริฐ. (2543). *การวิเคราะห์กรดไขมันอิ่มตัวโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีด้วยคอลัมน์แบบ packed column และ capillary column ในตัวอย่างอาหารสำเร็จรูปและกึ่งสำเร็จรูป*. สถาบันวิจัยโภชนาการ. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นิสากร ดอนกระสินธุ์. (2545). *การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันของสถานที่จำหน่ายอาหารมาผสมกับซีลีอะเพื่อเป็นเชื้อเพลิงแท่ง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วท.ม (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ภูธร เรืองยิ่ง. (2548). *คุณสมบัติของไขมันจากน้ำล้างในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและแปรรูปเนื้อไก่สด และการพัฒนาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์*. ทูลอดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ. หน้า 26-34.
- มณฑล ธรรมวิระพงษ์และคณะ. (2546). *การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันโคที่ผลิตในประเทศไทยด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี*. เอกสารประกอบการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิเศษ ภูมิบาล. *ประหยัดทดแทน – พัฒนาพลังงาน*. ประชาชาติธุรกิจ 6 /1. 2549 .
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2538). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลีเซอรินดิบ : มอก. 336. กระทรวงอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์กระทรวงอุตสาหกรรม.
- \_\_\_\_\_. (2538). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลีเซอริน บริสุทธิ์ : มอก. 337. กระทรวงอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์กระทรวงอุตสาหกรรม.

- สุรารักษ์ บุญโชติ และคณะ. (2546). การทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืช. ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สุปรียา สุขเกษม. การใช้ประโยชน์จากสบู่ดำ: น้ำมันสบู่ดำ. เอกสารในการประชุม กิจกรรมวิจัยสบู่ดำ. กรมวิชาการเกษตร. วันที่ 29 มิถุนายน 2548. ณ สถาบันวิจัยพืชไร่. 2548.
- Ali, L.H., Angyal, G., Weaver, C.M. and J.I. (1997). *Comparison of capillary column gas chromatographic and AOAC gravimetric procedures for fat and distribution of fatty acids in foods*. Food Chemistry, 58 : pp. 149-160.
- AOAC-IUPAC Method. (1990). *Methyl ester of fatty acids in oil and fats*. Washington, DC. Methods. pp. 514 - 515.
- A.O.C.S. (1991). Official and Tentative Method of the American Oil Chemist's Society. *American Oil Chemist's Society, Champaign, Illinois*. Vol.2 (3) : pp.420.
- AOCS. Ca 5a-40 : Free fatty acid. In : Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. 5<sup>th</sup> Ed. Illinois : American Oil Chemist's Society Press. 1997a.
- Barbara, E. (1994). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 5<sup>th</sup> ed. Germany : VCH. Vol.12 : pp.477-489.
- Bernardini, E. (1973). *The new oil and fat technology*. 2<sup>nd</sup> ed. S.r.l. Rome : Publishing House Technology.
- Encinar, J.M., Gonzalez, J.F., Rodriguez, J.J and Tejedor. (2002) *Biodiesel Fuel from Vegetable Oils : Transesterification of Cynara Cardunculus L. Oils with Ethanol*. *Energy & Fuel*. 16 : 443-450.
- Hazimah, A.H., Oil, T.L. and Salmaiah, A. (2003). Recovery of Glycerol and Diglycerol from Glycerol Pitch. *Journal of Oil Palm Research*, vol.15(1) : pp. 1-5.
- Herschdoerfer, S.M. (1968). *Quality control in the food industry*. Vol 2, London : Academic Press, Ltd.,
- Hui, Y.H. (1996). *Bailey's Industrial Oil and fat Products*. 5<sup>th</sup> ed. New York : John Wiley & Sons. Vol. 4. : pp. 275 - 308.
- Johnson, A.H., Peterson, M.S. (1974). *Encyclopedia of food Technology*. Connecticut : The AVI Publishing Co. Inc.
- Lee, K.T., Frogila, T.A., and Chang, K.S., (2002). Production of Alkyl Ester as Biodiesel from fractionated Lard and Restaurant Grease. *Journal of the American oil chemical's Society*, Vol.79 : pp.191-195.

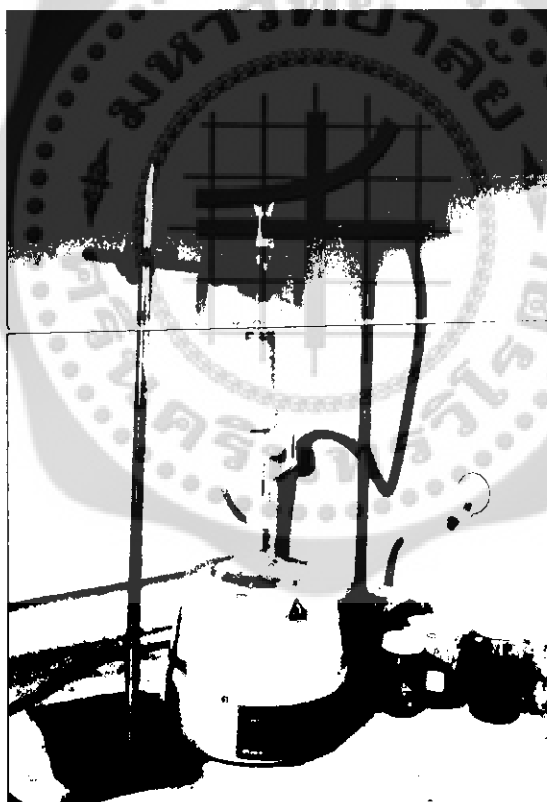
- Lilin, L., Wei, D., Dehua L., Li, W., Zebo L. (2006). Lipase-catalyzed transesterification of rapeseed oils for biodiesel production with a novel organic solvent as the reaction medium. *Journal of Molecular Catalysis B : Enzymatic*. 43 : pp. 58
- Meher, L.C, Sagar. V.D and Naik. N.S. (2006). Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification – a Review. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 10 : pp. 248 -268.
- Mostafa, N.A. (2001). Production of acetic acid and glycerol from salted and dried whey in a membrane cell recycle bioreactor. *Energy Conversion and Management*. 42 : pp.1133.
- Ooi, T.L., Yong, K.C., Dzulkafly, K., Wan Yunus, W.M.Z. and Hazimah, A.H. (December, 2001). Crude Glycerine Recovery from Glycerol residue Waste from a Palm Kernel Oil Methyl Ester Plant. *Journal of oil Palm Research*, vol.13(2) : pp.16 - 22.
- Schuchardt, U., Sercheli, R and Vargas, R.M. (1998). Transesterification of Vegetable Oils : a Review. *Journal. Braz. Chem. Soc.* 9(1) : pp.199 – 210.
- Stephen, D.H., Pual, A.L. (1993). Gas chromatographic determination of total fat extracted from food sample using hydrolysis in the presence of antioxidant. *Journal of AOAC International*. 77(4) : pp. 960-965.
- Thompson, D.R. (2004). *Veggie fuel ; The biodiesel alternative : used cooking oil instead of petroleum*. Available : <http://www.honoluluweekly.com>.
- Titipong, I., Manges G., Kulkarni A, K.D., Narendra N, B. . (2007). Production of biodiesel from waste fryer grease using mixed methanol/ethanol system. *Fuel processing Technology*. 88 : pp. 429.
- Tomasevic, A.V and Silver-Marrinkovic, S.S. (2003). *Methanolysis of Used Frying Oil Fuel. Processing Technology*. 81 : pp. 1 - 6.
- Yong, K.C., Ooi, T L., Dzulkafly, K., Wan Yunus, W. M. Z. and Hazimah, A. H. (2001). Refining of Crude Glycerine Recovered from Glycerol Residue by Simple Vacuum Distillation. *Journal of oil Palm Research*, vol.13(2) : pp.36 - 44.

### ภาคผนวก

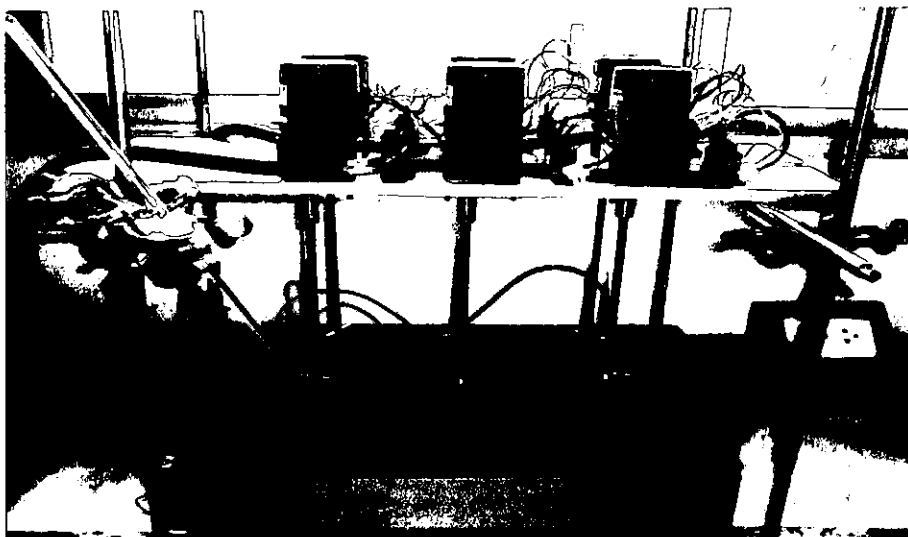




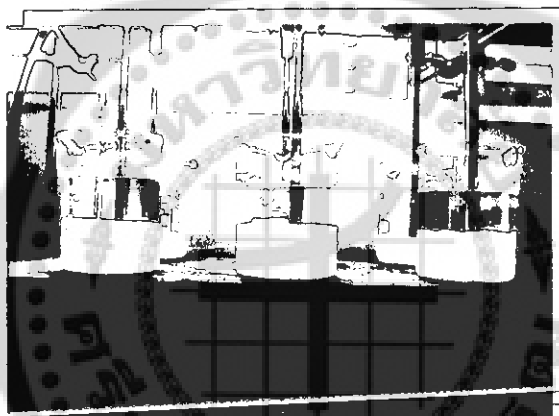
ภาพผนวก 1 ตัวอย่างกากของเสีย



ภาพผนวก 2 ชุดสกัดน้ำมันแบบต่อเนื่อง



ภาพผนวก 3 ชุดเครื่องกวนไฟฟ้าพร้อมอุปกรณ์ให้ความร้อน



ภาพผนวก 4 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในน้ำมัน



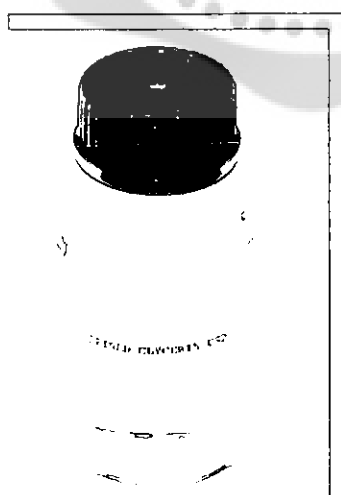
ภาพผนวก 5 ผลผลิตปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันจากกากของเสียโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น คตะลิส



ภาพผนวก 6 ผลผลิตปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ิฟิเคชันน้ำมันจากกากของเสียโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นคะตะลิสต์



ภาพผนวก 7 กาลิเชอรินหยาบก่อนทำให้บริสุทธิ์



ภาพผนวก 8 กาลิเชอรินภายหลังการทำให้บริสุทธิ์

## ประวัติคณะผู้วิจัย

### หัวหน้าโครงการวิจัย

นาง พรพิมล ม่วงไทย

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ 9

สังกัด ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร

โทรศัพท์ ทำงาน 02-6641000 ต่อ 8455 มือถือ 084-32855271

บ้าน 02-5520308

โทรสาร 02-2592097

E-mail pornpi@swu.ac.th Pompi@yaho.com

### ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วท.บ. (เคมี) เกียรตินิยม อันดับ 2 จาก มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี 2522

ปริญญาโท วท.ม. (เคมีวิเคราะห์) จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2524

ปริญญาเอก ประ.ด. (วิทยาศาสตร์การอาหาร, เคมีวิเคราะห์อาหาร) จาก

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ปี 2546

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

สาขาเคมีวิเคราะห์ การวิเคราะห์อาหาร เช่น วิเคราะห์โลหะปนเปื้อนในอาหารและสิ่งแวดล้อม วิเคราะห์สารพิษประเภทสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ในตัวอย่างพืชผัก วิเคราะห์สารบำรุงผิวในเครื่องสำอาง ศึกษาและวิเคราะห์ไขมัน น้ำตาล โปรตีน การเกิดสารสีน้ำตาล Maillard reaction มีความชำนาญในการควบคุมเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ได้แก่ เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เครื่องมืออะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์ เครื่องมืออุตสาหกรรมไอโอเลด-วิลีเบลสเปกโตรมิเตอร์ เครื่องมือฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ เครื่องมือวิเคราะห์โปรตีนด้วยบัยอิง

### ผู้ร่วมวิจัย

#### ผู้ร่วมวิจัยที่ 1

นาง เบญจมาศ ถนอมทรัพย์

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ 9

สังกัด ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร

โทรศัพท์ ทำงาน 02-6641000 Ext. 4903 มือถือ 06-6186000

บ้าน 02-9444762

โทรสาร 02-6641000 Ext. 4902

E-mail benjamat@swu.ac.th, bthanomsub@yahoo.com

## ประวัติการศึกษา

BSc. (Medical Technology) Faculty of Medicine, Chulalongkorn University,

Bangkok 10500 Thailand ,1980

M.Sc. (Microbiology) . Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400

Thailand, 1986

Ph.D. (Microbiology) Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400,

Thailand ,1996

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- Characterization and application of glycolipid biosurfactants produced by microorganism
- Study on the production and application of bioactive compounds derived from microorganisms.
- Isolation and characterization of lipase enzyme from microorganism
- Utilization of microorganisms for toxic waste treatment

## ผู้ร่วมวิจัยที่ 2

ดร. มณีกานต์ ชินวรรังสี

ตำแหน่ง อาจารย์

สังกัด ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร

โทรศัพท์ 02-6641000 ต่อ 8221 โทรสาร 02-2592097

E-mail : maneekein@swu.ac.th

ประวัติการศึกษา

| ปีที่จบ<br>การศึกษา | ระดับ<br>ปริญญา | อักษรย่อ<br>ปริญญา | สาขาวิชา     | ชื่อสถาบันการศึกษา |
|---------------------|-----------------|--------------------|--------------|--------------------|
| 2541                | ตรี             | วท.บ.              | เคมี         | มหาวิทยาลัยมหิดล   |
| 2547                | เอก             | ปร.ค.              | เคมีอินทรีย์ | มหาวิทยาลัยมหิดล   |

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ: เคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ

## ผู้วิจัยที่ 3

ดร. ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานที่อยู่: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

โทรศัพท์ 02-6641000 ต่อ 8222

โทรสาร 02-2592097

E-mail : [piyadaj@swu.ac.th](mailto:piyadaj@swu.ac.th), [j\\_piyada@hotmail.com](mailto:j_piyada@hotmail.com)

#### ประวัติการศึกษา

| ปีที่จบ<br>การศึกษา | ระดับ<br>ปริญญา | อักษรย่อ<br>ปริญญา | สาขาวิชา      | ชื่อสถาบันการศึกษา |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|--------------------|
| 1998                | ตรี             | วท.บ.              | เคมี          | มหาวิทยาลัยมหิดล   |
| 2005                | เอก             | ปร.ด.              | เคมีวิเคราะห์ | มหาวิทยาลัยมหิดล   |

#### สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ:

Biomedical and pharmaceutical analysis

All chromatographic separation techniques including high-performance liquid chromatography and gas chromatography

