

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของแว็กซ์  
และศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

Transesterification of Wax and Studies of Their Physical and Chemical Properties



โดย

นางสาวณัฐกฤตา บุญสนอง

นางสาวณัฐฐนิชา ประดิษฐ์ค่าย

ภาควิชาเคมี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

เรื่อง การทำปฏิบัติการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของแวกซ์และศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

โดย นางสาวณัฐกฤตา บุญสนอง

นางสาวณัฐกัญญา ประดิษฐ์ค่าย

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา


ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

  
..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

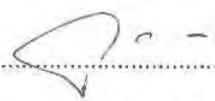
  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา เลิศปรีชาญา)

  
..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ม.ล. ศิริพัศตร์ ไชยันต์)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

  
.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย พาราสุข)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วัน 20 เดือน 11 พ.ศ. 58

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ  ดีมาก  ดี  พอใช้



Title Transesterification of Wax and Studies of Their Physical and Chemical Properties

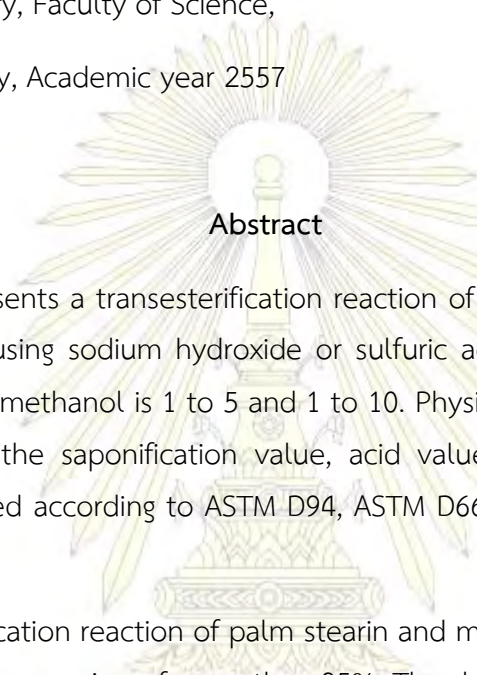
Student names Miss Natgritta Boonsanong ID 5433088523

Miss Nattanicha Praditkhai ID 5433086223

Advisor Assistant Professor Dr. Preecha Lertpratchya

Department of Chemistry, Faculty of Science,

Chulalongkorn University, Academic year 2557



### Abstract

This project presents a transesterification reaction of wax from palm oil or palm stearin and methanol using sodium hydroxide or sulfuric acid as a catalyst. The mass ratio of palm stearin to methanol is 1 to 5 and 1 to 10. Physical and chemical properties of products, including the saponification value, acid value, viscosity of the reaction mixture were determined according to ASTM D94, ASTM D664 and ASTM D445 standard respectively.

The transesterification reaction of palm stearin and methanol gave good yields of methyl stearate with a conversion of more than 95%. The determined values of physical and chemical properties of the methyl ester were: saponification value = 170 mgKOH/g, acid value = 0.48-0.49 mgKOH/g and viscosity = 4.27-4.47cSt. These values are within the range of standard values for biodiesel which suggests that the methyl stearate could be used as biodiesel.

Keywords: Refined Palm Stearin, Fatty Acid, Fatty Alcohol, Transesterification

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ของฝ่ายวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาเคมีที่ได้สนับสนุนและให้ทุนอุดหนุนสำหรับโครงการวิจัยนี้

โครงการนี้จะไม่สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดีถ้าไม่ได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา เลิศปรีชญู ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ เป็นผู้ให้คำแนะนำตั้งแต่การค้นคว้าหาข้อมูล การทดลอง รวมไปถึงการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการวิจัยด้วย จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วยความเคารพเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ม.ล. ศิริพัทธ์ ไซยันต์ ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นประธานกรรมการการประเมินโครงการและกรรมการการประเมินโครงการ รวมทั้งให้คำแนะนำที่ก่อให้เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ขอขอบคุณพี่ๆ ปริญญาโทและปริญญาเอกสาขาเคมีอินทรีย์ หน่วยวิจัย Research Centre for Bioorganic Chemistry และสาขาปิโตรเคมีทุกท่านที่ให้ความรู้และให้คำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณความช่วยเหลือและกำลังใจที่ดีจากครอบครัวของคณะผู้วิจัย รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีทุกคน คณะผู้วิจัยซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งและขอระลึกในความกรุณา ความช่วยเหลือ และความห่วงใยเสมอมาของทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้น และบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี</b>	<b>4</b>
2.1 องค์ประกอบทางเคมีและประเภทของแว็กซ์	4
2.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	7
2.3 เทคนิคที่ใช้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้	12
<b>บทที่ 3 วิธีการทดลอง</b>	<b>14</b>
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	14
3.2 สารเคมี	14
3.3 วิธีการทดลอง	15
ตอนที่ 1 การสกัดไขปาล์มสเตียรีนที่ได้จากน้ำมันปาล์ม	15
ตอนที่ 2 การทำปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไขปาล์มสเตียรีน	15

ตอนที่ 2.1 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไข่ที่ได้	15
จากการสกัดด้วยเฮกเซนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส	
ตอนที่ 2.2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไข่ที่ได้	16
จากการสกัดด้วยเฮกเซนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด	
ตอนที่ 3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้	
ตอนที่ 3.1 การหาค่าสะพานนิฟิเคชันตามวิธีมาตรฐาน ASTM D94	17
ตอนที่ 3.2 การหาค่าความเป็นกรดตามวิธีมาตรฐาน ASTM D664	18
ตอนที่ 3.3 การหาค่าความเป็นกรดตามวิธีมาตรฐาน ASTM D664	19
ตอนที่ 4 การพิสูจน์ทราบเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้	20
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>21</b>
ตอนที่ 1 การสกัดไขปาล์มสเตียรีนที่ได้จากน้ำมันปาล์ม	21
ตอนที่ 2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขปาล์มสเตียรีน	23
ตอนที่ 3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้	25
ตอนที่ 4 การพิสูจน์ทราบเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้	26
<b>บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง</b>	<b>29</b>
5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง	29
5.2 สรุปผลการทดลอง	32
5.3 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	35
ประวัติผู้วิจัย	53



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	=	American Society for Testing and Materials
°C	=	Degree Celsius
cm <sup>-1</sup>	=	Unit of Wave Number
FT-IR	=	Fourier-Transform Infrared Spectroscopy
<sup>1</sup> H-NMR	=	Proton Nuclear Magnetic Resonance
ml	=	Milliliter
%yield	=	Percent Yield



ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

แวกซ์ (Wax) คือ สารประกอบเอสเทอร์ของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ไขมันซึ่งเป็นของแข็งที่มีจุดหลอมเหลวค่อนข้างต่ำ โดยแวกซ์ธรรมชาติถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง [1] เช่น ลิปสติก เมคอัพ เป็นต้น โดยแวกซ์ธรรมชาติบางชนิด เช่น แวกซ์คาร์นูบา (Carnauba Wax) และแวกซ์แคนเดิลลิลลา (Candelilla Wax) [2] เป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทและเป็นที่ต้องการสูงผลผลิตพลอยได้และของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรและป่าไม้ เป็นแหล่งที่มีแวกซ์ธรรมชาติที่มีคุณภาพสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น แวกซ์จากฟางข้าวสาลี [3] มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง แวกซ์ธรรมชาติสามารถนำมาใช้สำหรับการเคลือบเงาผิวของผลไม้เพื่อทำให้มีสีสดสวย และทำให้ผิวของผลไม้ไม่รับประทานยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถใช้กับกระดาษคาร์บอน เทียนไข หมึกพิมพ์ สีเทียน และหมากฝรั่ง นอกจากนี้แวกซ์ธรรมชาติสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารที่ห้ามใช้ปิโตรเลียมแวกซ์ (Petroleum Wax)

ของแข็งจุดหลอมเหลวต่ำที่ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มที่เรียกแวกซ์นั้นเป็นไตรกลีเซอไรด์ของกรดสเตียริกและกลีเซอรอล ซึ่งเรียกว่า ไชปาล์มสเตียริน (Palm Stearin) โดยไชปาล์มสเตียรินเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ได้จากกระบวนการแยกน้ำมันปาล์ม ซึ่งปาล์มน้ำมันเป็นพืชหลักที่ทางภาครัฐส่งเสริมให้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล เป็นพืชที่เติบโตได้ดีในสภาพอากาศร้อนชื้น จึงเหมาะที่จะปลูกทางภาคใต้ของประเทศไทย ปัจจุบันบริเวณจังหวัดที่ปลูกมากได้แก่ กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล และตรัง และจากราคาที่ต่ำกว่าพืชชนิดอื่น เช่น ยางพารา และข้าว ส่งผลให้เกษตรกรหันมาปลูกปาล์มน้ำมันกันมากขึ้น ผลปาล์มน้ำมันสามารถนำไปผลิตอย่างอื่นได้อีกด้วย เช่น น้ำมันพืชสำหรับประกอบอาหาร เนยขาว นมข้นหวาน ไอศกรีม ครีมเทียม นมเทียม และสบู่ นอกจากนี้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันยังเกี่ยวเนื่องกัน เนื่องจากผลจะสุกพร้อมกัน จึงสามารถเก็บเกี่ยวได้ทีละทั้งทะลาย ข้อดีอีกอย่างของต้นปาล์มน้ำมันคือมีอายุได้ถึง 25 ปี และเริ่มให้ผลผลิตได้ตั้งแต่ปีที่ 4 เรื่อยไปจนให้ผลผลิตสูงสุดในปีที่ 11 จากนั้นก็จะลดลงไปตามลำดับ โดยไชปาล์มสเตียรินที่แยกได้ออกมาจากน้ำมันปาล์มนั้น ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่าง ๆ และยังถือเป็นวัตถุดิบที่สำคัญของกลุ่มผู้ผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย

ไบโอดีเซลคือ เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากไขมันสัตว์ น้ำมันจากพืช หรือสาหร่ายขนาดเล็ก รวมถึงน้ำมันที่ใช้แล้วจากการปรุงอาหาร นำมาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอล และมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้ภาวะอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนไขมันให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester) หรือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ethyl Ester) ขึ้นอยู่กับประเภทของแอลกอฮอล์ที่

ใช้ในกระบวนการผลิต และมีกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง

ในโครงการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะเลือกใช้โซลเวนต์เอทิลอะซิเตทและใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction Technique) เพื่อให้ไขมันที่สกัดได้สามารถนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากไขมันที่สกัดได้ก่อนข้างบริสุทธิอยู่แล้วแต่การใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายจะทำให้สามารถกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการให้ออกไปได้ และสามารถประหยัดเวลาได้ดี เมื่อได้ไขมันที่ต้องการแล้วจึงนำไขมันที่ได้มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้เพื่อพิจารณาต่อไปว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีสมบัติที่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นไบโอดีเซลได้หรือไม่

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของแก๊ซจากน้ำมันปาล์มหรือโซลเวนต์เอทิลอะซิเตทเพื่อใช้เป็นไบโอดีเซล
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ค้นคว้า สืบค้นข้อมูลสารสนเทศงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. จัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี
3. สกัดไขมันจากเมล็ดปาล์มด้วยเฮกเซนเพื่อแยกน้ำมันและสารเจือปนอื่นๆ ออก
4. นำไขมันที่ผ่านการสกัดแล้วมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
5. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
6. พิสูจน์ทราบเอกลักษณ์ของไขมันที่ผ่านการสกัดแล้วมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเทคนิค IR และ NMR สเปกโทรสโกปี
7. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง
8. เขียนรายงานโครงการวิจัย

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันที่สกัดได้กับเมทานอล
2. ได้ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

### 1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกองค์ประกอบของแว็กซ์ ในปีค.ศ. 2007 Magdy, T. Z. และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาพาราฟินแว็กซ์ โดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction Technique) ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือไม่ต้องใช้เวลาในการทดลองนาน แต่หากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงไม่ควรเลือกใช้วิธีนี้ และ Deswarte, F. และคณะ [5] ได้ทำการแยกองค์ประกอบของพาราฟินแว็กซ์ โดยใช้วิธีการตกผลึกลำดับส่วน (Fractional Crystallization Technique) พบว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง การตกผลึกลำดับส่วนเป็นเทคนิคที่ใช้แยกสารผสมมากกว่า 1 ชนิด ให้บริสุทธิ์ด้วยการตกผลึกซ้ำหลาย ๆ ครั้ง โดยมีข้อดีคือ ทำให้สารที่ทำการแยกออกมาได้ทุกชนิดมีความบริสุทธิ์ แต่มีข้อเสียคือ มีค่าใช้จ่ายสูง ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถใช้ทั้งวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย และวิธีการตกผลึกลำดับส่วน (Fractional Crystallization Technique) ในการแยกองค์ประกอบของพาราฟินแว็กซ์ได้ และการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องไขปาล์มสเตียริน และปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าในปีค.ศ. 2012 Sellami, M. และคณะ [6] ได้ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับส่วนผสมของปาล์มสเตียรินกับปาล์มโอเลอิน โดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่ง เพื่อจะผลิตเนยเทียมที่ไม่มีไขมันชนิดทรานส์

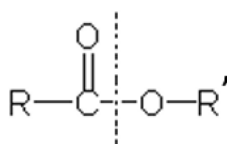
ในงานวิจัยนี้ทางคณะผู้วิจัยสนใจเลือกใช้ไขปาล์มสเตียริน เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมากในประเทศไทย เก็บเกี่ยวได้ง่าย และมีช่วงอายุที่ให้ผลผลิตยาว จากการศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องวิธีการแยกองค์ประกอบของไขทางคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย เนื่องจากไขที่นำมาใช้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูงอยู่แล้ว เพียงแต่ต้องการแยกส่วนน้ำมันที่ไม่ต้องการออกไป ให้เหลือเพียงส่วนของไขที่ต้องการเท่านั้น และวิธีนี้ยังช่วยให้ประหยัดเวลาในการทดลองได้อีกด้วย จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้วิธีตกผลึกลำดับส่วนซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 องค์ประกอบทางเคมีและประเภทของแวกซ์

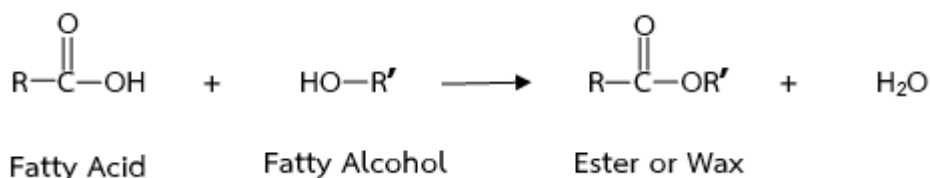
แวกซ์ (Wax) [7] หรือไขเป็นลิพิดชนิดหนึ่งซึ่งเป็นของผสมระหว่างเอสเทอร์ที่เกิดจากกรดไขมัน (Fatty Acid) และแอลกอฮอล์ไขมัน (Fatty Alcohol) ที่มีโซ่ยาวส่วนของไขที่มาจากกรดไขมันมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเป็นเลขคู่ โดยอยู่ระหว่าง 14-36 อะตอม และส่วนของไขที่มาจากแอลกอฮอล์ไขมันมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเป็นเลขคู่เช่นกัน โดยอยู่ระหว่าง 16-30 อะตอม



ส่วนที่มาจากกรดไขมัน

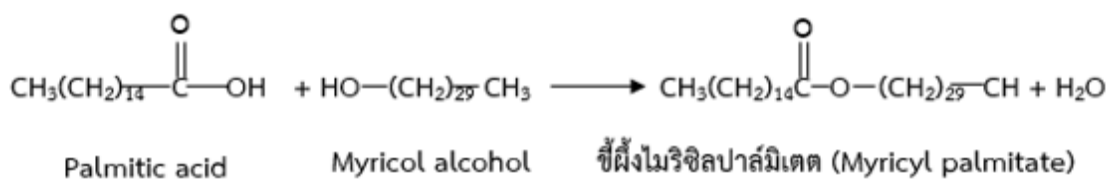
ส่วนที่มาจากแอลกอฮอล์ไขมัน

รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทั่วไปของแวกซ์



รูปที่ 2.2 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์

แวกซ์หรือไขมีอยู่หลากหลายชนิด โดยตัวอย่างของไขที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ได้แก่ ไมริซิลปาล์มิเตต (Myricyl Palmitate) เป็นไขที่พบได้ในขี้ผึ้ง (Beeswax) ซึ่งไมริซิลปาล์มิเตตนี้เป็นเอสเทอร์ที่เกิดจากไมริคอลแอลกอฮอล์ (Myricol Alcohol) และกรดปาล์มิติก (Palmitic Acid) นอกจากนี้ยังมีเซทิลปาล์มิเตต (Cetyl Palmitate) เป็นไขพบในไขปลาวาฬ ซึ่งเป็นเอสเทอร์ที่เกิดจากเซทิลแอลกอฮอล์ (Cetyl Alcohol) กับกรดปาล์มิติกเป็นต้น



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของการเกิดขี้ผึ้งไมริซิลปาล์มิเตต (Myricyl Palmitate)

แว็กซ์เป็นของแข็งที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ไขมันที่เป็นองค์ประกอบของแว็กซ์นั้น แว็กซ์ทุกชนิดจะไม่ละลายในน้ำ เรามักพบแว็กซ์เคลือบอยู่ที่ผิวของใบไม้หรือผลไม้ และที่ผิวหนังหรือขนสัตว์ ทำหน้าที่ในการหล่อลื่นหรือป้องกันการสูญเสียน้ำ ปัจจุบันมีการนำแว็กซ์มาผสมในเครื่องสำอาง เช่น ลิปสติก ครีมล้างหน้า และยังนำมาใช้ในการทำเทียน กาว หมากฝรั่ง ดินสอ อีกทั้งยังสามารถใช้เคลือบผิวผลไม้เพื่อช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาให้นานยิ่งขึ้น

แว็กซ์สามารถแยกประเภทได้ดังนี้ [8]

1. แว็กซ์ที่ได้จากสัตว์ (Animal Waxes) เช่น ขี้ผึ้ง (Beeswax)
2. แว็กซ์ที่ได้จากพืช (Vegetable Waxes) เช่น แว็กซ์จากน้ำมันรำข้าว (Rice Bran Wax) แว็กซ์จากคาร์นوبا (Carnauba Wax) แว็กซ์จากน้ำมันปาล์มหรือไฮปาล์มสเตอริน (Refined Palm Stearin)
3. แว็กซ์ที่ได้จากแร่ (Mineral Waxes) เช่น แว็กซ์โอโซเคไรท์และเซเรซิน (Ozokerite and Ceresin Wax) แว็กซ์มอนแทน (Montan Wax)
4. แว็กซ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic Waxes) เช่น แว็กซ์โพลีเอทิลีน (Polyethylene Wax)

#### 1. แว็กซ์ที่ได้จากสัตว์ (Animal Waxes)

ขี้ผึ้ง (Beeswax) คือไขมันที่อยู่ในสถานะของแข็งซึ่งได้หลังจากการเก็บน้ำผึ้ง องค์ประกอบหลักของขี้ผึ้งเป็นเอสเทอร์ที่ประกอบด้วยแอลกอฮอล์ไขมัน  $\text{C}_{30}\text{--}\text{C}_{32}$  กรดไขมัน  $\text{C}_{25}\text{--}\text{C}_{31}$  และสารประกอบของไฮโดรคาร์บอน  $\text{C}_{25}\text{--}\text{C}_{31}$  ขี้ผึ้งมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่  $62 - 64^\circ\text{C}$

ขี้ผึ้งสามารถนำไปใช้ผลิตเครื่องสำอาง เทียนคุณภาพดีรวมถึงสารขัดเงา เช่น ยาขัดรองเท้า และนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการสร้างหุ่นขี้ผึ้ง รวมถึงผลิตภัณฑ์อื่นๆ เทียนที่ผลิตจากขี้ผึ้งจะไม่เกิดน้ำตาเทียนและมีควันเกิดขึ้นน้อยกว่าเทียนธรรมดาอย่างมาก ทำให้เทียนที่ทำจากขี้ผึ้งเป็นที่นิยมในการใช้ประกอบพิธีทางศาสนา

## 2. แวกซ์ที่ได้จากพืช (Vegetable Waxes)

2.1 แวกซ์จากน้ำมันรำข้าว (Rice Bran Wax) เป็นแวกซ์ที่ประกอบด้วยกรดอะลิฟาติก (Aliphatic Acids) และแอลกอฮอล์เอสเทอร์เป็นหลัก ซึ่งในส่วนของกรดอะลิฟาติกนั้นยังประกอบด้วย กรดปาล์มิติก (Palmitic Acid:  $C_{16}$ ), กรดเบเฮนิก (Behenic Acid:  $C_{22}$ ), กรดลิกโนซีริก (Lignoceric Acid:  $C_{24}$ ) และกรดอะลิฟาติกอื่นๆ ในส่วนของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ประกอบด้วยซีทิลแอลกอฮอล์ (Cetyl Alcohol:  $C_{26}$ ) และแอลกอฮอล์เอสเทอร์อื่นๆ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยกรดไขมันอิสระ

แวกซ์จากน้ำมันรำข้าวมีสารทำให้ผิวนุ่ม ให้ความชุ่มชื้นแก่ผิว นำมาใช้เป็นส่วนผสมใน เครื่องสำอาง นอกจากนี้ยังมีคุณลักษณะคล้ายกับแวกซ์คาร์นูบา (Carnauba Wax) สามารถใช้ในสารขัดเงา สารเคลือบผักและผลไม้ สิ่งทอ ยา นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับกระดาษคาร์บอน เทียนไข หมึกพิมพ์ สีเทียน และหมากฝรั่ง

2.2 แวกซ์จากคาร์นูบา (Carnauba Wax) เป็นแวกซ์ที่ได้จากใบปาล์มที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศ บราซิล หรือเป็นที่รู้จักกันในชื่อ “ราชินีของแวกซ์” เป็นแวกซ์ที่มีสีน้ำตาลอมเหลือง แวกซ์จากคาร์นูบา ประกอบด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมัน 80-85% ของ  $C_{16} - C_{20}$  แอลกอฮอล์ไขมัน 10-15% ของ  $C_{30} - C_{34}$  และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 1-3% นอกจากนี้แวกซ์จากคาร์นูบายังประกอบด้วยแอลกอฮอล์ ไขมัน 20% และกรดซินนามิก (Cinnamic Acid) 10% ซึ่งเป็นสารช่วยต้านอนุมูลอิสระ

แวกซ์จากคาร์นูบานิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบเงา นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมใน เครื่องสำอาง เช่น ลิปสติก มาสคารา आयไลเนอร์ เป็นต้น

2.3 แวกซ์จากน้ำมันปาล์มหรือไฮปาล์มสเตียริน (Refined Palm Stearin) เป็นแวกซ์ที่มีสีเหลืองอ่อนไฮปาล์มสเตียรินประกอบด้วยกรดปาล์มิติก (Palmitic Acid:  $C_{16}$ ), กรดโอเลอิก (Oleic Acid:  $C_{18}$ ) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีกรดลอริก (Lauric Acid:  $C_{12}$ ), กรดไมริสติก (Myristic Acid:  $C_{14}$ ), กรดปาล มิโตเลอิก (Palmitoleic Acid:  $C_{16}$ ), กรดสเตียริก (Stearic Acid:  $C_{18}$ ), กรดอะราชิดิก (Arachidic Acid:  $C_{20}$ ) เป็นองค์ประกอบอีกด้วย

ไฮปาล์มสเตียรินเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ได้จากกระบวนการแยกน้ำมันปาล์ม โดยไฮปาล์มส เตียรินถูกนำไปใช้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารโดยเฉพาะกลุ่มทำขนม เบเกอรี่ Shortening ครีมเทียม สบู่ และนำไปใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ นอกจากนี้ไฮปาล์มส เตียรินยังถือเป็นวัตถุดิบสำคัญของกลุ่มผู้ผลิตไบโอดีเซล

## 3. แวกซ์ที่ได้จากแร่ (Mineral Waxes)

### 3.1 แวกซ์โอโซเคไรท์และเซเรซิน (Ozokerite and Ceresin Wax)

แวกซ์โอโซเคไรท์เป็นแวกซ์ที่มีที่มาจากประเทศโปแลนด์และออสเตรีย ซึ่งได้มาจากการผสมของ ส่วนที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมและผลึกแวกซ์ขนาดเล็ก (Microcrystalline)

แวกซ์เซเรซินเป็นแวกซ์ที่ได้จากการปรับปรุงแวกซ์โอโซเคโรท์ ซึ่งในปัจจุบันเราเรียกแวกซ์เซเรซินว่า “พาราฟิน” นิยมนำพาราฟินมาใช้ในการทำเทียนไข ใช้เคลือบกระดาษบางชนิด ใช้เคลือบเสื้อผ้า และใช้เป็นส่วนผสมทำยาหม่อง เป็นต้น

3.2 แวกซ์มอนแทน (Montan Wax) เป็นแวกซ์ที่ได้มาจากการสกัดลิกไนต์ โดยองค์ประกอบของแวกซ์มอนแทนขึ้นกับวัตถุที่ได้จากการสกัดซึ่งประกอบไปด้วย แวกซ์ เรซิน และยางมะตอย โดยแวกซ์ที่สกัดได้นั้นจะมีทั้งสีดำและสีขาว องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแวกซ์มอนแทนเป็นเอสเทอร์ที่มีขนาดอยู่ระหว่าง  $C_{24} - C_{30}$  ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันปริมาณ 22 - 26% แอลกอฮอล์ไขมันและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนปริมาณ 7 - 15% แวกซ์มอนแทนนิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมของหมึกกระดาษคาร์บอนและสารหล่อลื่น

#### 4. แวกซ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic Waxes)

แวกซ์โพลีเอทิลีน (Polyethylene Wax) เป็นแวกซ์ที่ได้จากการเตรียมเอทิลีนที่ผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ณ ความดันสูงๆ ผลิตรัณฑ์ที่ได้จะเป็นแวกซ์ที่ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก แวกซ์โพลีเอทิลีนนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเทียนไขซึ่งใช้เป็นส่วนผสมของพาราฟินและจะช่วยทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น

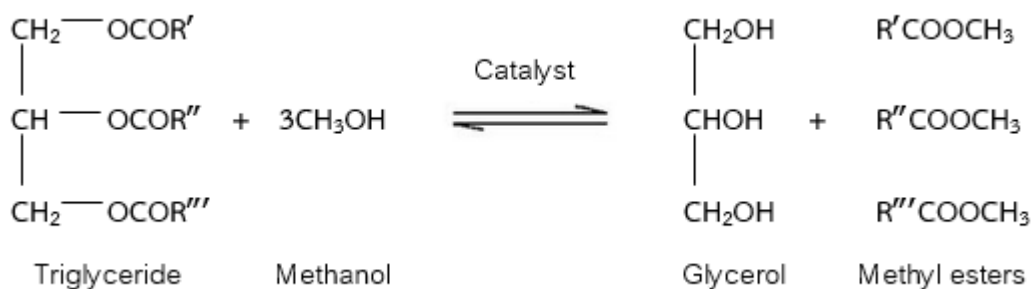
#### 2.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันหรือแอลกอฮอล์ไลซิส เป็นปฏิกริยาการแลกที่ของแอลกอฮอล์ในเอสเทอร์โดยใช้วิธีคล้ายคลึงกับปฏิกริยาไฮโดรไลซิส แต่แตกต่างกันตรงที่ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันใช้แอลกอฮอล์แทนน้ำ ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกริยาที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อลดความหนืดของไตรกลีเซอไรด์ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สมการทั่วไปของปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

หากใช้เมทิลแอลกอฮอล์ในกระบวนการนี้จะเรียกว่าเมทาโนไลซิส ดังรูปที่ 2.5

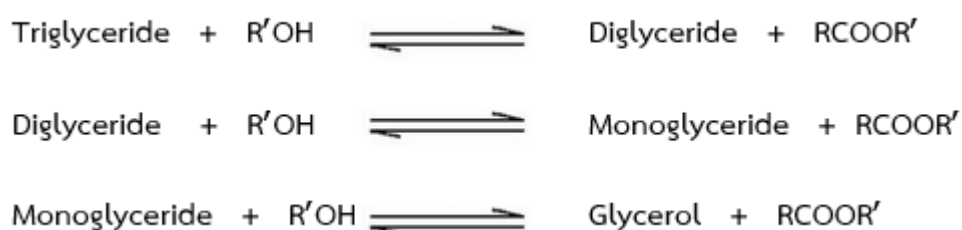


รูปที่ 2.5 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

#### 1. วิธีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเบส ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์จะทำให้เกิดอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอล โดยชั้นของกลีเซอรอลจะแยกชั้นอยู่ที่บริเวณด้านล่างของสารละลาย กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เป็นสารมัธยันต์ (Intermediate) ดังรูปที่ 2.6

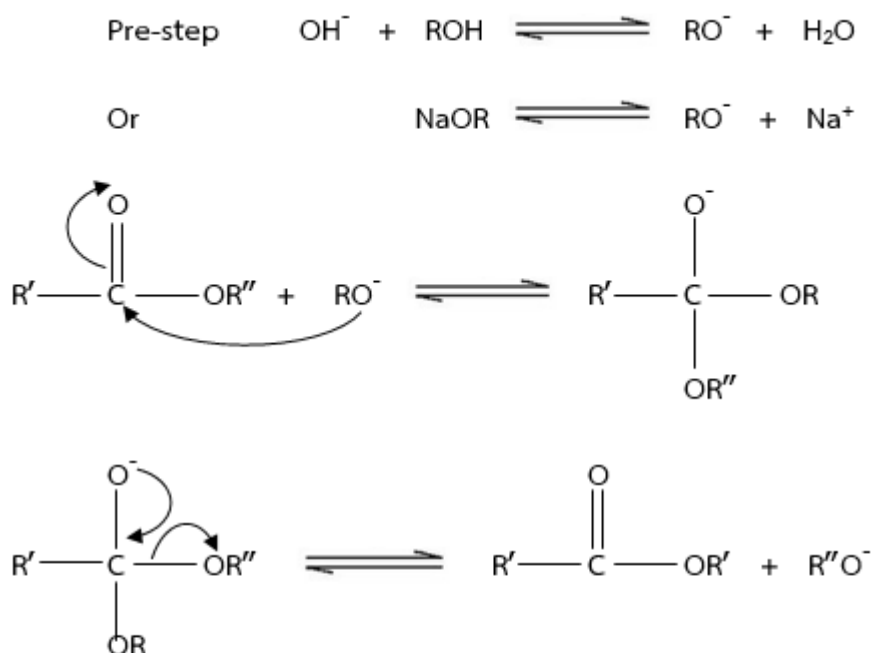


รูปที่ 2.6 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ ดังนั้นการใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากกว่าหนึ่งสมมูลจะทำให้ปฏิกิริยาผันไปด้านหน้าทำให้เกิดเอสเทอร์มากขึ้น กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเริ่มจากชั้นแรก แอลกอฮอล์ไอออนจะเข้าชนที่ตำแหน่งคาร์บอนิลคาร์บอนของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งจะทำให้เกิดสารมัธยันต์ที่มีลักษณะเป็นเตตระฮีดรอล จากนั้น



อิเล็กตรอนที่อะตอมออกซิเจนจะเกิดพันธะคู่กับคาร์บอนพร้อมกับการแตกพันธะของหมู่แอลคอกซี เกิดเป็นเอสเทอร์และไตรกลีเซอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



เมื่อ  $\text{R}'' = \text{Glyceride}$

$\text{R}' = \text{Carbon chain of fatty acid}$

$\text{R} = \text{Alkyl group of alcohol}$

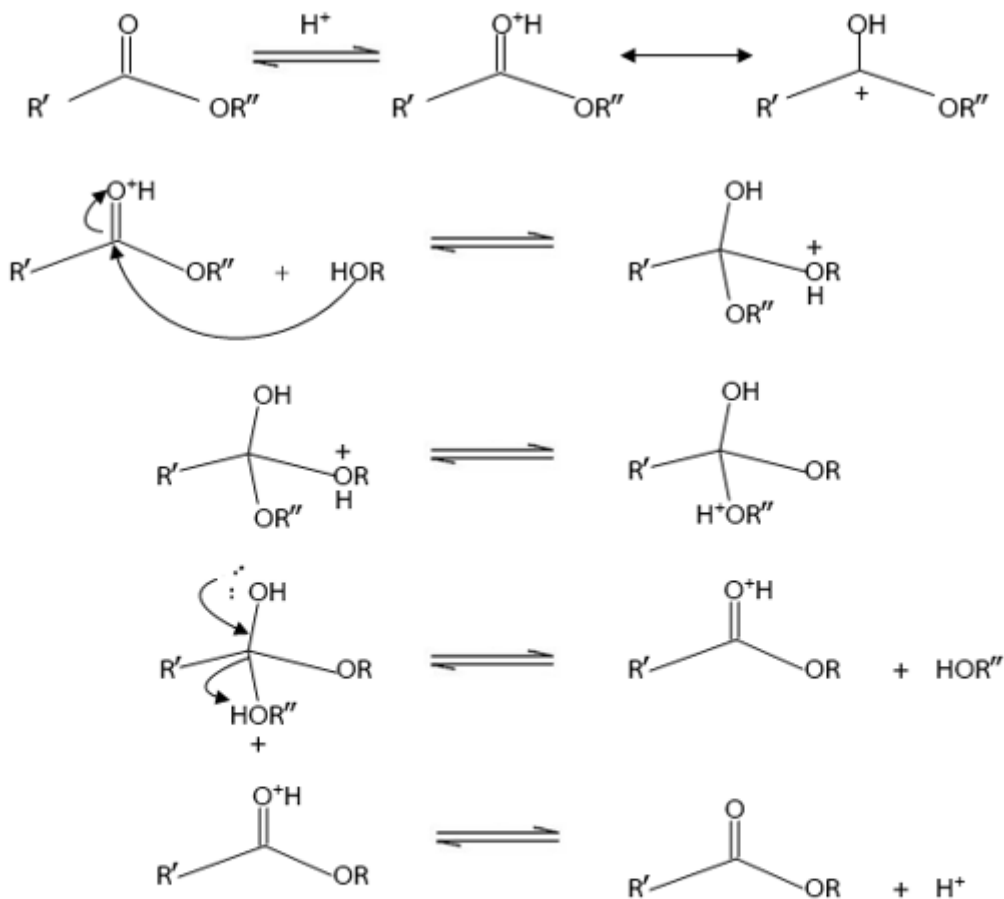
รูปที่ 2.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่สูงด้วย แต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสมิชอบจำกัดคือ น้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบถ้ามีน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในระบบของการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมากจะทำให้มีสบู่เกิดขึ้นแทนที่จะได้น้ำมันไปโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์การนำกลีเซอรอลกลับมาใช้ใหม่ทำได้ยากต้องกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ น้ำเสียที่มีเบสต้องผ่านการบำบัดก่อนปล่อยทิ้งและกรดไขมันกับน้ำจะรบกวนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

## 2. วิธีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถทำการเร่งปฏิกิริยาได้โดยใช้กรด Brønsted เช่น กรดซัลโฟนิก กรดซัลฟิวริก การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดจะให้เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง แต่มีข้อเสียคือจะเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ช้า โดยจะต้องทำในสภาวะที่อุณหภูมิมากกว่า 100 °C และใช้เวลามากกว่า 3 ชั่วโมงเป็นอย่างต่ำ เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะเริ่มต้นจากโปรตอนไปโปรโตเนตที่อะตอมออกซิเจนของหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ หลังจากนั้นจึงเกิดการชนด้วยนิวคลีโอไฟล์ของแอลกอฮอล์เกิดสารมัธยันต์ที่เป็นเตตระไฮดรอลชั้น โดยสารมัธยันต์นี้จะปล่อยกลีเซอรอลออกมาทำให้เกิดเอสเทอร์ใหม่และตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่ ดังแสดงในรูป 2.8



เมื่อ  $\text{R}'' = \text{Glyceride}$

$\text{R}' = \text{Carbon chain of fatty acid}$

$\text{R} = \text{Alkyl group of alcohol}$

รูปที่ 2.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดจะทำให้ได้ผลผลิตคือน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมากแต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก ในบางครั้งอาจใช้เวลามากกว่า 1 วันกว่าปฏิกิริยาจะเกิดอย่างสมบูรณ์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้เช่น ในน้ำมันที่ใช้แล้วเป็นต้น

### 3. วิธีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ไลเปส

เอนไซม์ไลเปสทั้งชนิด Extracellular lipases และ Intracellular lipases สามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระบบ Aqueous และ Non-Aqueous ดังแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ตารางแสดงการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตไบโอดีเซลระหว่างการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและการใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปัจจัย	กระบวนการผลิตโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	กระบวนการผลิตโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	กระบวนการผลิตโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
อุณหภูมิของปฏิกิริยา	60 – 70 °C	55 – 80 °C	30 – 40 °C
กรดไขมันอิสระในวัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์สูง	เมทิลเอสเทอร์	เมทิลเอสเทอร์
น้ำในวัตถุดิบ	รบกวนปฏิกิริยา	รบกวนปฏิกิริยา	ไม่มีผลกับปฏิกิริยา
%yield ของเมทิลเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง
ปริมาณกลีเซอรอลที่สามารถนำกลับมาได้	ยาก	ยาก	ง่าย
กระบวนการทำเมทิลเอสเทอร์ให้บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้องล้าง
ค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยา	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง

จะเห็นได้ว่าการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะสามารถแก้ปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลพลอยได้กลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้กระบวนการที่ซับซ้อน ส่วนกรดไขมันอิสระซึ่งมีอยู่ในน้ำมันของเสียและไขมันสามารถเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้ทั้งหมด แต่ในทางกลับกันกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้

เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่ากระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

#### 4. วิธีใช้ Supercritical Fluids

เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ Supercritical Methanol ทำได้โดยการให้ความร้อนที่ 350 °C เป็นเวลา 240 วินาที โดยจะทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์ขึ้น นอกเหนือจากนั้นเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จะเหมือนกันทุกประการกับกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและการใช้ Supercritical Methanol ยังทำให้ได้ %Yield ของผลิตภัณฑ์มากกว่าอีกด้วย จากการวิเคราะห์ทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในการใช้ Supercritical Methanol แสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจากสารตั้งต้นไปเป็นเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ 350 °C

เนื่องจากการใช้วิธีนี้เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงทำให้การทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์สามารถทำได้ง่ายมากขึ้นและเป็นมิตรกับธรรมชาติมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสซึ่งต้องกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์สบูที่เกิดขึ้นทั้งหมดออกไป อย่างไรก็ตามวิธีนี้ต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ความดัน และปริมาณเมทานอลที่สูงมาก ดังนั้นหากจะนำวิธีนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมจะต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการอย่างละเอียด เช่น วิธีการเพิ่มอัตราส่วนในการผลิต วิธีการทำให้สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง

### 2.3 เทคนิคที่ใช้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

#### 2.3.1 ค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification Value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D94 [9]

ค่าสะพอนิฟิเคชัน คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งค่าสะพอนิฟิเคชันเป็นค่าที่บ่งบอกถึง ขนาดของโมเลกุลหรือขนาดสายโซ่ของน้ำมันหรือไขมัน ค่าสะพอนิฟิเคชันที่ต่ำแสดงว่า น้ำมันหรือไขมันมีมวลโมเลกุลสูง และค่าสะพอนิฟิเคชันที่สูง แสดงว่า น้ำมันหรือไขมันมีมวลโมเลกุลต่ำ

#### 2.3.2 ค่าความเป็นกรด (Acid Value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D664 [10]

ค่าความเป็นกรด (Acid Value) คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ต้องการไปทำให้กรดไขมันที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง 1 กรัมให้เป็นกลาง ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเข้มข้นของกรดคาร์บอกซิลิกที่อยู่ในกรดไขมัน

### 2.3.3 ค่าความหนืด (Viscosity) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D445 [11]

ค่าความหนืด (Viscosity) คือค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการไหลและบอกถึงคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิว ดังนั้นค่าความหนืดในน้ำมันจึงมีความสำคัญมากในการใช้งานในเครื่องยนต์



## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer: Model Impact 410; Nicolet
2. Fourier-Transform NMR Spectrometer: Varian Mercury 400MHz
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง: Model PB3002-S; METTLER TOLEDO
4. Hotplate/Stirrer: CORNIG
5. Rotary Evaporator: Model R-200; BÜCHI
6. ชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์
7. Viscosity Bath: TV 4000; TAMSON

#### 3.2 สารเคมี

1. Hexane: analytical grade; Lab Scan
2. Toluene: analytical grade; Merck
3. Sodium Sulfate Anhydrous: analytical grade; Merck
4. Isopropyl Alcohol (IPA): analytical grade; Merck
5. Ethanol: analytical grade; Merck
6. Potassium Hydroxide: analytical grade; Merck
7. 37% Hydrochloric Acid: analytical grade; Merck
8. Methanol: analytical grade; Merck
9. 96% Sulfuric Acid: analytical grade; Merck
10. Phenolphthalein Indicator: analytical grade; Merck
11. Chloroform-D: NMR Spectroscopy grade; Merck

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### ตอนที่ 1 การสกัดไซปาล์มสเตียรินที่ได้จากน้ำมันปาล์ม

1. นำไซปาล์มสเตียรินที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มประมาณ 300 g ใส่ในเฮกเซนและคนด้วยแท่งคนแม่เหล็ก
2. นำสารผสมที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกเฮกเซนออกจากไซ
3. นำไซที่กรองเรียบร้อยแล้วตั้งทิ้งไว้ให้แห้งเพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกไป
4. จดบันทึกน้ำหนักของไซที่ได้

#### ตอนที่ 2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไซปาล์มสเตียริน

##### ตอนที่ 2.1 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไซที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

1. นำไซที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน 50 g ใส่ลงไปในขวดก้นกลม
2. เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% ของปริมาณสารตั้งต้น (2.5 g) เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. นำโซเดียมไฮดรอกไซด์มาละลายในเมทานอล โดยปริมาณเมทานอลที่ใช้ให้คำนวณจากอัตราส่วนของ ไซ:เมทานอลในอัตราส่วน 1:5 (250 g) และ 1:10 (500 g) แล้วนำสารละลายผสมมาเทลงไปในขวดก้นกลมขวดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
4. นำขวดก้นกลมมาต่อเข้ากับอุปกรณ์รีฟลักซ์
5. ทำการวัดอุณหภูมิของกระบอกด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ควบคุมอุณหภูมิของระบบให้คงที่ที่ประมาณ 65 °C
6. ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้แผ่น TLC (Thin-layer Chromatography) เป็นช่วงๆ โดยนำสารตัวอย่าง 1 หยดมาผสมกับเฮกเซน 20 หยด เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้กับสารตั้งต้น และใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ที่เป็นสารผสมระหว่าง Hexane: Ethyl Acetate ในอัตราส่วน 9:1
7. หลังจากปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์แล้ว นำสารละลายมาตั้งทิ้งไว้ในกรวยแยกเพื่อให้แยกชั้น ทำการเติมเฮกเซนเพื่อให้สารละลายแยกชั้นได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายมีค่า pH เป็นกลาง
8. ไซชั้นล่างที่เป็นชั้นน้ำออกไป นำชั้นบนของสารละลายมาดูน้ำออกโดยใช้โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสแล้วทำการกรองเอาโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสออกไป
9. นำสารละลายชั้นเฮกเซนที่ได้มาทำการระเหยเอาเฮกเซนออกโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator) ที่อุณหภูมิ 68 °C
10. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการระเหยเอาเฮกเซนออกมาชั่งน้ำหนักและจดบันทึกจากนั้นนำไปทำการพิสูจน์ทราบเอกลักษณ์ และวัดคุณสมบัติต่างๆ



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์

รูปที่ 3.2 เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน  
(Rotary Evaporator)

รูปที่ 3.3 สารละลายที่ทำการแยกชั้นในกรวยแยก ชั้นบนเป็นชั้นเฮกเซนส่วนชั้นล่างเป็นชั้นน้ำ

ตอนที่ 2.2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไซที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด

1. นำไซที่ได้จากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนแล้วมา 50 g ใส่ลงไปในขวดก้นกลม
2. เตรียมกรดซัลฟิวริก 5% ของปริมาณสารตั้งต้น (2.5 g) เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. นำกรดซัลฟิวริกผสมกับเมทานอล โดยปริมาณเมทานอลที่ใช้ให้คำนวณจากอัตราส่วนของไซ:เมทานอลในอัตราส่วน 1:5 (250 g) และ 1:10 (500 g) แล้วนำสารละลายผสมมาเทลงไปในขวดก้นกลมขวดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
4. นำขวดก้นกลมมาต่อเข้ากับอุปกรณ์รีฟลักซ์



5. ทำการวัดอุณหภูมิของกระบอกด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ควบคุมอุณหภูมิของระบบให้คงที่ที่ประมาณ 65 °C
6. ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้แผ่น TLC (Thin-layer Chromatography) เป็นช่วงๆ โดยนำสารตัวอย่าง 1 หยดมาผสมกับเฮกเซน 20 หยด เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้กับสารตั้งต้น และใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ที่เป็นสารผสมระหว่าง Hexane: Ethyl Acetate ในอัตราส่วน 9:1
7. หลังจากปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์แล้ว นำสารละลายมาตั้งทิ้งไว้ในกรวยแยกเพื่อให้แยกชั้น ทำการเติมเฮกเซนเพื่อให้สารละลายแยกชั้นได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายมีค่า pH เป็นกลาง
8. ทำการไขชั้นล่างที่เป็นชั้นน้ำออกไป นำชั้นบนของสารละลายมาดูน้ำออกโดยใช้โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสแล้วทำการกรองเอาโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสออกไป
9. นำสารละลายชั้นเฮกเซนที่ได้มาทำการระเหยเอาเฮกเซนออกโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator) ที่อุณหภูมิ 68 °C
10. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการระเหยเอาเฮกเซนออกมาชั่งน้ำหนักและจดบันทึก จากนั้นนำไปทำการพิสูจน์ทราบเอกลักษณ์ และวัดคุณสมบัติต่างๆ

### ตอนที่ 3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ตามวิธีมาตรฐานดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงวิธีมาตรฐานที่ใช้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

วิธีการทดสอบ	วิธีมาตรฐาน
ค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification Value)	ASTM D94
ค่าความเป็นกรด (Acid Value)	ASTM D664
ค่าความหนืด (Viscosity)	ASTM D445

#### ตอนที่ 3.1 การหาค่าสะพอนิฟิเคชันตามวิธีมาตรฐาน ASTM D94

ค่าสะพอนิฟิเคชัน คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งค่าสะพอนิฟิเคชันเป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าเฉลี่ยของมวลโมเลกุล หรือขนาดสายโซ่ของกรดไขมันทั้งหมด

1. ชั่งสารตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัมในขวดก้นกลมขนาด 250 ml
2. เติมทอลูอีนลงไป 20 ml จากนั้นเปิดสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอลความเข้มข้น 0.1 M ปริมาณ 25 ml และใส่ Boiling Chip หรือ Magnetic Bar ลงไป

- นำสารละลายมาต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์และทำการรีฟลักซ์ประมาณ 3 ชั่วโมงจากนั้นนำสารละลายมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- หยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไปในสารละลาย 2-3 หยด เพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานทุตติยภูมิกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 M จนกระทั่งสีชมพูหายไป
- บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานทุตติยภูมิกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ จากนั้นทำ Blank Test และคำนวณหาค่าสะพอนิฟิเคชันของสารตัวอย่าง

สามารถคำนวณหาค่าสะพอนิฟิเคชันโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification Value)} = \frac{(B-A)N \times M.W.}{C}$$

- เมื่อ
- A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานทุตติยภูมิ HCl ที่ใช้ไทเทรตกับสารตัวอย่าง (ml)
  - B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานทุตติยภูมิ HCl ที่ใช้ไทเทรตกับสารละลาย Blank (ml)
  - C = น้ำหนักของสารตัวอย่าง (g)
  - M.W. = มวลโมเลกุลของ KOH (56.1 g/mol)
  - N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทุตติยภูมิ HCl (M)

### ตอนที่ 3.2 การหาค่าความเป็นกรดตามวิธีมาตรฐาน ASTM D664

ค่าความเป็นกรด คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ต้องการไปทำให้กรดไขมันที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง 1 กรัม ให้เป็นกลาง ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นกรดของกรดคาร์บอกซิลิกที่อยู่ในกรดไขมัน

- ชั่งสารตัวอย่างประมาณ 0.5 g ในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 ml
- เติมสารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับทอลูอินปริมาตร 50 ml
- หยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไปในสารละลาย 2-3 หยด เพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานทุตติยภูมิโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 M จนกระทั่งสารละลายมีสีชมพูอย่างน้อย 10 วินาที
- บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานทุตติยภูมิโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ จากนั้นทำ Blank test และคำนวณหาค่าความเป็นกรดของสารตัวอย่าง

สามารถคำนวณหาค่าความเป็นกรดโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความเป็นกรด (Acid Value)} = \frac{(A - B) \times N \times M.W.}{W}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานทิตริยมิ KOH ที่ใช้ไทเทรตกับสารตัวอย่าง (ml)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานทิตริยมิ KOH ที่ใช้ไทเทรต  
กับสารละลาย Blank (ml)

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทิตริยมิ KOH (M)

M.W. = มวลโมเลกุลของ KOH (56.1 g/mol)

W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง (g)

### ตอนที่ 3.3 การหาค่าความหนืด (Viscosity) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D445

ค่าความหนืด (Viscosity) คือค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการไหลและบอกถึงคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิว ดังนั้นค่าความหนืดในน้ำมันจึงมีความสำคัญมากในการใช้งานในเครื่องยนต์

1. กดปุ่มเปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับ Viscosity Bath
2. กดปุ่ม Set Point ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 40 °C แล้วรอให้อุณหภูมิคงที่
3. ทำความสะอาด Viscometer ขนาด 150 โดยล้างให้สะอาดแล้วนำไปอบให้แห้ง
4. ค่อยๆ เทสารตัวอย่างลงในหลอดของ Viscometer ที่แห้งและเย็นแล้ว โดยให้ระดับของสารตัวอย่างอยู่ที่กึ่งกลางกระเปาะกลมจุด E ดังรูปที่ 3.4
5. ใส่ Viscometer ลงใน Holder แล้วทิ้งไว้สักพักเพื่อให้อุณหภูมิของสารตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิของน้ำใน Viscosity Bath
6. ใช้จุกยางอุดสารตัวอย่างในหลอด Viscometer ขึ้นมาจนระดับของสารตัวอย่างอยู่ที่กึ่งกลางของจุด A จากนั้นนำจุกยางออก รอจนสารตัวอย่างไหลลงไปถึงส่วนล่างของจุด B จึงเอานี้วมี้ออกได้
7. ทำการจับเวลาโดยเริ่มจับเวลาเมื่อสารตัวอย่างไหลผ่านจุด B และหยุดจับเวลาเมื่อสารตัวอย่างไหลมาถึงจุด D
8. นำเวลาที่ได้อ่านมาคำนวณหาค่าความหนืด

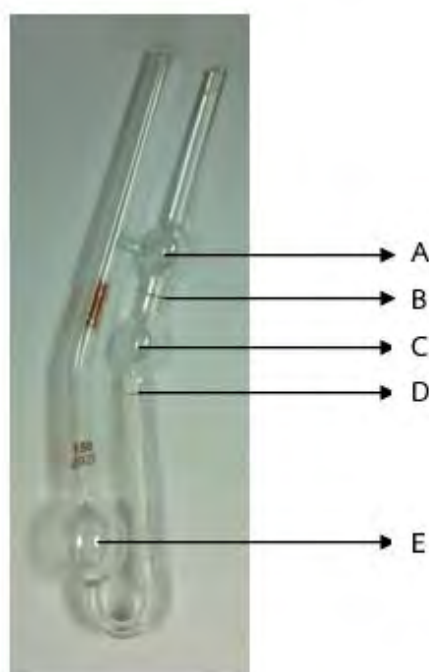
สามารถคำนวณหาค่าความหนืดโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความหนืด (Viscosity)} = C \times t$$

เมื่อ  $C$  = ค่าคงที่ของหลอด Viscometer

(Viscometer ขนาด 150 มีค่าคงที่ =  $0.035 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ )

$t$  = เวลาที่ใช้ในการทำให้สารตัวอย่างเคลื่อนที่จากจุด B ไปที่จุด D (s)



รูปที่ 3.4 หลอด Viscometer ที่ใช้ในการวัดความหนืด



รูปที่ 3.5 Viscosity Bath

#### ตอนที่ 4 การพิสูจน์ทราบเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปพิสูจน์ทราบเอกลักษณ์โดยใช้

1. Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer
2. Fourier-Transform NMR Spectrometer

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### ตอนที่ 1 การสกัดไขมันจากไขปาล์มสเตียรีนที่ได้จากน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 4.1 แสดงน้ำหนักของไขปาล์มสเตียรีนที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน

สารตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
แว็กซ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มหรือไขปาล์มสเตียรีน	300	300
แว็กซ์ที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซน	275	276

ตารางที่ 4.2 แสดงร้อยละผลได้ของไขปาล์มสเตียรีนที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน

สารตัวอย่าง	ร้อยละผลได้ของไขปาล์มสเตียรีน		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ไขปาล์มสเตียรีนที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซน	$\frac{275 \times 100}{300}$	$\frac{276 \times 100}{300}$	92
ค่าที่คำนวณได้	92	92	



รูปที่ 4.1



รูปที่ 4.2

รูปที่ 4.1 ไขปาล์มสเตียรีนที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม

รูปที่ 4.2 ไขปาล์มสเตียรีนที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน

ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติทางกายภาพของไซปาล์มสเตียริน

สมบัติ	ไซปาล์มสเตียริน	
	ไซปาล์มสเตียริน	ไซปาล์มสเตียรินที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน
สถานะ	ของแข็ง	ของแข็ง
สี	สีเหลืองอ่อน	สีเหลืองอ่อน
การละลาย		
น้ำ	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย
เฮกเซน	ละลายได้เล็กน้อย	ไม่ละลาย

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไซปาล์มสเตียร์น

ตารางที่ 4.4 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไซปาล์มสเตียร์นโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ครั้งที่	น้ำหนัก (g)			อัตราส่วนของ ไซ:เมทานอล	เวลาที่ใช้ (hrs.)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (g)	%Yield ที่แยกได้	%Conversion ( <sup>1</sup> H NMR)
	สารที่ใช้							
	ไซปาล์มสเตียร์น	NaOH	MeOH					
1	50	2.5	250	1:5	4	25	50	95
2	50	2.5	500	1:10	4	23	46	95

ตารางที่ 4.5 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไซปาล์มสเตียร์นโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ครั้งที่	น้ำหนัก (g)			อัตราส่วนของ ไซ:เมทานอล	เวลาที่ใช้ (hrs.)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (g)	%Yield ที่แยกได้	%Conversion ( <sup>1</sup> H NMR)
	สารที่ใช้							
	ไซปาล์มสเตียร์น	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MeOH					
1	50	2.5	250	1:5	14.5	40	80	95
2	50	2.5	500	1:10	14.5	34	68	98



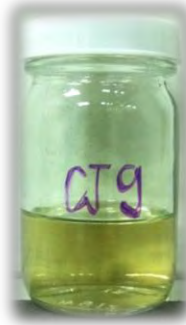
รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5



รูปที่ 4.6

รูปที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วน 1:5

รูปที่ 4.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วน 1:10

รูปที่ 4.5 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วน 1:5

รูปที่ 4.6 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วน 1:10

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตอนที่ 3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้		สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้										
		สถานะ	สี	ค่าสะพอนิฟิเคชัน (mgKOH/g)			ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)			ค่าความหนืด (cSt)		
ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนไฮ : Methanol			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ 1	1:5	ของเหลว	สีเหลืองใส	171	169	170	0.46	0.49	0.48	4.48	4.45	4.47
ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ 2	1:10	ของเหลว	สีเหลืองใส	170	170	170	0.49	0.49	0.49	4.27	4.27	4.27
ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ 1	1:5	ของเหลว	สีเหลืองใส	167	167	167	0.49	0.49	0.49	4.34	4.34	4.34
ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งที่ 2	1:10	ของเหลว	สีเหลืองใส	164	165	165	0.49	0.49	0.49	4.31	4.31	4.31

คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### ตอนที่ 4 การพิสูจน์ทราบเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปพิสูจน์ทราบเอกลักษณ์โดยใช้

3. Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer
4. Fourier-Transform NMR Spectrometer

ตารางที่ 4.7 ตารางการตีความ IR สเปกตรัม

Wave number (cm <sup>-1</sup> )					Assignment
ไฮปาล์มสเตียริน	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ ทำปฏิกิริยาทรานส์เอ สเทอริฟิเคชันโดยใช้ อัตราส่วน 1:5 และใช้ เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ ทำปฏิกิริยาทรานส์เอ สเทอริฟิเคชันโดยใช้ อัตราส่วน 1:10 และใช้ เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ ทำปฏิกิริยาทรานส์เอ สเทอริฟิเคชันโดยใช้ อัตราส่วน 1:5 และใช้ กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ ทำปฏิกิริยาทรานส์เอ สเทอริฟิเคชันโดยใช้ อัตราส่วน 1:10 และใช้ กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	
3478	-	-	-	-	O-H Stretching (จากความชื้น)
2916	2923	2923	2920	2923	C-H Stretching
2850	2852	2849	2852	2852	C-H Stretching
1743	1735	1742	1742	1745	C=O Stretching
1470	1462	1462	1468	1468	CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> deformation
-	1434	1434	1434	1431	CH <sub>2</sub> bending

ตารางที่ 4.8 การตีความ  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัม

ตัวอย่าง	Chemical shift (ppm)							
	a	b	c	d	e	f	g	h
ไซปาล์มสเตียริน	0.858	1.232	1.585	1.981	2.291	4.132 4.257	5.249 5.321	7.259
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	0.867	1.239	1.605	2.004	2.291	3.654	5.331	7.258
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	0.872	1.244	1.609	2.008	2.295	3.660	5.336	7.259
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	0.864	1.239	1.604	2.001	2.288	3.651	5.329	7.255
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	0.867	1.240	1.605	2.005	2.291	3.654	5.332	7.256

ตารางที่ 4.9 Integration ของ  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัม

ตัวอย่าง	Integration (mm)	
	e	f
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	1.00	1.43
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	1.00	1.43
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	1.00	1.43
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	1.00	1.47



## บทที่ 5

### วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

#### 5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

แก๊สที่ได้จากน้ำมันปาล์มหรือไขปาล์มสเตียรีนที่นำมาใช้ในการทดลองควรผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ก่อนที่จะนำไปใช้ในการศึกษาการสังเคราะห์ต่อไป ด้วยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย เพื่อแยกส่วนที่เป็นน้ำมันและสารเจือปนที่ไม่ต้องการออกไป เพื่อให้ได้ไขปาล์มสเตียรีนที่บริสุทธิ์

#### ตอนที่ 1 การสกัดไขปาล์มสเตียรีน

ในการสกัดไขปาล์มสเตียรีนด้วยตัวทำละลาย โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากไขปาล์มสเตียรีนที่นำมาทดลองเป็นไขปาล์มสเตียรีนที่แยกได้จากการผลิตน้ำมันปาล์ม ดังนั้นจึงใช้เฮกเซน ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว สกัดแยกส่วนของน้ำมันและสารเจือปนอื่นๆ ที่เจือปนอยู่ออกจากไขที่ใช้ พบว่าร้อยละผลได้ของไขปาล์มสเตียรีนที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซนเฉลี่ยคือ 92

ลักษณะทางกายภาพของไขปาล์มสเตียรีน และที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองอ่อนเช่นเดียวกัน เมื่อนำไปทดสอบสมบัติการละลาย พบว่าไขปาล์มสเตียรีนไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้เล็กน้อยในเฮกเซน

#### ตอนที่ 2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไขปาล์มสเตียรีน

##### การทดลองที่ 2.1 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไขปาล์มสเตียรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ไขปาล์มสเตียรีนและโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เท่ากัน แต่ปริมาณเมทานอลที่ใช้ต่างกัน โดยอัตราส่วนของไขต่อเมทานอลที่ใช้เป็น 1:5 และ 1:10 เวลาที่ใช้คือ 4 ชั่วโมงเท่ากัน แยกได้ผลิตภัณฑ์ 25g และ 23 g ตามลำดับและคำนวณเป็น %Yield ได้ 50% และ 46% ตามลำดับ  $^1\text{H}$  NMR แสดงการแปลงผันสูงถึงกว่า 95% ผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่แยกได้ต่ำกว่าอาจเนื่องมาจากการสูญเสียไปในกระบวนการแยก

## การทดลองที่ 2.2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไซปาล์มสเตียรินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด

จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ไซปาล์มสเตียรินและกรดซัลฟิวริกในปริมาณที่เท่ากัน แต่ปริมาณเมทานอลที่ใช้ต่างกัน โดยอัตราส่วนของไซต่อเมทานอลที่ใช้เป็น 1:5 และ 1:10 เวลาที่ใช้คือ 14.5 ชั่วโมงเท่ากัน แยกได้ผลิตภัณฑ์ 40 และ 34 g ตามลำดับและคำนวณเป็น %Yield ได้ 80% และ 68% ตามลำดับ การแปลงผันที่คำนวณจาก  $^1\text{H NMR}$  สูง 95% และเช่นกัน ผลที่แยกได้ต่ำกว่าเนื่องจากการสูญเสียไปในกระบวนการการแยก

จากผลการวิเคราะห์ IR สเปกตรัม พบว่า สเปกตรัมที่ได้สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์เมทิลสเตียเรท ซึ่งแสดงพีคสำคัญของ  $\text{C}=\text{O}$  ที่เป็นเอกลักษณ์ของเอสเทอร์ที่  $1742\text{ cm}^{-1}$  และ  $\text{CH}_3$  bending ที่ประมาณ  $1434\text{ cm}^{-1}$

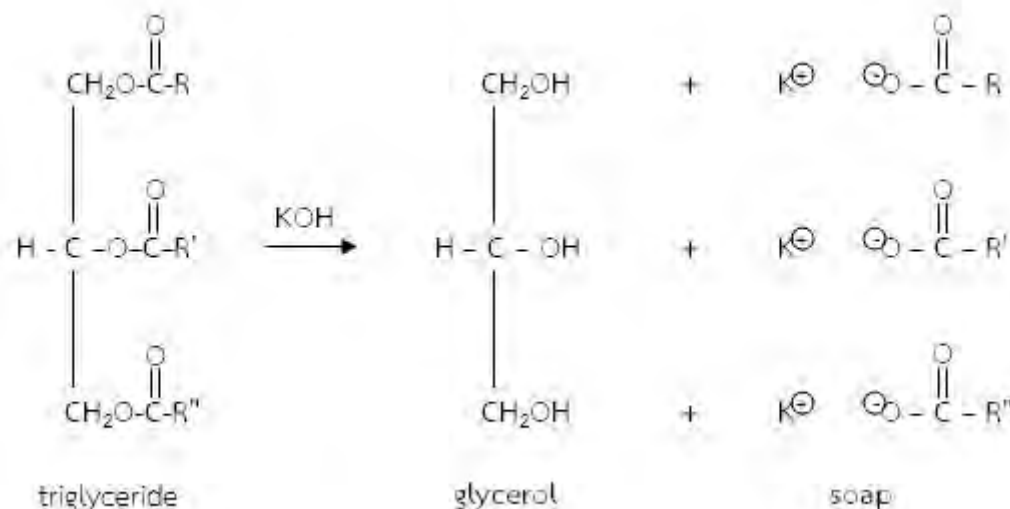
จากผลการวิเคราะห์  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของไซปาล์มสเตียรินที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน พบตำแหน่ง f เกิดสัญญาณ Chemical shift  $\delta_{\text{H}}$  ที่ช่วง 4.132-4.257 ppm ซึ่งเป็นของโปรตอนของ  $-\text{CH}_2-\text{O}$  แต่ไม่พบการเกิดสัญญาณที่ตำแหน่งนี้ในผลิตภัณฑ์ จึงสามารถระบุได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นสารตัวใหม่ซึ่งเป็นคนละตัวกับสารตั้งต้น แสดงว่าเกิดปฏิกิริยา โดยตำแหน่ง f ของผลิตภัณฑ์เป็นของโปรตอนของ  $\text{CH}_3-\text{O}-$  ของเมทิลเอสเทอร์ และจาก  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัม สามารถนำมาคำนวณหาค่า %Conversion ได้โดยคำนวณค่า Chemical Shift  $\delta_{\text{H}}$  ที่ตำแหน่ง f ซึ่งเป็นของโปรตอนของ  $\text{CH}_3-\text{O}$  ของเมทิลเอสเทอร์ เทียบกับค่า Chemical Shift  $\delta_{\text{H}}$  ในตำแหน่ง e ซึ่งเป็นของโปรตอนของ  $-\text{CH}_2-\text{O}$  ซึ่งยังคงเท่าเดิมตั้งแต่สารตั้งต้นเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ พบว่าค่า %Conversion ที่คำนวณจาก  $^1\text{H NMR}$  ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 และ 1:10 และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 และ 1:10 เป็นดังนี้คือ 95, 95, 95 และ 98% ตามลำดับ แสดงว่าเกิดผลิตภัณฑ์ได้ดีด้วยผลได้ที่สูง

## ตอนที่ 3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 และ 1:10 และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 และ 1:10 มีลักษณะเช่นเดียวกันทั้งหมด คือมีสถานะเป็นของเหลวและมีสีเหลืองใส

### การทดลองที่ 3.1 การหาค่าสะพอนิฟิเคชันตามวิธีมาตรฐาน ASTM D94

ค่าสะพอนิฟิเคชัน คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งค่าสะพอนิฟิเคชันเป็นค่าที่บ่งบอกถึงขนาดของโมเลกุลหรือขนาดสายโซ่ของน้ำมันหรือไขมัน โดยมีสมการการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ดังนี้



รูปที่ 5.1 สมการการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน

จากผลการทดลองพบว่า ค่าสะพอนิฟิเคชันของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 และ 1:10 และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 และ 1:10 เป็นดังนี้คือ 170, 170, 167 และ 165 mgKOH/g ซึ่งแสดงถึงขนาดโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่ามีขนาดปานกลาง ซึ่งในปฏิกิริยาที่ทำการศึกษานี้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เมทิล สเตียเรท ซึ่งมีมวลโมเลกุล 298

### การทดลองที่ 3.2 การหาค่าความเป็นกรดตามวิธีมาตรฐาน ASTM D664

ค่าความเป็นกรด คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ต้องการไปทำให้กรดไขมันที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง 1 กรัม ให้เป็นกลาง ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงจำนวนหมู่คาร์บอกซิลิกที่อยู่ในกรดไขมัน 1 กรัม

จากผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 และ 1:10 และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 และ 1:10 เป็นดังนี้คือ 0.48, 0.49, 0.49 และ 0.49 mgKOH/g ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน (<0.50) สำหรับการใช้เป็นไบโอดีเซล ดังนั้น สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้เป็นไบโอดีเซลได้

### การทดลองที่ 3.3 การหาค่าความหนืด (Viscosity) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D445

ค่าความหนืด (Viscosity) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการไหลและบอกถึงคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิว ดังนั้น ค่าความหนืดในน้ำมันจึงมีความสำคัญมากในการใช้งานในเครื่องยนต์

จากการทดลองพบว่า ค่าความหนืดเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 และ 1:10 และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยมวล 1:5 และ 1:10 เป็นดังนี้คือ 4.47, 4.27, 4.34 และ 4.31 cSt ตามลำดับ ซึ่งความหนืดที่ได้อยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน (3.5-5.0 cSt) สำหรับการใช้เป็นไบโอดีเซล

## 5.2 สรุปผลการทดลอง

การสกัดแยกแวกซ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มหรือไขปาล์มสเตียรีนด้วยตัวทำละลาย โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย สามารถสกัดแยกส่วนของน้ำมันและสารเจือปนอื่นๆ ออกจากไขปาล์มสเตียรีนได้ ซึ่งมีร้อยละผลได้ของไขที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนเฉลี่ยคือ 92 มีลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็งสีเหลืองอ่อนไม่ละลายน้ำและไม่ละลายในเฮกเซน

เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไขปาล์มสเตียรีนที่ได้กับเมทานอลโดยใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1:5 มีค่าสะพอนิฟิเคชันเฉลี่ย ค่าความเป็นกรดเฉลี่ย และค่าความหนืดเฉลี่ย ดังนี้คือ 170 mgKOH/g, 0.48 mgKOH/g และ 4.47 cSt ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1:10 มีค่าสะพอนิฟิเคชันเฉลี่ย ค่าความเป็นกรดเฉลี่ย และค่าความหนืดเฉลี่ย ดังนี้คือ 170 mgKOH/g, 0.49 mgKOH/g และ 4.27 cSt ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1:5 มีค่าสะพอนิฟิเคชันเฉลี่ย ค่าความเป็นกรดเฉลี่ย และค่าความหนืดเฉลี่ย ดังนี้คือ 167 mgKOH/g, 0.49 mgKOH/g และ 4.34 cSt ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1:10 มีค่าสะพอนิฟิเคชันเฉลี่ย ค่าความเป็นกรดเฉลี่ย และค่าความหนืดเฉลี่ย ดังนี้คือ 165 mgKOH/g, 0.49 mgKOH/g และ 4.31 cSt ตามลำดับ

ผลิตภัณฑ์เมทิลสเตียเรทที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของแวกซ์หรือไขปาล์มสเตียรีนกับเมทานอลโดยใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นไบโอดีเซลได้ เนื่องจากมีค่าสะพอนิฟิเคชัน ค่าความเป็นกรด และค่าความหนืดที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล



### 5.3 ข้อเสนอแนะ

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของแวกซ์หรือไขปาล์มสเตียรีนกับเมทานอลโดยใช้เบสและกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์เมทิลสเตียเรทด้วยการแปลงผันสูงกว่า 95% จากการหาโดย  $^1\text{H NMR}$  ส่วนร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่แยกได้ต่ำกว่ามากเนื่องจากสูญเสียไปจากกระบวนการแยก ดังนั้น จึงควรระมัดระวังในกระบวนการแยกนี้ จากข้อมูลที่ได้ ค่าต่างๆ อยู่ในช่วงของไบโอดีเซล น่าจะนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เป็นไบโอดีเซลได้

นอกจากนี้ น่าจะมีงานวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าของไขปาล์มสเตียรีนโดยการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ต่อไป



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Endlein, E.; Peleikis, K.-H., Natural Waxes – Properties, Compositions and Applications. *SOFW*.**2011**, *137*, 1-8.
- [2] Williams, D.F., Waxes Used in Cosmetics. In *Chemistry & Manufacture of Cosmetics*; Book 2; Vol. 3; **2000**, 1089.
- [3] Deswarte, F.E.I.; Clark, J.H.; Hardy, J.J.E.; Rose, P.M., The Fractionation of Valuable Wax Products from Wheat Straw Using CO<sub>2</sub>. *GC*.**2006**,*8*, 39-42.
- [4] Magdy, T.Z.; Nermen, H.M.; Amal, S.F., Separation of Different Paraffin Wax Grades Using Two Comparative Deoiling Techniques. *Fuel Process. Technol.* **2007**,*88*, 913-920.
- [5] Deswarte, F.E.I.; Clark, J.H.; Hardy, J.J.E., Isolation and Fractionation of Waxes from Plants. Patent WO2006082437, Aug 10, 2006.
- [6] Sellami, M.; Ghamgui, H.; Frikha, F.; Gargouri, Y.; Miled, N., Enzymatic Transesterification of Palm Stearin and Olein Blends to Produce Zero-trans Margarine Fat. *BMC Biotechnology*.**2012**, *12*, 1-8.
- [7] Othmer, waxes K. Concise Encyclopedia of Chemical Technology. 3 rd ed., NY: John & Son, (1985), 1259-1260.
- [8] Kolattukudy, P.E., Chemistry and Biochemistry of Natural Waxes. *Elsevier*.**1978**, 271-292.
- [9] ASTM D94-02 (2002): Standard Test Methods for Saponification Number of Petroleum Products; American Society for Testing Materials: West Conshohocken, PA, **2002**.
- [10] ASTM D-664-06 (2006): Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration; American Society for Testing Materials: West Conshohocken, PA, **2006**.
- [11] ASTM D-445-06 (2006): Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity); American Society for Testing Materials: West Conshohocken, PA, **2006**.



ภาคผนวก

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

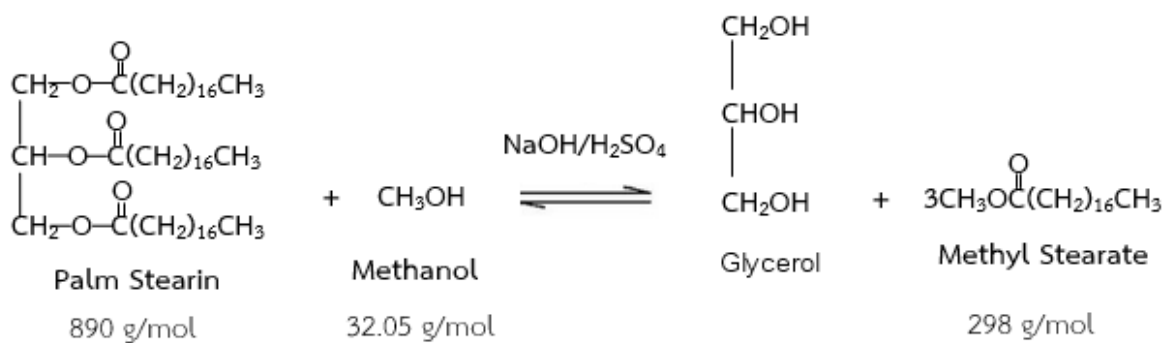


ภาคผนวก ก

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การคำนวณ %Yield

จากสมการการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน



หาสารกำหนดปริมาณ

$$\text{mol Palm Stearin} = \frac{\text{น้ำหนักที่ใช้เป็นสารตั้งต้น}}{\text{มวลโมเลกุล}} = \frac{50 \text{ g}}{890 \text{ g/mol}} = 0.056 \text{ mol}$$

$$\text{mol Methanol} = \frac{250 \text{ g}}{32.05 \text{ g/mol}} = 7.8 \text{ mol}$$

ดังนั้น Palm Stearin เป็นสารกำหนดปริมาณ เราสามารถคำนวณหาน้ำหนัก Methyl Ester ซึ่งเป็นผลผลิตตามทฤษฎีได้ดังนี้

$$\text{g Methyl Stearate} = 0.056 \text{ mol} \times 3 \times 298 \text{ g/mol} = 50.06 \text{ g}$$

สามารถคำนวณ %Yield ได้จากสมการ

$$\% \text{Yield} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100\%$$

- ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขปาล์มสเตียริน โดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\%Yield = \frac{25 \text{ g}}{50.06 \text{ g}} \times 100\% = 50\%$$

- ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขปาล์มสเตียรินโดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\%Yield = \frac{23 \text{ g}}{50.06 \text{ g}} \times 100\% = 46\%$$

- ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขปาล์มสเตียรินโดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\%Yield = \frac{40 \text{ g}}{50.06 \text{ g}} \times 100\% = 80\%$$

- ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขปาล์มสเตียรินโดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\%Yield = \frac{34 \text{ g}}{50.06 \text{ g}} \times 100\% = 68\%$$

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การคำนวณ %Conversion

$$\%Conversion = \left( \frac{A_{\text{product}}}{n_{\text{proton of product}}} \div \frac{A_{\text{reactant}}}{n_{\text{proton of reactant}}} \right) \times 100$$

- ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไฮปาล์มสเตียริน โดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\begin{aligned} \%Conversion &= \left( \frac{1.43}{3} \div \frac{1.00}{2} \right) \times 100 \\ &= 95 \end{aligned}$$

- ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไฮปาล์มสเตียรินโดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\begin{aligned} \%Conversion &= \left( \frac{1.43}{3} \div \frac{1.00}{2} \right) \times 100 \\ &= 95 \end{aligned}$$

- ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไฮปาล์มสเตียรินโดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\begin{aligned} \%Conversion &= \left( \frac{1.43}{3} \div \frac{1.00}{2} \right) \times 100 \\ &= 95 \end{aligned}$$

- ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไฮปาล์มสเตียรินโดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

$$\begin{aligned} \%Conversion &= \left( \frac{1.47}{3} \div \frac{1.00}{2} \right) \times 100 \\ &= 98 \end{aligned}$$

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงค่ามาตรฐานสำหรับไบโอดีเซล

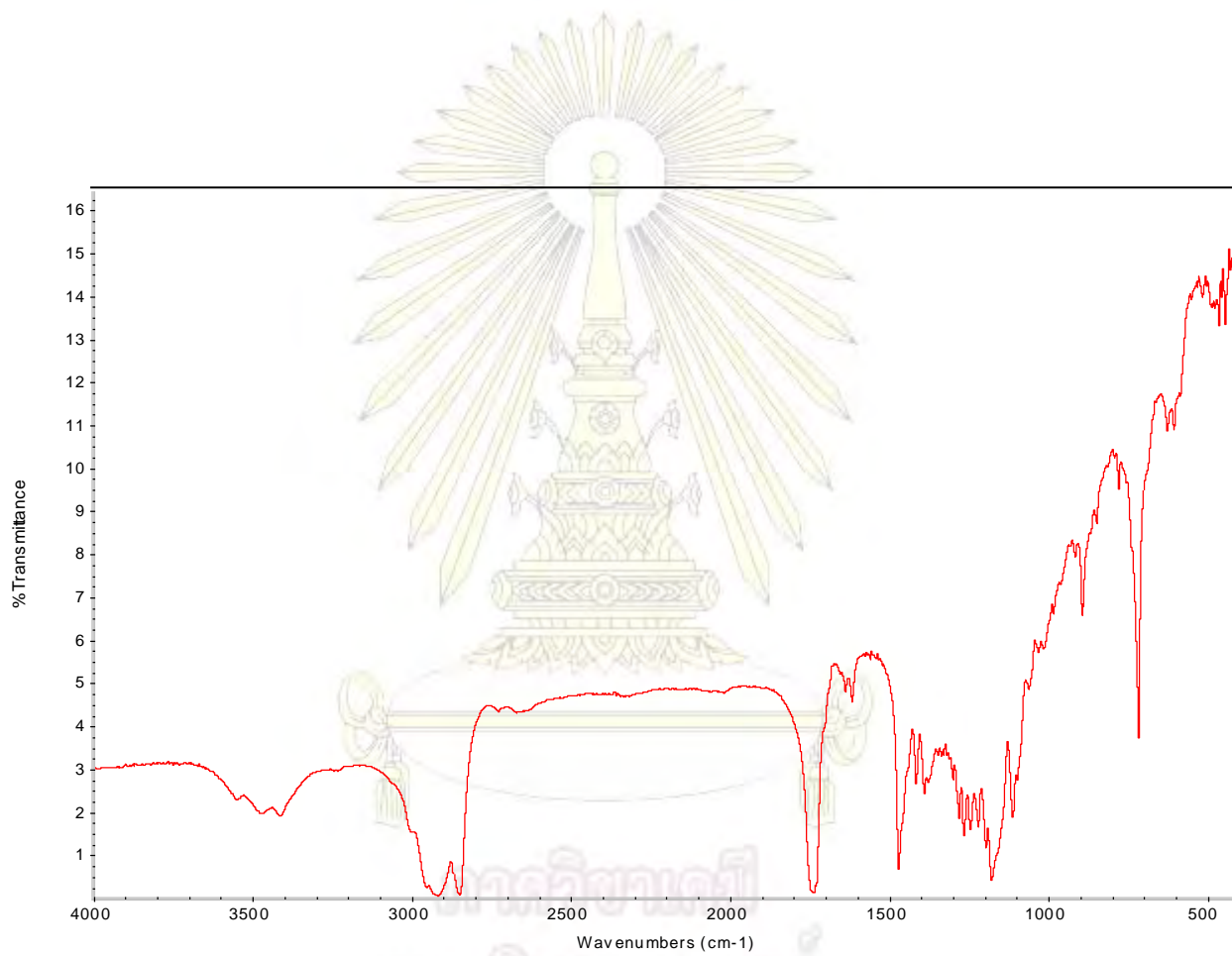
Characteristic	Method of standard	Value
Methyl ester, wt. %	EN 14103	>96.5
Density at 15°C, kg/m <sup>3</sup>	ASTM D1298	860-900
Viscosity at 40 °C, cSt	ASTM D445	3.5-5.0
Flash point, °C	ASTM D93	>120
Sulfur, wt. %	ASTM D2622	<0.0010
Carbon residue, wt. %	ASTM D4530	<0.30
Cetane number	ASTM D613	>51
Sulfate ash, wt. %	ASTM D874	<0.02
Water, wt. %	ASTM D2709	<0.050
Total contaminate, wt. %	ASTM D5452	<0.0024
Copper strip corrosion	ASTM D130	<96.5
Oxidation stability at 110 °C, h	EN 14112	>6
Acid value, mg KOH/g	ASTM D664	<0.50
Iodine value, g iodine/100 g	EN 14111	<120
Linolenic acid methyl ester, wt. %	EN 14103	<12
Methanol, wt. %	EN 14110	<0.20
Monoglyceride, wt. %	EN 14105	<0.80
Diglyceride, wt. %	EN 14105	<0.20
Triglyceride, wt. %	EN 14105	<0.20
Free glycerin, wt. %	EN 14105	<0.02
Total glycerin, wt. %	EN 14105	<0.25
Group I metals (Na+K)	EN 14108, EN 14109	<5.0
Group II metals (Ca+Mg)	EN 14538	<5.0
Phosphorous, wt. %	ASTM D4951	<0.0010





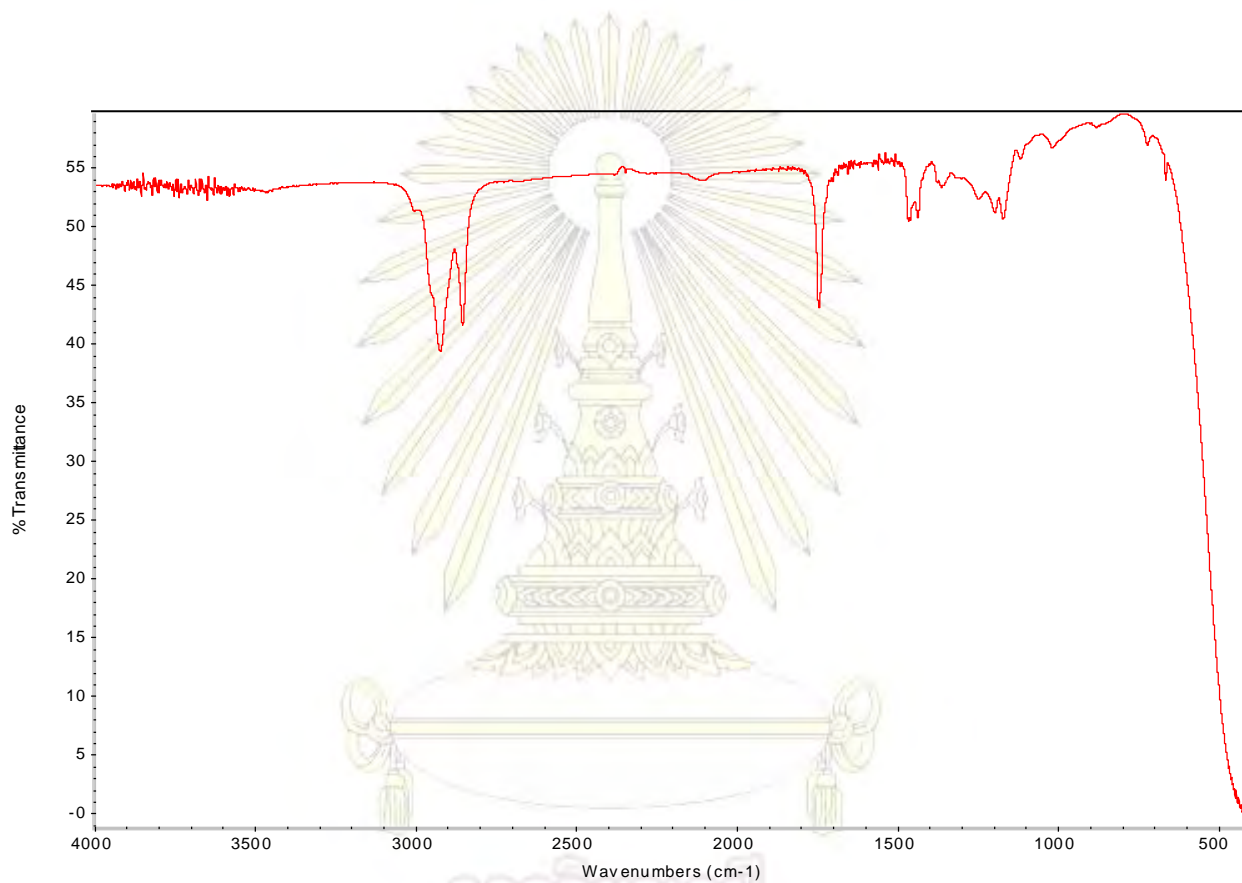
ภาคผนวก ข

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข 1 IR spectrum ของไซปาล์มสเตียรินที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน

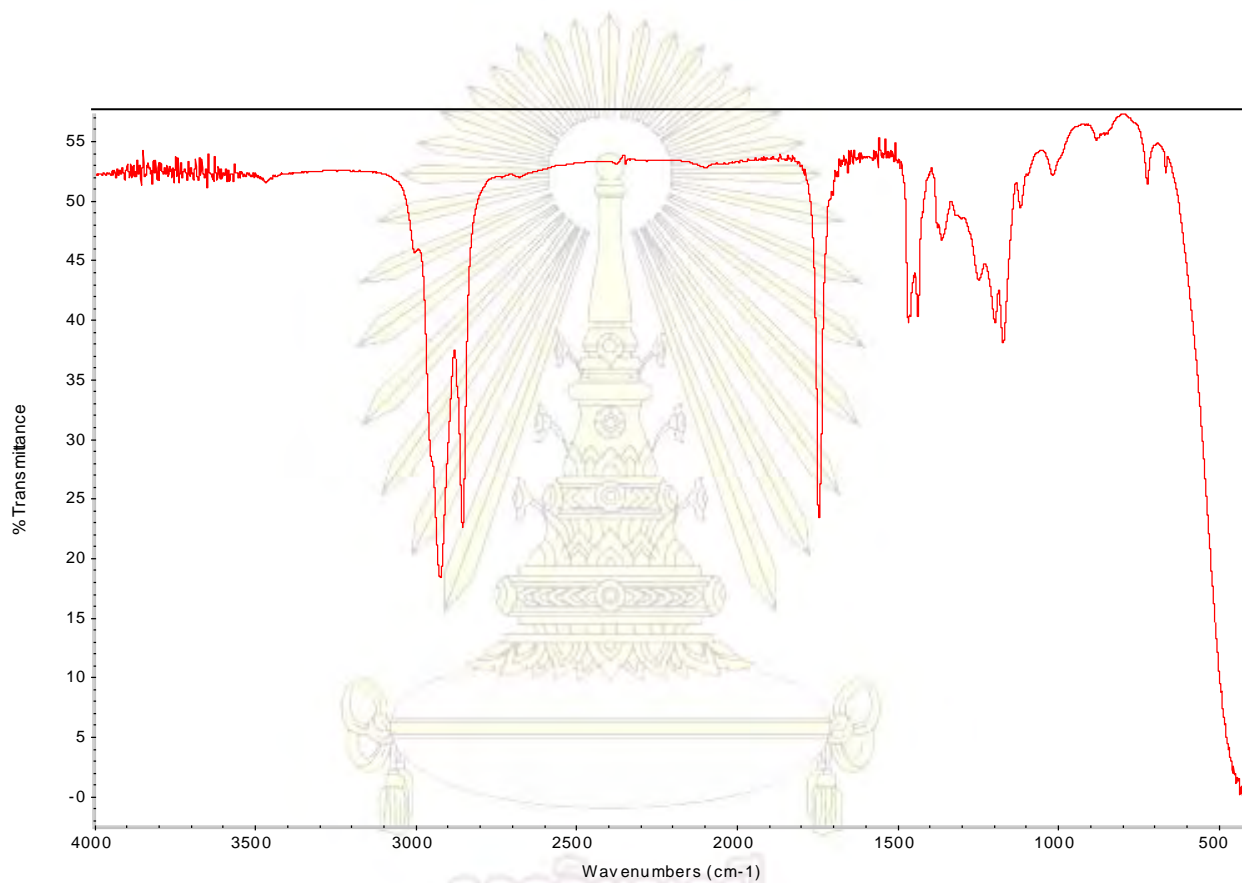
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข2 IR spectrum ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไฮปาล์มสเตียริน

โดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

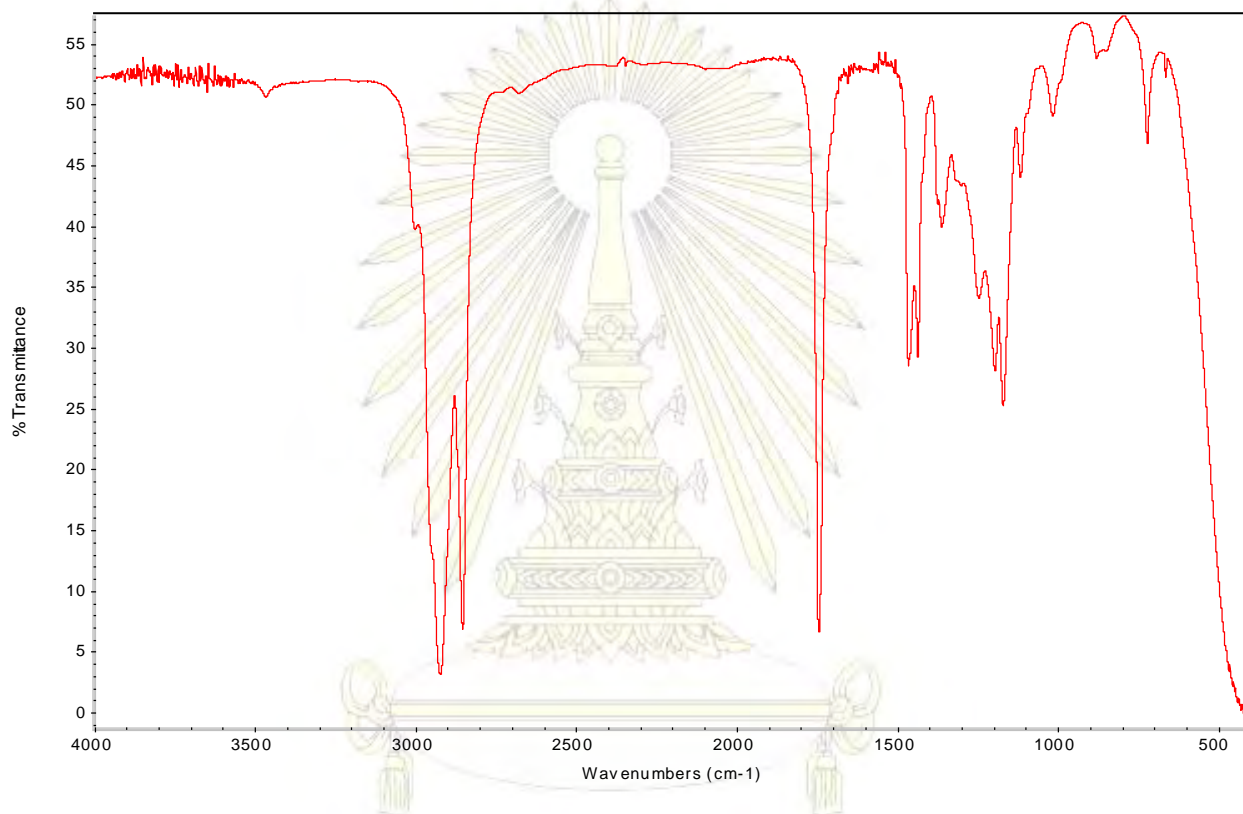
ภาควิชาเคมี  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข 3 IR spectrum ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขปาล์มสเตียริน

โดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

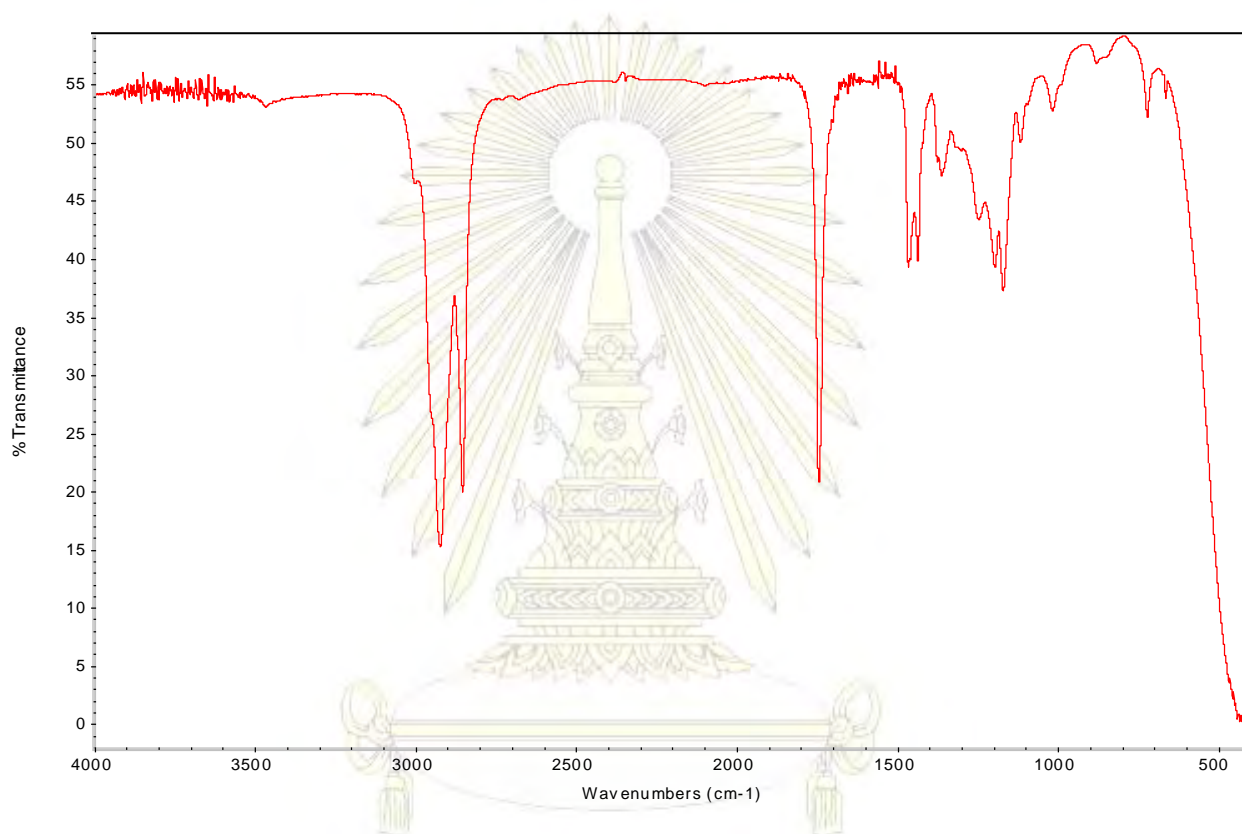
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข 4 IR spectrum ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขปาล์มสเตียริน

โดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข 5 IR spectrum ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขปาล์มสเตียริน

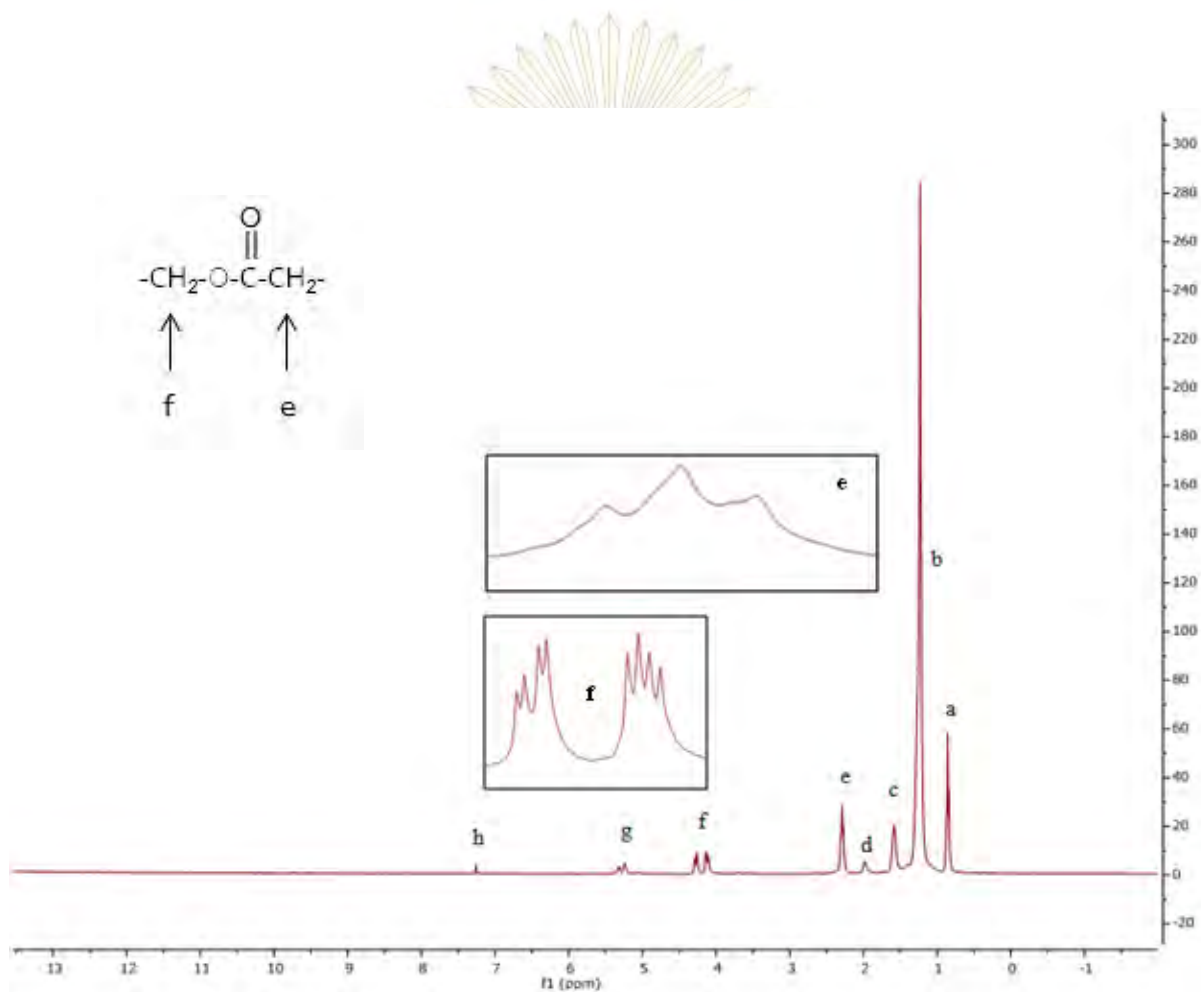
โดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

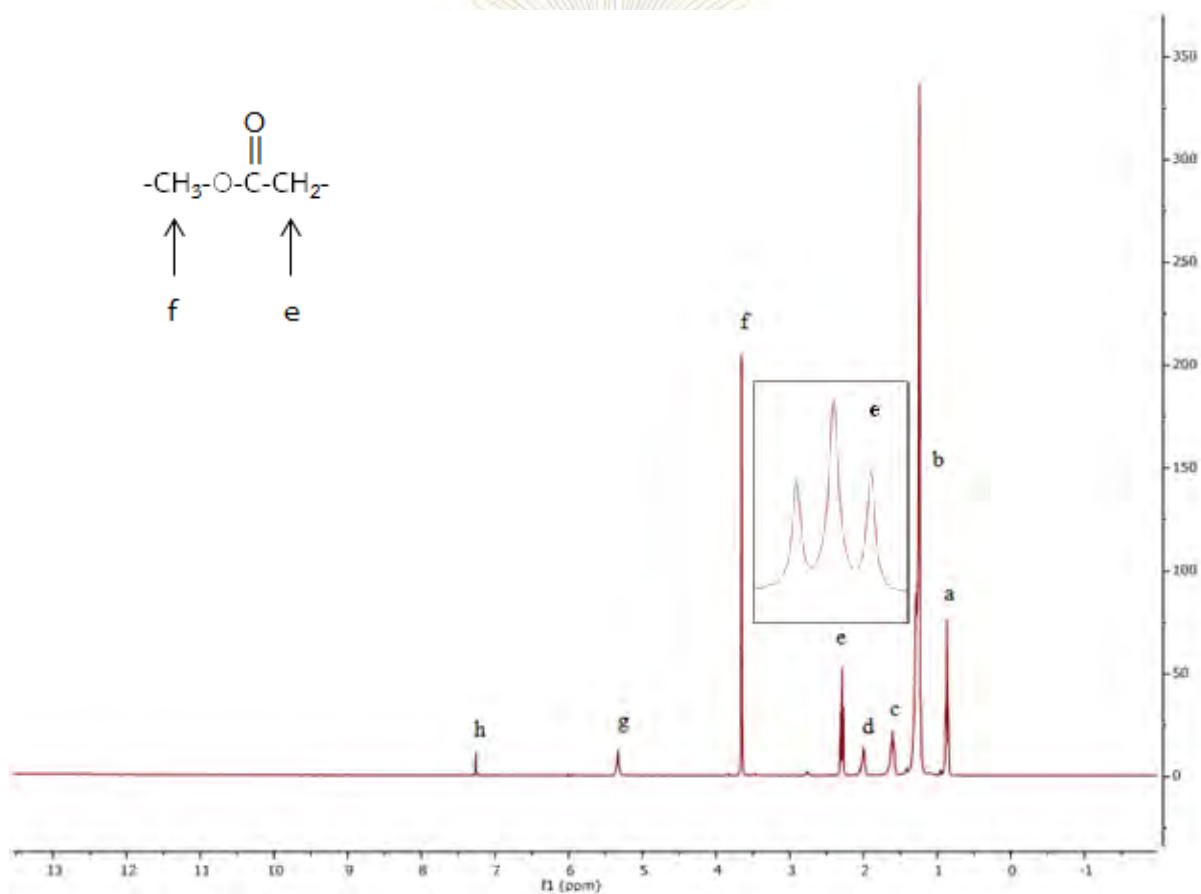
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



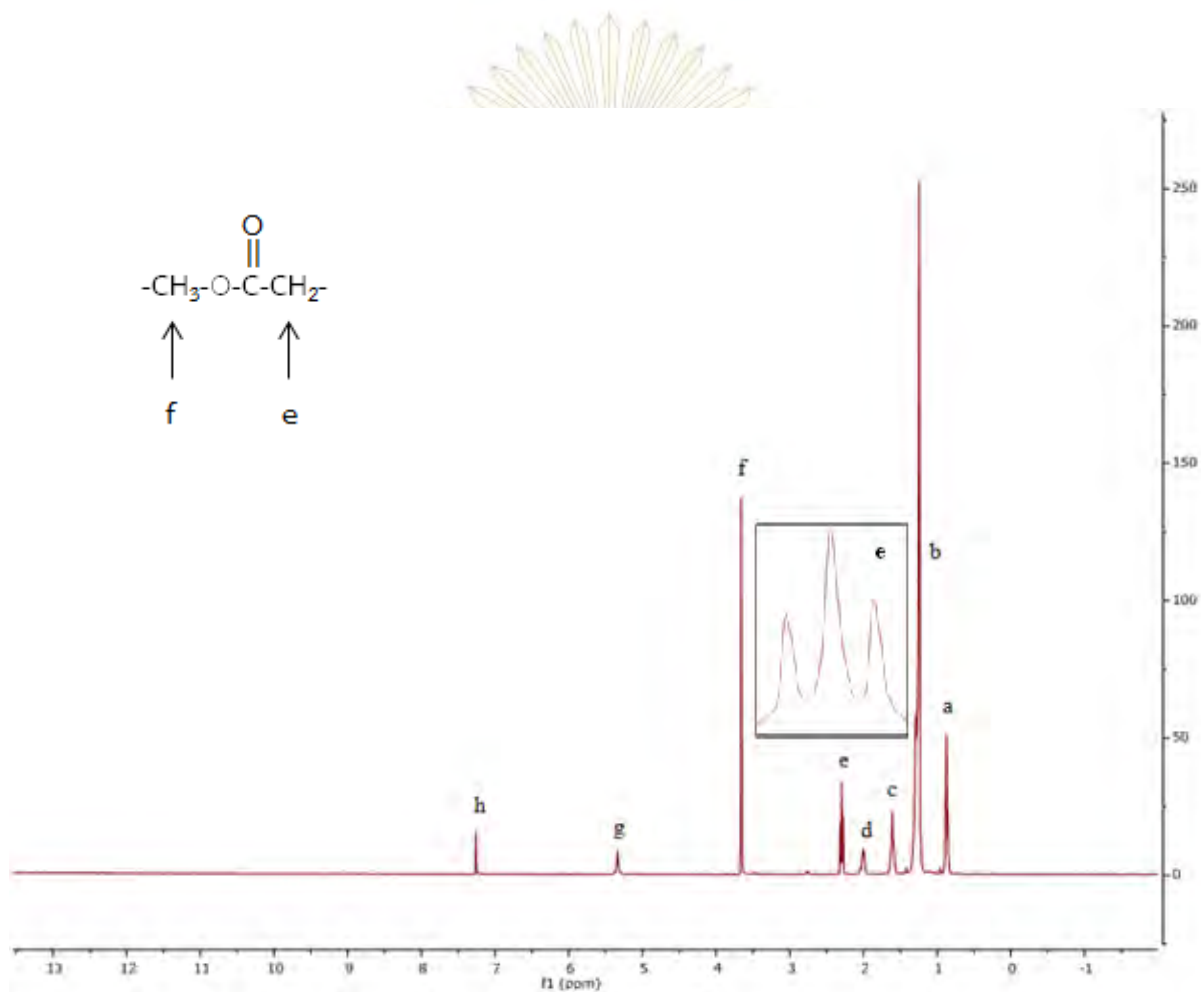
รูปที่ ค 1  $^1\text{H-NMR}$  spectrum ของไฮพอลิมสเทียริน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

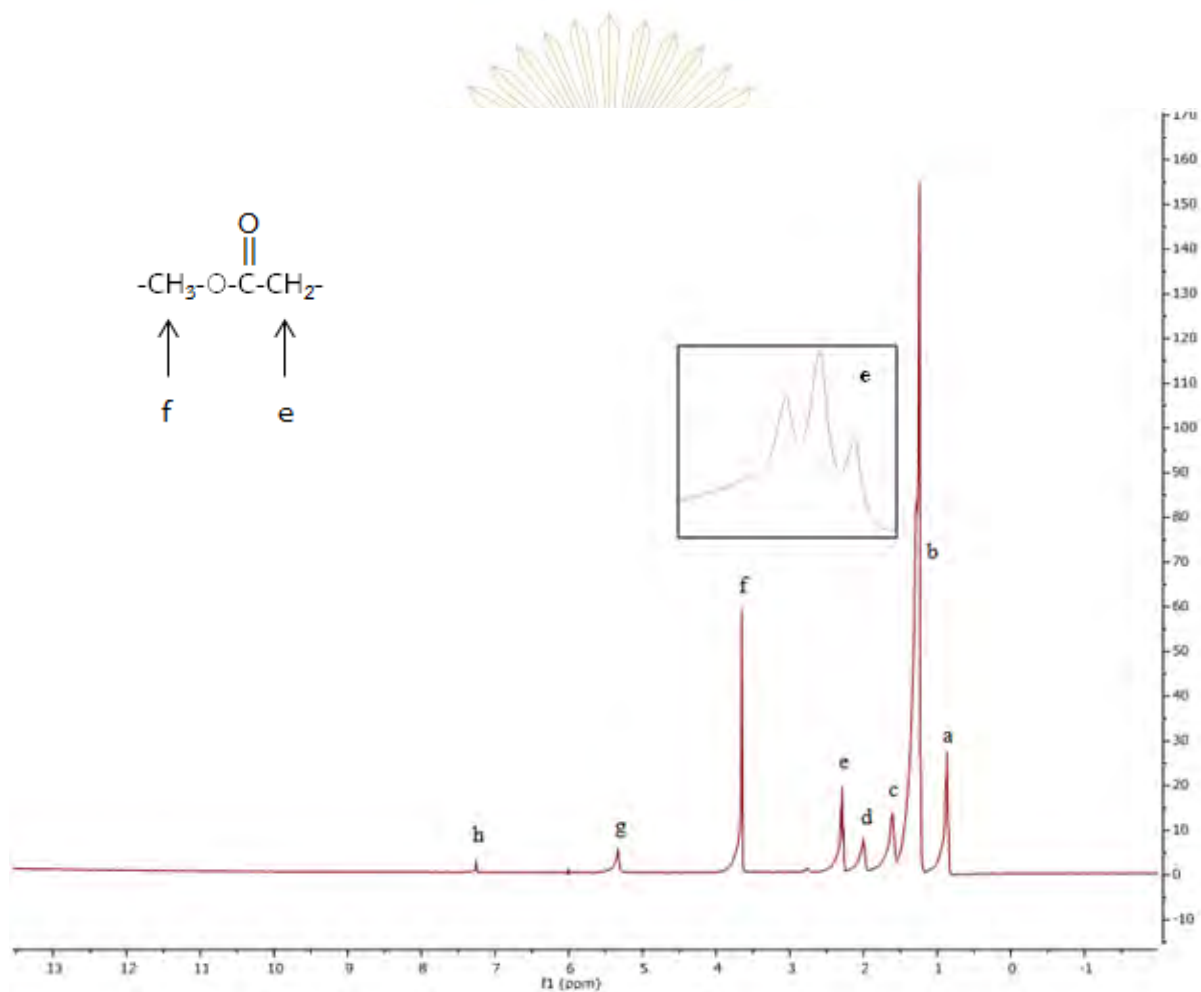




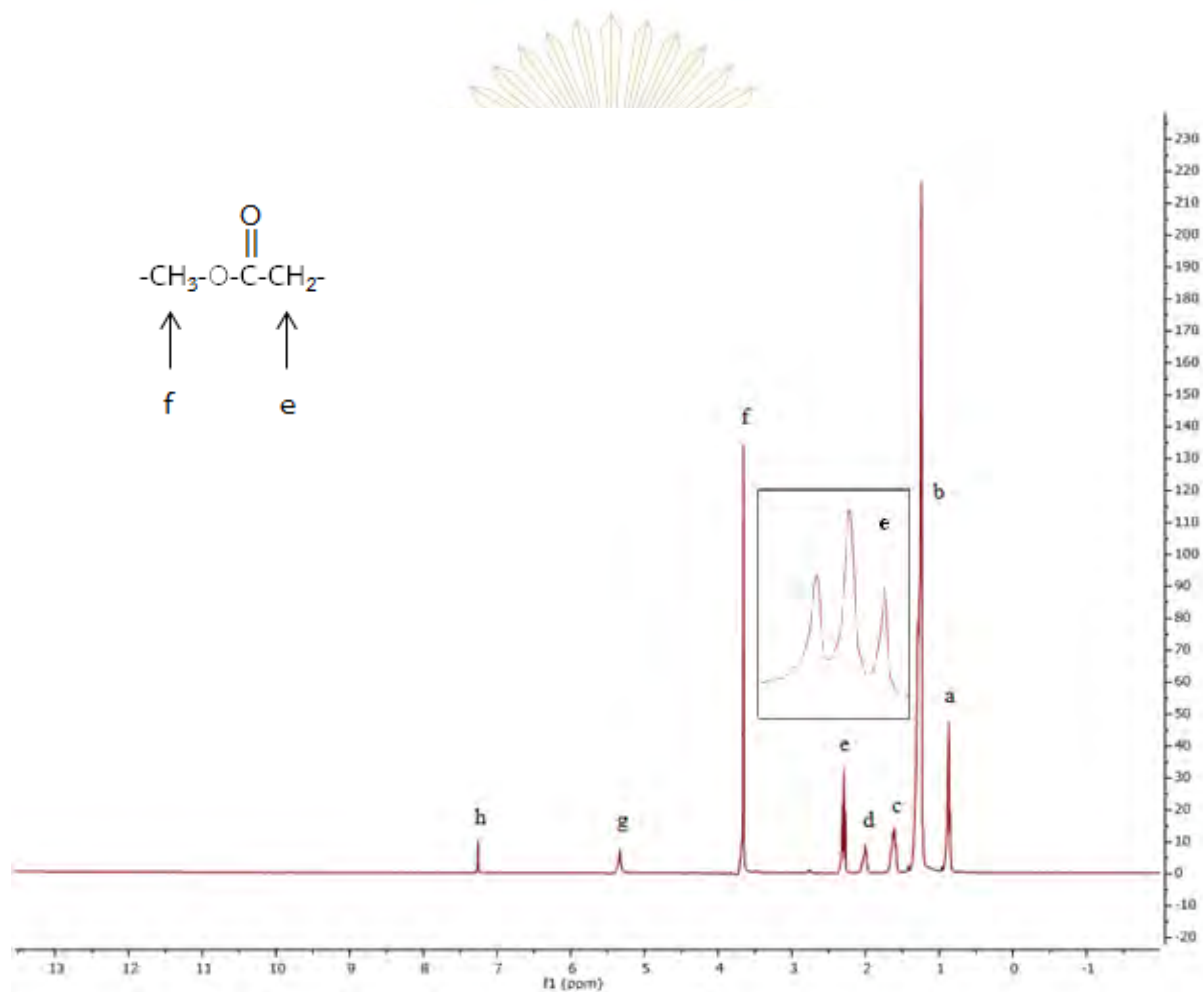
รูปที่ ค 2  $^1\text{H-NMR}$  spectrum ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน  
ของไขมันปาล์มสเตียรีนโดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ ค 3  $^1\text{H-NMR}$  spectrum ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน  
ของไฮปาล์มสเตียร์นโดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ ค 4  $^1\text{H-NMR}$  spectrum ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน  
ของไฮปาล์มสเตียร์นโดยใช้อัตราส่วน 1:5 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ ค 5  $^1\text{H-NMR}$  spectrum ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน  
ของไซปาล์มสเตียร์นโดยใช้อัตราส่วน 1:10 และใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

## ประวัติผู้วิจัย

นางสาวณัฐกฤตา บุญสนอง เกิดเมื่อวันที่ 5 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2536 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนกวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต จังหวัดปทุมธานี เมื่อปีการศึกษา 2553 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2554 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจากจบการศึกษาระดับปริญญาตรี บ้านเลขที่ 80 ซอยรังสิต-ปทุมธานี 19 ตำบลประชาธิปไตย อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12130

นางสาวณัฐธัญญา ประดิษฐ์ค่าย เกิดเมื่อวันที่ 22 เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2537 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนกวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนสุนทรวิทยา จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปีการศึกษา 2553 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2554 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจากจบการศึกษาระดับปริญญาตรี บ้านบุปผรัตน์ณัฐราษฎร์ถาวร เลขที่ 89 หมู่ 14 ตำบลบ้านปรางค์ อำเภอคง จังหวัดนครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30260

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย