

พื้นผิวไม่ชอบน้ำบนเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า  
ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

พื้นผิวไม่ชอบน้ำบนเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า  
ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HYDROPHOBIC SURFACE ON OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH  
(OPEFB) FIBER BY TRANSESTERIFICATION



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปริญญานิพนธ์เรื่อง	พื้นผิวไม่ชอบน้ำบนเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
โดย	นางสาวนิธิพร การสมเจตน์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับไบโอดีเซล โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อที่จะเพิ่มความไม่ชอบน้ำให้กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า โดยทำการทดลองปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่หลายสภาวะ เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าแห้งถูกปรับสภาพโดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน สามารถวิเคราะห์การเกิดพื้นผิวไม่ชอบน้ำโดยการทดสอบหยดน้ำลงบนพื้นผิวของเส้นใยที่อัดเป็นเม็ดและฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) ซึ่งสภาวะที่ดีที่สุดคือ การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยกรดซัลฟิวริกและทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที การหยดน้ำบนเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและหลังทำปฏิกิริยาแสดงให้เห็นว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีความไม่ชอบน้ำมากกว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา การวิเคราะห์ FTIR ซึ่งให้เห็นว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มี C-H stretching มากกว่าและมีหมู่ไฮดรอกซิลน้อยกว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งเป็นการยืนยันว่าเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันขึ้น

Report Title           Hydrophobic Surface on Oil Palm Empty Fruit Bunch  
                                 (OPEFB) Fiber by Transesterification

By                         Miss Nithiporn Kansomjet

Degree                 Bachelor of Engineering

Program                Chemical Engineering

Year                    2017

Advisor                Assoc.Prof.Dr. Prakob Kitchaiya

### ABSTRACT

This research study on surface modification of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) fiber by transesterification reaction with biodiesel using potassium hydroxide catalyst in order to increase the hydrophobicity. Transesterification of OPEFB and biodiesel was synthesized at vary conditions. Dried OPEFB was pretreated by sulfuric acid and sodium hydroxide hydrolysis before transesterification. The modified OPEFB was characterized by water drop on OPEFB surface disc and fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The best condition for surface modification is OPEFB was pretreated by sulfuric acid and transesterification at temperature 200°C and reaction time 60 minutes. Water drop on OPEFB surface of unmodified and modified OPEFB showed that the modified OPEFB is more hydrophobic. FTIR analysis indicated that the modified OPEFB is more C-H stretching and lesser hydroxyl group. The result confirmed the transesterification was proceeded.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทสำเร็จได้ด้วยความรู้และความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ที่กรุณาให้ความรู้ คำชี้แนะ ความช่วยเหลือ แนวคิดในการแก้ปัญหา และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ตลอดการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วรรณวิไล ไกรพีเชษฐ์ เอวานส์ และ ผศ.ดร.อภิรัตน์ นัมคณิสสรณ์ กรรมการสอบหัวข้อ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ในรายวิชาที่ศึกษา เพื่อนำมาปรับใช้และแก้ปัญหาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ คุณธนบูรณ์ บันสุวรรณ คุณธีรพันธ์ ตั้งกิตติศักดิ์ และคุณชนน ตระกูลนำเลื่อมใส ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่เคารพ ที่เป็นกำลังใจและเป็นแรงสนับสนุนของผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด

นิธิพร การสมเจตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และพึงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ปาล์มน้ำมัน	3
2.1.1 ความสำคัญปาล์มน้ำมัน	3
2.1.2 การสกัดน้ำมันปาล์มจากปาล์มน้ำมัน	4
2.1.3 วัสดุเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์ม	5
2.2 ไบโอดีเซล	6
2.2.1 ความสำคัญของไบโอดีเซล	6
2.2.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	7
2.3 การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า	8
2.3.1 ทะลายปาล์มเปล่า	8
2.3.2 วัสดุลิกโนเซลลูโลส	9
2.3.3 การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า	11

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4 การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าให้มีความไม่ชอบน้ำ	12
2.4.1 พื้นผิวไม่ชอบน้ำ	12
2.4.2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	14
2.4.3 การประยุกต์ใช้งาน	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง	16
3.1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	16
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	16
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	16
3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง	16
3.2 การปรับปรุงสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส	17
3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	17
3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	17
3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง	18
3.3 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไบโอดีเซลและเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า	19
3.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	19
3.3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	19
3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง	20
3.4 การทดสอบความไม่ชอบน้ำ	22
3.4.1 การทดสอบเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใย มุมสัมผัสของน้ำและความพองตัวของเส้นใย	22
3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย Fourier transform infrared	22

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	23
4.1 ผลการทดลองการสังเคราะห์ไบโอดีเซล	23
4.2 ผลการทดลองการปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส	24
4.2.1 ผลการปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยกรดซัลฟิวริก	24
4.2.2 ผลการปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	25
4.3 ผลการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไบโอดีเซลและเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า	25
4.4 ผลการทดสอบความไม่ชอบน้ำ	26
4.4.1 เวลาที่น้ำซึมผ่านลงไปบนเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า	26
4.4.2 มุมสัมผัสของน้ำและความพองตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า	28
4.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย Fourier transform infrared	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการทดลอง	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	32
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบ	36
ภาคผนวก ข การคำนวณ	37
ภาคผนวก ค เลขคลื่นที่หมู่ฟังก์ชันต่างๆของ FTIR	38
ภาคผนวก ง อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	39

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของทะเลสาบปาล์มเปล้า	9
4.1 มุมสัมพันธ์ของน้ำและความพองตัวของเส้นใยที่สภาวะต่างๆ	28



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ปาล์มน้ำมัน	4
2.2 ของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม	6
2.3 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์	7
2.4 ทะลายปาล์มเปล่า	8
2.5 องค์ประกอบของวัสดุลิกโนเซลลูโลส	9
2.6 โครงสร้างของเซลลูโลส	10
2.7 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	10
2.8 โครงสร้างของลิกนิน	11
2.9 การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มเปล่า	11
2.10 Lotus Effect	13
2.11 ภาวะการเปียกและมุมสัมผัส	13
2.12 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของเซลลูโลสและไบโอดีเซล	14
3.1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	17
3.2 การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มเปล่า	19
3.3 การทำปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเส้นใยทะลายปาล์มเปล่าและไบโอดีเซล	21
3.4 ตัวอย่างเส้นใยทะลายปาล์มเปล่าที่นำไปทดสอบ	22
4.1 ไบโอดีเซลและกลีเซอรอล	23
4.2 ไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกแล้ว	24
4.3 สารละลายและเส้นใยทะลายปาล์มเปล่าที่ได้จากการไฮโดรไลซิสด้วยกรด	24
4.4 สารละลายและเส้นใยทะลายปาล์มเปล่าที่ได้จากการไฮโดรไลซิสด้วยกรดและต่าง	25
4.5 เส้นใยทะลายปาล์มเปล่าหลังจากทำปฏิกริยาแล้ว	26
4.6 กราฟแสดงเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยที่สภาวะต่างๆ (ไม่ปรับสภาพ)	26
4.7 กราฟแสดงเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยที่สภาวะต่างๆ (ปรับสภาพด้วยกรด)	27

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 FTIR Spectra ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา	29
4.9 FTIR Spectra ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง โดยเส้นใยไม่ผ่านการปรับสภาพ	30
4.10 FTIR Spectra ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง โดยเส้นใยผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก	30
4.11 FTIR Spectra ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง โดยเส้นใยผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์	31
ค.1 Jacketed Batch Reactor	39
ค.2 Water Circulating Bath	39
ค.3 เครื่องอัดไฮดรอลิก	40
ค.4 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดเม็ด	40
ค.5 ไซปาล์มสเตียริน	41
ค.6 เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า	41

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปาล์มน้ำมันคือพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย เป็นพืชยืนต้นที่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตทะลายได้ตลอดทั้งปี เหมาะที่จะปลูกกับอากาศร้อนชื้นซึ่งภาคใต้ของประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุด ในปี 2558 มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด 4.7 ล้านไร่ มีผลผลิต 11.0 ล้านตัน [1] ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเป็นอันดับสามของโลกรองจากอินโดนีเซียและมาเลเซีย ปาล์มน้ำมันมีบทบาทสำคัญในธุรกิจน้ำมันพืชเพื่อการบริโภค และเป็นวัตถุดิบอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกหลายอุตสาหกรรม เช่น สบู่ นมข้นหวาน เนยเทียม ขนมขบเคี้ยว บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น [2]

นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งในปัจจุบันไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมซึ่งใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงเดิมที่ราคาสูงขึ้นและกำลังจะหมดไป ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการนำน้ำมันพืช เช่น ปาล์ม ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชใช้แล้วมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์แล้วนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเกรดที่ใช้กันปัจจุบันในสัดส่วน 5-10 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสามารถใช้งานในเครื่องยนต์เป็นอย่างดีโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ [3]

กระบวนการสกัดปาล์มน้ำมันนั้นจะได้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ที่ประมาณ 18-22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะถูกลำไปแปรรูปเป็นน้ำมันสำหรับบริโภคหรือใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ ส่วนของเหลือประมาณ 78-82 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่า (Empty fruit bunch) เส้นใยปาล์ม (Palm fiber) กากเนื้อผลปาล์ม (Palm kernel cake) กะลาปาล์ม (Palm shell) กากสลัดจ์และน้ำเสีย [4] อย่างไรก็ตามแนวโน้มการผลิตปาล์มน้ำมันที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้มีของเสียเหลือจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปจะนำทะลายปาล์มเปล่าซึ่งเป็นของเหลือทิ้งไปใช้ในการเพาะเห็ดฟาง การคลุมหน้าดิน และเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ทะลายปาล์มเปล่ามีชื่อเรียกว่า วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic materials) มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) [5]

งานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นความสำคัญของวัสดุเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมันและไบโอดีเซล โดยการนำทะลายปาล์มเปล่ามาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับไบโอดีเซล ซึ่งเป็นการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุลิกโนเซลลูโลส ทำให้เส้นใยทะลายปาล์มเปล่ามีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) เพิ่มมากขึ้น เพราะหมู่อัลคิล (Alkyl group) จากไบโอดีเซลเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Hydroxyl group) ของวัสดุลิกโนเซลลูโลส สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงโดยการผสมกับพอลิเมอร์และผลิตเป็นเส้นใยที่มีคุณสมบัติกันน้ำ ถือเป็น การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับปาล์มน้ำมันและสร้างรายได้ให้เกษตรกรไทย

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าให้มีความไม่ชอบน้ำ

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า โดยปัจจัยที่เลือกศึกษาในงานวิจัย ได้แก่ การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ไขปาล์มสดเตียรินและเมทานอลเป็นสารตั้งต้น

1.3.2 ทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

1. การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

2. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน อยู่ในช่วง 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส

3. เวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน อยู่ในช่วง 5 นาที ถึง 60 นาที

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบถึงปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงพื้นผิวทะเลลายปาล์มเปล่า

1.4.2 สามารถลดวัสดุเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์ม ถือเป็น การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับปาล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ปาล์มน้ำมัน

### 2.1.1 ความสำคัญปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่เหมาะสมสำหรับการปลูกในพื้นที่อากาศร้อนชื้น ซึ่งภาคใต้ของประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุด โดยเฉพาะจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง ปาล์มน้ำมันมีอายุการเก็บเกี่ยวมากกว่า 25 ปี ปาล์มน้ำมันจึงถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย

แหล่งผลิตปาล์มน้ำมันหลักของโลกอยู่ในภูมิภาคอาเซียน คือ อินโดนีเซียและมาเลเซีย ซึ่งมีผลผลิตน้ำมันปาล์มรวมกันประมาณ 52.5 ล้านตัน หรือคิดเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตรวมของโลก ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาปริมาณการค้าน้ำมันปาล์มในตลาดโลกขยายตัวเฉลี่ย 5.1 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ตามความต้องการอาหารและพลังงานทดแทนที่เพิ่มขึ้น โดยประเทศผู้บริโภคและนำเข้าหลักคือ อินเดีย สหภาพยุโรปและจีน มีสัดส่วนการนำเข้ารวมกันประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของการนำเข้าน้ำมันปาล์มทั่วโลก [1]

สำหรับประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตเป็นอันดับ 3 ของโลก โดยผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทยอยู่ที่ประมาณ 11-13 ล้านตันต่อปี การขยายพื้นที่เพาะปลูกปาล์มใหม่เพื่อรองรับแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศ โดยในปี 2558 มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 4.7 ล้านไร่ และมีผลผลิต 11.0 ล้านตัน โดยพื้นที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 5 เปอร์เซ็นต์และผลผลิตเพิ่มขึ้น 7 เปอร์เซ็นต์ ปาล์มน้ำมันแสดงดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยผลปาล์มซึ่งมีลักษณะคล้ายหมาก สีของเปลือกเป็นสีแดงหรือมีสีเหลืองส้ม โดยปาล์มทั้งทะลายมีน้ำหนักอยู่ในช่วงประมาณ 3-50 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับอายุต้นปาล์มและความสมบูรณ์ของต้นปาล์ม ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตเก็บเกี่ยวได้ตลอดปี ช่วงเวลาที่มีผลปาล์มออกสู่ตลาดมากมีอยู่ 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงต้นปีราวเดือนมีนาคม – พฤษภาคม และช่วงปลายปีราวเดือนกันยายน – พฤศจิกายน ปาล์มน้ำมันเริ่มให้ผลเมื่อมีอายุประมาณ 3.5-4 ปี และให้ผลสูงสุดเมื่ออายุประมาณ 8-12 ปี หลังจากนั้นผลผลิตค่อยลดลง แต่ยังคงมีความคุ้มค่าในการลงทุนจนถึงอายุประมาณ 25 ปี [6]



รูปที่ 2.1 ปาล์มน้ำมัน

ที่มา: [https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article\\_15196](https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_15196)

การบริโภคน้ำมันปาล์มในประเทศแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การบริโภคโดยตรงในรูปน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

เพื่อใช้ในครัวเรือนและร้านอาหาร คิดเป็นสัดส่วน 33 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณบริโภคน้ำมันปาล์มทั้งหมดในประเทศ โดยน้ำมันปาล์มมีส่วนแบ่งในตลาดน้ำมันพืชไทย 65 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา เป็นน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว และอื่นๆ

2. การใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ

คิดเป็นสัดส่วน 22 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณบริโภคน้ำมันปาล์มทั้งหมดในประเทศ โดยใช้ในอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวและบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป สบู่ นมข้นหวานและครีมเทียม และอุตสาหกรรมอุปโภคอื่นๆ เช่น พลาสติก เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น

3. การใช้ผลิตไบโอดีเซล

มีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นจาก 32 เปอร์เซ็นต์ ในปี 2552 เป็น 45 เปอร์เซ็นต์ ในปี 2558

### 2.1.2 การสกัดน้ำมันปาล์มจากปาล์มน้ำมัน [7]

น้ำมันปาล์มแบบมาตรฐานมีกระบวนการผลิตดังนี้

1. การนึ่งปาล์ม (Sterilization)

หลังจากเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มสดจำเป็นต้องนำเข้าสู่กระบวนการผลิตภายใน 72 ชม. มิฉะนั้นปริมาณกรดไขมันอิสระจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำมันที่ได้มีคุณภาพและปริมาณต่ำลง เมื่อส่งเข้าโรงงานจะทำการนึ่งทะลายปาล์ม เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งการเกิดกรดไขมันอิสระ นอกจากนั้นแล้วการนึ่งผลปาล์มจะช่วยให้ผลปาล์มหลุดออกจากก้านทะลายปาล์มง่ายขึ้น และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อปาล์มนุ่มง่ายต่อการบีบน้ำมัน การนึ่งใช้ไอน้ำ 120 -130 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 45 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว นาน 45 นาที

## 2. การแยกผลปาล์ม (Bunch stripping)

ทะลายปาล์มที่นึ่งแล้วจะถูกส่งมาเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกขนาดใหญ่ ทำให้ผลปาล์มแยกออกจากทะลายปาล์ม ทะลายเปล่าจะถูกส่งไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป

## 3. การฉีกย่อยผลปาล์ม (Digestion)

ผลปาล์มที่แยกออกจากทะลายแล้ว ถูกส่งมาตีย่อยให้นุ่ม เพื่อให้ผลปาล์มพร้อมต่อการสกัดน้ำมันออก

## 4. การสกัดน้ำมัน (Pressing)

ผลปาล์มที่ได้รับการฉีกย่อยแล้ว ถูกส่งเข้ามาในเครื่องสกัดเกลียวอัดชนิดเกลียวคู่ เพื่อสกัดน้ำมันออกจากเปลือกนอกของผลปาล์ม ในการสกัดเครื่องสกัดเกลียวอัดจะถูกปรับระยะห่างของเกลียวให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถสกัดน้ำมันออกได้มากที่สุด โดยให้กะลาของเมล็ดในปาล์มแตกน้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน ในส่วนที่เป็นกากพืชไขมัน ประกอบด้วยเส้นใยและเมล็ดปาล์มจะถูกเป่าด้วยลมร้อนให้แห้ง และแยกออกจากกันด้วยไซโคลน เมล็ดปาล์มถูกส่งเข้าเครื่องกะเทาะกะลา กะลาที่แยกออกถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ ส่วนเมล็ดในปาล์มถูกส่งเข้าเครื่องสกัดเกลียวอัด เพื่อสกัดน้ำมันออกด้วยกรรมวิธีเดียวกันกับการผลิตน้ำมันมะพร้าว การกรองน้ำมันปาล์มที่ได้มีเส้นใยปาล์มปะปนมาด้วย จะถูกส่งเข้าสู่ตะแกรงสั่นเพื่อแยกเศษของแข็งออก

## 5. การกำจัดน้ำ

บางที่มีการใช้เครื่องเหวี่ยงแยกด้วยความเร็วสูง แยกสิ่งสกปรก น้ำ กากตะกอนออกจากน้ำมัน น้ำมันที่กรองแล้วจะถูกส่งผ่านเครื่องระเหยที่ 80 - 90 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เพื่อกำจัดน้ำและความชื้นในน้ำมัน เพื่อให้น้ำมันมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น โรงงานใหญ่มีน้ำเสีย 2.5 ตันต่อปาล์ม 1 ตัน [7]

### 2.1.3 วัสดุเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์ม

ของเสียหรือกากอุตสาหกรรมที่เกิดจากกระบวนการผลิต ได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่า (Empty fruit bunch) เส้นใยปาล์ม (Palm fiber) กะลาปาล์ม (Palm kernel shell) น้ำเสียและกากตะกอนน้ำมัน จากแนวโน้มผลผลิตปาล์มน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมีมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ทะลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปาล์มเปล่า แสดงดังรูปที่ 2.2 เส้นใย กะลา สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล น้ำเสียนำมาผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและกากตะกอนน้ำมันนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์



รูปที่ 2.2 ของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

ที่มา: <http://www.eco-business.com/news/fungus-fermentation-turns-palm-waste-into-fodder/>

## 2.2 ไบโอดีเซล

### 2.2.1 ความสำคัญของไบโอดีเซล

จากปัญหาราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะความต้องการใช้มีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้แหล่งน้ำมันดิบทั้งในประเทศและต่างประเทศลดน้อยลงทุกวัน ส่งผลต่อกระทบต่อเศรษฐกิจ ประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศคิดเป็นมูลค่ากว่า 1 ล้านล้านบาทต่อปี ปัจจุบันภาครัฐได้ส่งเสริมการนำพลังงานทดแทนมาใช้แทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิดที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่สามารถใช้งานได้เหมือนน้ำมันดีเซลทั่วไป วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันละหุ่ง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันสบู่ดำ และน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งน้ำมันปาล์มเป็นพืชที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด เพราะให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ และเป็นพืชยืนต้นที่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตหลายครั้งต่อปี อายุการเก็บเกี่ยวมากกว่า 25 ปี

ไบโอดีเซลถูกนำมาผสมในน้ำมันดีเซลได้ตามสัดส่วนที่ต้องการ ในกรณีที่ใช้ไบโอดีเซลล้วน เรียกว่า B100 ซึ่งเหมาะกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำหรือเครื่องจักรทางการเกษตร หากต้องการใช้กับรถยนต์ จะผสมไบโอดีเซลในสัดส่วน 5 ส่วนต่อน้ำมันดีเซล 95 ส่วน เรียกว่า B5 สามารถผสมไบโ

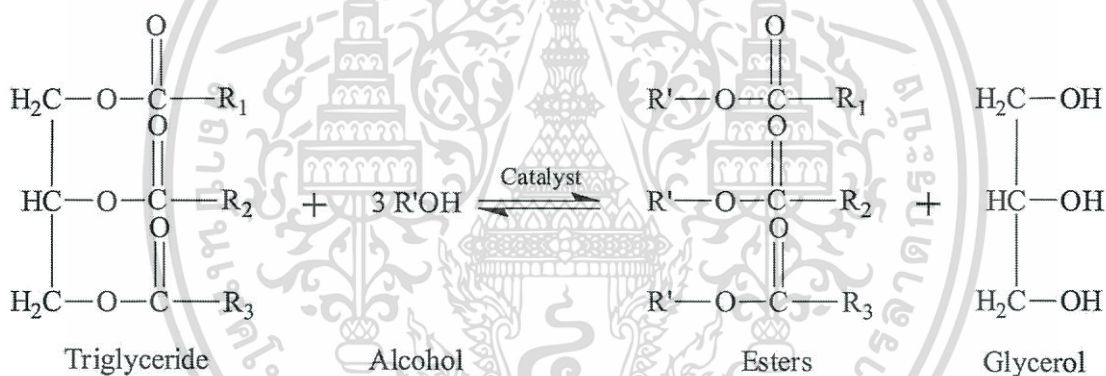
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีเซลในสัดส่วนได้มากถึงร้อยละ 20 นอกจากนี้ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สำคัญคือสามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable) และไม่มีพิษ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [3]

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากหลายวิธี ได้แก่ การใช้โดยตรงและการผสม ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) กระบวนการแตกสลายทางความร้อน (Pyrolysis) การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะในสถานะเหนือวิกฤต และวิธีการผลิตไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [8]

## 2.2.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือการทำปฏิกิริยาระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglycerides) กับแอลกอฮอล์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid methyl esters) หรือไบโอดีเซล และได้กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา คือ เมทานอลและเอทานอล แต่จะนิยมเมทานอลมากกว่าเพราะราคาถูก โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นกรดหรือเบส ใช้กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยากรด แต่เกิดปฏิกิริยาช้ามาก มักใช้ในกรณีที่มีน้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง (Free fatty acid) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรม คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส โดยทั่วไปใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{KOH}$ ) หรือโซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium methoxide) เพราะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยากรด แต่ข้อควรระวังของตัวเร่งปฏิกิริยาเบสคือในปฏิกิริยาต้องไม่มีน้ำอยู่ในน้ำมันพืชและแอลกอฮอล์เพราะน้ำเป็นเหตุทำให้เกิดสบู่อขึ้นในปฏิกิริยา และปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชต้องมีไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ถ้าหากมีปริมาณกรดไขมันอิสระเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ต้องนำน้ำมันมาทำการลดกรด โดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Esterification) โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นค่อยนำน้ำมันไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต่อไป

อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมันตามปฏิกิริยาจริง คือ 3:1 แต่เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ จึงนิยมใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมันเป็น 6:1 เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามักใช้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพราะเป็นอุณหภูมิที่ไม่เกินจุดเดือดของเมทานอล

## 2.3 การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (Pretreatment)

### 2.3.1 ทะลายปาล์มเปล่า (OPEFB)

ทะเลลายปาล์มเปล่า (Oil palm empty fruit bunch, OPEFB) คือของเสียที่ได้มาจากการบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นส่วนของทะเลลายที่สลัดผลปาล์มออกหมดแล้ว มีประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งทะเลลายปาล์ม แสดงดังรูป 2.4 นอกจากนำทะเลลายปาล์มเปล่าไปทิ้ง สามารถนำทะเลลายปาล์มเปล่ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ทำปุ๋ย และเพาะเห็ดได้



รูปที่ 2.4 ทะลายปาล์มเปล่า

ที่มา: <https://www.bioenergyconsult.com/tag/uses-of-empty-fruit-bunch/>

เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่านั้นจะมีชื่อเรียกว่า วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic materials) ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) เป็นองค์ประกอบหลัก มีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของทะเลาะปาล์มเปล้า [4]

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
เซลลูโลส	50.4
เฮมิเซลลูโลส	21.9
ลิกนิน	10.0

### 2.3.2 วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic materials)

วัสดุลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างของผนังเซลล์ พบได้ในวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ทั้งไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน เศษวัสดุเหลือจากผลผลิตทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด เส้นใยข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ ฟางข้าว และทะเลาะปาล์มเปล้า เป็นต้น

#### องค์ประกอบของวัสดุลิกโนเซลลูโลส [10]

แสดงดังรูปที่ 2.5 ประกอบไปด้วย

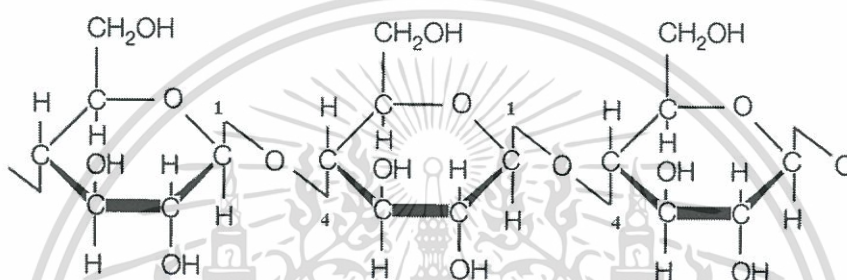


รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของวัสดุลิกโนเซลลูโลส  
ที่มา: <https://aavos.eu/glossary/lignocellulose/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. เซลลูโลส

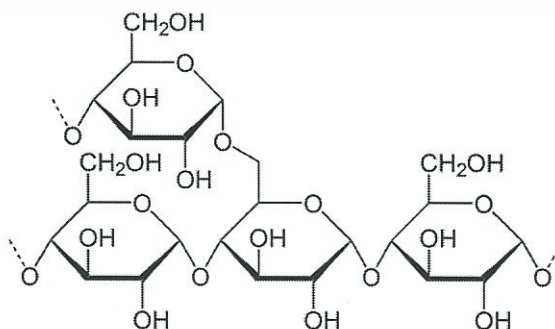
เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ เบต้า-ดี-กลูโคไพราโนส ( $\beta$ -D-Glucopyranose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบตา 1,4-ไกลโคซิดิก ( $\beta$ -1,4-glycosidic bond) เกิดเป็นพอลิเมอร์กลูแคน (Glucan) แสดงดังรูปที่ 2.6 มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปในธรรมชาติพบเซลลูโลส 2 แบบ คือ crystalline cellulose และ amorphous cellulose โดยส่วนของ crystalline cellulose จะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ยากกว่า amorphous cellulose



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเซลลูโลส

## 2. เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ของน้ำตาลชนิดต่างๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส แมนโนส ซาโคส และอะราบินอส ซึ่งพบอยู่ในรูปโพลิเมอร์ไซแลน แมนแนน กาแลกแตน และอะราบิแนน มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย โดยในพอลิเมอร์ไซแลน ดี-ไซโคสมีปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 85-93 ส่วนองค์ประกอบอื่น เช่น กลูโคส กรดกลูคิวโรนิก กรดกาแลคตูโรนิก จะพบปริมาณน้อย โดยไซโคสที่พบจะเชื่อมด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิก แสดงดังรูปที่ 2.7

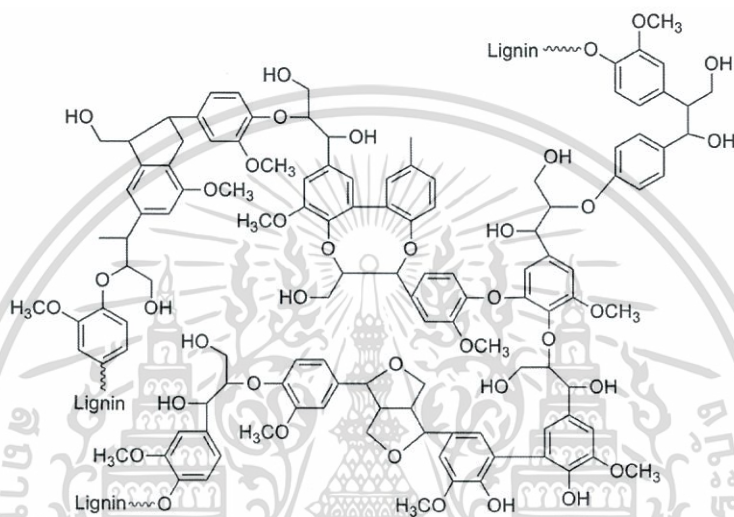


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

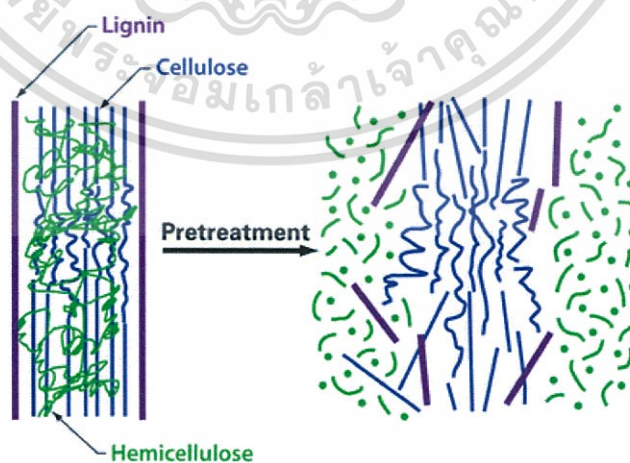
### 3. ลิกนิน

ลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช พบในปริมาณที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลล์ulosไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ลิกนินเป็นเฮทเทอโรพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ ไม่ตกผลึก ประกอบด้วยสารประกอบอะโรมาติก 3 ชนิด ประกอบด้วย tran-p-coumaryl alcohol, trans-coniferyl alcohol และ trans-p-sinapyl alcohol แสดงดังรูปที่ 2.8 นอกจากนี้โมเลกุลของลิกนินยังเชื่อมต่อกับสารประกอบอะโรมาติกอื่นอีกมากมาย เช่น vanillin และ syringaldehyde



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของลิกนิน

#### 2.3.3 การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า



รูปที่ 2.9 การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายโครงสร้างบางส่วนของวัสดุ ลิกโนเซลลูโลส ดังรูปที่ 2.9 ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นการย่อยสลายพอลิเมอร์ของน้ำตาลให้สั้นลงเนื่องจาก ทะลายปาล์มเปล่ามีสารพวกเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นเมื่อนำมาทำการย่อยสลายจะได้น้ำตาลออกมา โดยถ้าทำการย่อยสลายเซลลูโลสอย่างสมบูรณ์ จะได้กลูโคส ส่วนเฮมิเซลลูโลสเมื่อย่อยสลายก็ได้น้ำตาลไซโลส

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการปรับสภาพโดยใช้สารเคมี 2 วิธีด้วยกัน

### 1. การปรับสภาพด้วยกรด

การปรับสภาพวัตถุดิบด้วยกรดเป็นการย่อยสลายพันธะ Glycosidic linkages ใน คาร์โบไฮเดรตด้วยกรดได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาล ซึ่งเป็นการแตกออกของพันธะ Glucosidic พร้อมกับการเติมโมเลกุลของน้ำไปยังโมเลกุล การใช้กรดเจือจางเพื่อปรับสภาพวัสดุที่อุณหภูมิที่เหมาะสมโดย ใช้กรดซัลฟิวริกหรือกรดฟอสฟอริกมักจะถูกใช้สำหรับการเปลี่ยนวัสดุพวกลิกโนเซลลูโลส ซึ่งประกอบ ไปด้วยส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลไซโลส

### 2. การปรับสภาพด้วยด่าง

การปรับสภาพวัตถุดิบด้วยด่าง เป็นการลดความเป็นโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส ลดระดับ ความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ และสามารถแยกสายโครงสร้างระหว่างลิกนินและ คาร์โบไฮเดรต เป็น การทำลายโครงสร้างของลิกนิน สารเคมีที่นิยมใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

## 2.4 การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าให้มีความไม่ชอบน้ำ

### 2.4.1 พื้นผิวไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic surface)

พื้นผิวไม่ชอบน้ำที่เห็นกันในธรรมชาติ คือ ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus Effect) เนื่องจากพื้นผิวประกอบไปด้วยความขรุขระระดับไมโครเมตรเป็นปุ่มแท่งเล็กๆ โดยที่แท่งเหล่านี้ถูก ปกคลุมด้วยโครงสร้างแตกกิ่งแบบละเอียดระดับนาโนเมตร ทำให้พื้นผิวมีลักษณะที่สังเกตด้วยตาเปล่า เหมือนแว็กซ์ [11]

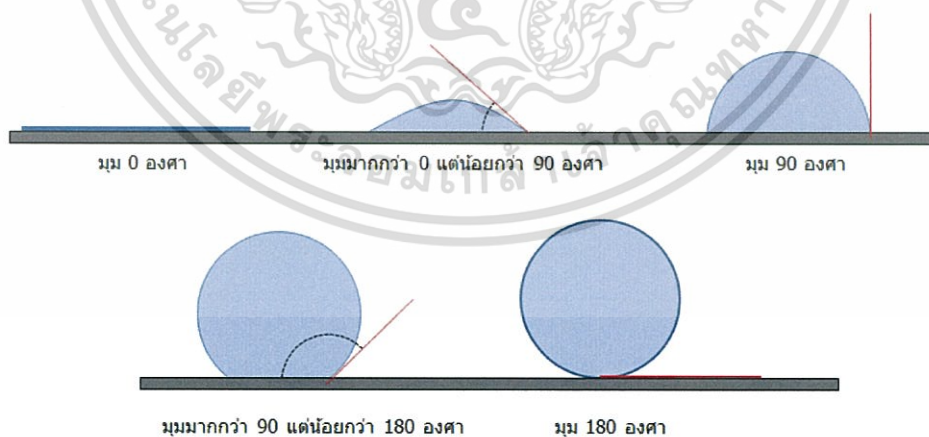


รูปที่ 2.10 Lotus Effect

ที่มา: [http://www.hk-phy.org/atomic\\_world/lotus/lotus01\\_e.html](http://www.hk-phy.org/atomic_world/lotus/lotus01_e.html)

วิธีที่สามารถใช้บอกสภาพผิววัสดุว่ามีสมบัติชอบน้ำมากน้อยเพียงใด คือ การสังเกตรูปร่างหยดน้ำบนผิววัสดุนั้น เช่น หากหยดน้ำมีลักษณะค่อนข้างแบน ไม่โค้งนูนมาก แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำหรือเปียกน้ำง่าย ในทางตรงข้ามหากหยดน้ำมีลักษณะเป็นเม็ดนูนเด่นชัดแสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำมากหรือเปียกน้ำยาก

ค่ามุมสัมผัส (Contact angle) ระหว่างผิวหยดน้ำกับผิววัสดุเป็นตัวบอกความชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำ โดยหากหยดน้ำกับวัสดุมีมุมสัมผัสระหว่างผิวน้อยกว่า 90 องศา แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำหรือเป็นผิวไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) ถ้ามุมสัมผัสระหว่างผิวอยู่ระหว่าง 90 - 150 องศา แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือผิวไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) และ ถ้าหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่ามุมสัมผัสระหว่างผิวตั้งแต่ 150 - 180 องศา แสดงว่าผิววัสดุนั้นมีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวดหรือเป็นผิวซูเปอร์ไฮโดรโฟบิก (Superhydrophobic) แสดงดังรูปที่ 2.11 ซึ่งใบบัวเป็นต้นแบบวัสดุธรรมชาติที่มีพื้นผิวแบบซูเปอร์ไฮโดรโฟบิก



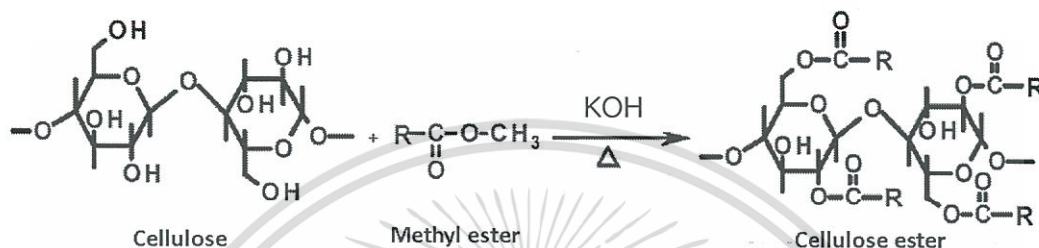
รูปที่ 2.11 ภาวะการเปียกและมุมสัมผัส

ที่มา: <http://www.vcharkarn.com/varticle/43544>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

จากข้อจำกัดด้านความชอบน้ำของวัสดุลิกโนเซลลูโลสจึงนำมาสู่การการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ด้วยการใส่ไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ โดยนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับไบโอดีเซลจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา รูปที่ 2.12 เป็นการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเซลลูโลสกับไบโอดีเซล



รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของเซลลูโลสและไบโอดีเซล

ที่มา: (Wei et al., 2017)

จากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าหมู่อัลคิล (R group) จากไบโอดีเซลจะเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส เกิดเป็นเอสเทอร์ของเซลลูโลส การแทนที่ของหมู่ฟังก์ชันนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากที่ชอบน้ำกลายเป็นวัสดุที่มีความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มากขึ้น เนื่องจากหมู่อัลคิลที่ไปเกาะเซลลูโลสเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาวซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ

## 2.4.3 การประยุกต์ใช้งาน

### วัสดุคอมโพสิต (Composite materials)

วัสดุคอมโพสิตหรือวัสดุเชิงประกอบ หมายถึง วัสดุที่ประกอบขึ้นจากวัสดุที่มีสมบัติแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปโดยไม่เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้สมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่เกิดขึ้นมีสมบัตินี้ร่วมกันของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบ [12] วัสดุเชิงประกอบในธรรมชาติ (Natural composite) ได้แก่ ไม้ (Wood) ที่ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) ผสมเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ในเมทริกซ์ลิกนิน (Lignin)

ทะเลลายปาล์มเปล่า สามารถนำมาใช้เป็นสารเสริมแรง (Reinforcement) ให้กับพอลิเมอร์ เช่น พอลิเอทิลีน การเสริมแรงให้พอลิเมอร์ทำได้โดยการเติมเส้นใยเสริมแรงลงในพอลิเมอร์ให้เกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีความแข็งแรงมากขึ้น

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิยะนุช เปี้ยคง (2557) [4] ได้ทำการวิจัยผลิตน้ำตาลไซโลสซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตไซลิทอล จากทะลายปาล์มเปล่าที่เป็นของเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม ในงานวิจัยนี้จะแยกองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่า โดยการย่อยด้วยกรดและด่าง ภายใต้สภาวะที่ทะลายปาล์มผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% (w/v) ย่อยด้วยกรดกรดซัลฟิวริกเจือจาง 10% (v/v) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 20 นาที ได้น้ำตาลไซโลสปริมาณสูงสุดคือ 40.08 g/L

Liqing Wei และคณะ (2017) [13] ได้ทำการวิจัยการปรับปรุงนาโนเซลลูโลสโดยวิธีทางเคมีด้วยกรดไขมันน้ำมันคาโนลา (Canola oil fatty acid) โดยนำเซลลูโลสนาโนคริสตัล (Cellulose nanocrystals, CNCs) ซึ่งผลิตมาจากเยื่อไม้ (Wood pulp) มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันน้ำมันคาโนลา (Canola fatty acid methyl ester, CME) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์กรดไขมันของเซลลูโลสนาโนคริสตัล (CNCs fatty acid ester, CNCFE) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปในด้านโครงสร้างทางเคมี ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) โครงสร้างผลึก เสถียรภาพทางความร้อน และความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) ทำการวิเคราะห์โดยเครื่อง Fourier transform infrared (FTIR) และ FT-Raman spectroscopy แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างไฮโดรคาร์บอนสายยาวต่อกับพื้นผิวของเซลลูโลสนาโนคริสตัลได้สำเร็จ โดยความเป็นผลึกและขนาดผลึกของนาโนคริสตัลไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อวิเคราะห์โดยเครื่อง X-ray diffraction (XRD) พบว่า CNCFE มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าและขนาดอนุภาคเล็กกว่า CNCs การวัดมุมสัมผัสของน้ำ บ่งชี้ว่าพื้นผิวของ CNCFE มีความไม่ชอบน้ำมากกว่า CNCs จากงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเคลือบผิววัสดุให้มีคุณสมบัติกันน้ำ และใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิเมอร์สำหรับวัสดุผสมระดับนาโน (Nanocomposites)

Abailah Hisyam และคณะ (2017) [14] ได้ทำการวิจัยการปรับปรุงพื้นผิวของเซลลูโลสจากขานอ้อย (Sugarcane bagasse) โดยใช้ไขมันถั่วเหลืองเพื่อเพิ่มภาวะความไม่ชอบน้ำ ทดลองด้วยการใช้เส้นใยเซลลูโลสที่ทำการแยกออกจากขานอ้อย จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย สภาวะของกระบวนการใช้การปั่นกวนด้วย Ultrasonic เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นทำการอบแห้งโดยใช้เตาอบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทำการวิเคราะห์จาก Infrared spectrum สามารถยืนยันได้ว่า เซลลูโลสที่ทำการปรับปรุง (modified cellulose) โดยใช้ไขมันถั่วเหลือง 0.35 กรัม และ 0.5 กรัม สามารถเกิดสัญญาณของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (Carbonyl functional group) ที่เลขคลื่น  $1,750 \text{ cm}^{-1}$  การวิเคราะห์โดยเครื่อง XRD บ่งชี้ว่าความเป็นผลึกไม่เปลี่ยนแปลงทางนัยสำคัญ นอกจากนี้การทดสอบภาวะการเปียก (Wettability test) แสดงให้เห็นว่าเซลลูโลสที่ทำการปรับปรุงมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

##### 3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไชปาล์มสเตียร์น (Palm stearin wax)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. เมทานอล ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )

##### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ชนิด jacket (Jacketed batch reactor) ขนาด 2,000 มิลลิลิตร
2. ไบกววน
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบหมุนเวียน (Circulating bath)
4. บีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
5. บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. เครื่องกวนสารให้ความร้อน
7. แท่งแม่เหล็กกวนสาร
8. เครื่องชั่งสาร ทศนิยม 5 ตำแหน่ง
9. ซ้อนตักสาร

##### 3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งไขปาล์ม 1,344 กรัม ในบีกเกอร์ นำไปวางบนเครื่องให้ความร้อน ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส เพื่อละลายไขปาล์มให้อยู่ในสถานะของเหลวและกำจัดความชื้น
2. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6.72 กรัม ในละลายในเมทานอล 10 มิลลิลิตร ปั่นกวนด้วยเครื่องกวน สารจนโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายจนหมด
3. เตรียมเมทานอล 307.2 กรัม (อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1)
4. นำไขปาล์ม เมทานอล และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะด้วยความเร็วรอบปานกลาง (500 รอบต่อนาที) ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส ปลดปล่อยให้ของผสมทำปฏิกิริยากัน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลและสิ่งปนเปื้อนต่างๆ โดยกลีเซอรอลจะแยกชั้นกับไบโอดีเซล จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำอุ่นหลาย 4-5 ครั้ง เพื่อล้างสบู่ออกไป แล้วนำไบโอดีเซลที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดน้ำ



รูปที่ 3.1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

### 3.2 การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

#### 3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า
2. ไอโซโพรพานอล (IPA)
3. กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ )
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
5. น้ำกลั่น

#### 3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ถาดสแตนเลส
2. ขวดสองคอ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
3. เครื่องควบแน่น (Condenser)
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. สายยาง
6. เครื่องให้ความร้อน
7. เตาดอบ
8. ตะแกรงขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเส้นใยปาล์มใส่ภาตสแตนเลสและแช่ด้วยไอโซโพรพานอลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อล้างสิ่งสกปรกและน้ำมันที่อาจติดมากับเส้นใยปาล์ม
2. จากนั้นนำเส้นใยมาล้างด้วยไอโซโพรพานอลอีกครั้งหนึ่ง แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อระเหยไอโซโพรพานอลออกไป
3. เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
4. นำเส้นใยปาล์มที่ล้างด้วยไอโซโพรพานอลแล้วมา 25 กรัม แช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. นำเส้นใยปาล์มที่แช่ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ด้วยการนำเส้นใยปาล์มมาใส่ในขวดสองคอ ขนาด 1,000 มิลลิลิตรที่ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรลงไป 750 มิลลิลิตร
6. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. นำเส้นใยปาล์มมาล้างด้วยน้ำ 4 รอบ จนไม่มีกรดหลงเหลืออยู่
8. นำเส้นใยปาล์มเข้าเตาอบ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำออกไป
9. แบ่งเส้นใยปาล์มมา 8 กรัมเพื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ โดยทำการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร
10. นำเส้นใยปาล์มมาใส่ในขวดสองคอ ขนาด 1,000 มิลลิลิตรที่ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป 500 มิลลิลิตร
11. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
12. นำเส้นใยปาล์มมาล้างด้วยน้ำ 4 รอบ
13. นำเส้นใยปาล์มเข้าเตาอบ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำออกไป
14. จะได้เส้นใยปาล์มที่ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกและเส้นใยปาล์มที่ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต่อไป



รูปที่ 3.2 การปรับสภาพเส้นใยละลายปาล์มเปล้า

### 3.3 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไบโอดีเซลและเส้นใยละลายปาล์มเปล้า

#### 3.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เส้นใยละลายปาล์มเปล้า
2. ไบโอดีเซล
3. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
4. เมทานอล
5. ไอโซโพรพานอล (IPA)
6. ซิลิโคนออยล์

#### 3.3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องกวนสารให้ความร้อน (hot plate magnetic stirrer)
2. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar)
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. ขวดสามคอ ขนาด 500 มิลลิลิตร
5. เครื่องควบแน่น (condenser)
6. อ่างควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ปีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
8. ปีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร
9. กระบอกตวง ขนาด 25 มิลลิลิตร
10. ช้อนตักสาร
11. ที่คีบ
12. ตะแกรงขนาดเล็ก

### 3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเส้นใยปาล์มมาตัดให้สั้นลง แล้วนำไปอบให้เตาอบ ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที เพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นนำเส้นใยปาล์มแห้งมาชั่งน้ำหนัก 5 กรัม

2. ชั่งไปโอดีเซล 100 กรัม ในปีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วนำไปวางบนเครื่องกวนสารให้ความร้อน ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 120 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 นาที เพื่อกำจัดความชื้น

3. ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 กรัม ในปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมเมทานอล 10 มิลลิลิตร ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสารลงไป แล้วนำไปปั่นกวนด้วยความเร็วรอบต่ำ (200 รอบต่อนาที) บนเครื่องกวนสารให้ความร้อนประมาณ 5 นาที จนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับเมทานอล

4. ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสารลงไป ในไปโอดีเซล แล้วนำสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล เทลงในไปโอดีเซลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส กวนของผสมให้เข้ากันด้วยความเร็วรอบปานกลาง (400 รอบต่อนาที) ประมาณ 30 นาที เพื่อระเหย เมทานอลออกจากของผสม

5. นำของผสมใส่ลงในขวดสามคอขนาด 500 มิลลิลิตร ที่ต่อกับเครื่องควบแน่น ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ซิลิโคนออยล์

5. ใส่เส้นใยปาล์มลงในของผสม ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 160 องศาเซลเซียส ปั่นกวนด้วยความเร็วรอบปานกลาง (400 รอบต่อนาที) ปลอ่ยให้ของผสมทำปฏิกิริยากัน

6. เก็บตัวอย่างเส้นใยปาล์มที่ 5 นาที 15 นาที 30 นาที และ 60 นาที นำตัวอย่างมาล้างไปโอดีเซลที่ติดอยู่ออกจากเส้นใยปาล์มด้วยไอโซโพรพานอล โดยนำตัวอย่างใส่ในปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ตวงไอโซโพรพานอล 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นกวนด้วยความเร็วรอบต่ำ (200 รอบต่อนาที) ประมาณ 5 นาที ทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ตากตัวอย่างให้แห้ง เก็บใส่ในที่เก็บตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป
8. ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 7 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา จาก 160 องศาเซลเซียส เป็น 180 และ 200 องศาเซลเซียส
9. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง โดยใช้เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วย สารละลายกรดซัลฟิวริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
10. นำเส้นใยปาล์มแห้งมาชั่ง 5 กรัม ไปทำปฏิกิริยากับไบโอดีเซลตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 8
11. นำตัวอย่างไปทดสอบวัดมุมสัมผัสของน้ำ เวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใย ความพองตัวของเส้นใยและวิเคราะห์ด้วย FTIR เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยปาล์มทะเลลายเปล่าที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาและทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแล้ว



รูปที่ 3.3 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าและไบโอดีเซล

### 3.4 การทดสอบความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity)

ซึ่งตัวอย่างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ายังไม่ทำปฏิกิริยาและทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน น้ำหนัก 0.2 กรัม นำไปอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกเป็นแผ่นบางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่นำไปทดสอบ

#### 3.4.1 การทดสอบเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใย มุมสัมผัสของน้ำและความพองตัวของเส้นใย

ทำการหยดน้ำลงบนเส้นใยปาล์มที่อัดเป็นแผ่น แล้ววัดเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใย มุมสัมผัสของน้ำและความพองตัวของเส้นใย

#### 3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย Fourier transform infrared (FTIR)

นำเส้นใยปาล์มที่อัดเป็นแผ่นไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) ที่เลขคลื่น (Wavenumber) ในช่วง  $700-4,000 \text{ cm}^{-1}$  เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์ม

## บทที่ 4

# ผลการทดลองและอภิปราย

### 4.1 ผลการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

จากการศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โซปาล์มสเตียร์นและเมทานอลเป็นสารตั้งต้นและใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เมทานอลมากเกินไปในอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อโซปาล์มสเตียร์นเป็น 6:1

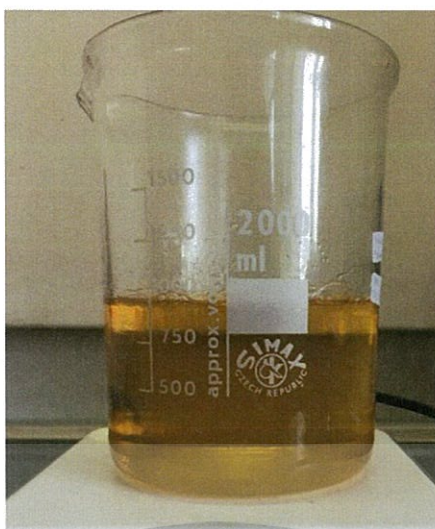
อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 60 องศาเซลเซียส เพราะเป็นอุณหภูมิที่ไม่เกินจุดเดือดของเมทานอล เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา คือ 2 ชั่วโมง เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ เกิดผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลและได้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ไบโอดีเซลและกลีเซอรอล

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์มีการแยกชั้นกันเกิดขึ้น โดยที่ชั้นบนจะเป็นไบโอดีเซล และชั้นล่างจะเป็นเมทานอลที่เหลือและกลีเซอรอล แต่ไบโอดีเซลนั้นยังมีตัวเร่งปฏิกิริยาและสบู่ติดมาด้วย จึงต้องล้างด้วยน้ำอุ่นและแยกน้ำออกโดยใช้กรวยแยก สุดท้ายนำไปให้ความร้อนเพื่อกำจัดความชื้น เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่บริสุทธิ์ ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



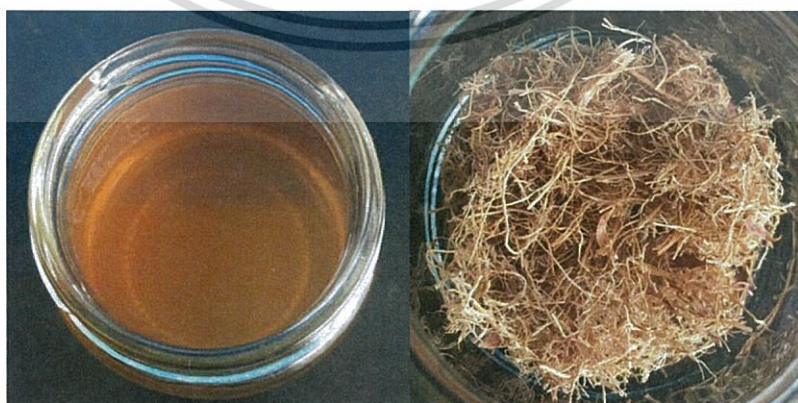
รูปที่ 4.2 ไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกแล้ว

## 4.2 ผลการปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

### 4.2.1 การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยกรดซัลฟิวริก

เมื่อทำการไฮโดรไลซิสทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยกรดเจือจาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร กระบวนการนี้เป็นย่อยพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบของทะเลลายปาล์มเปล่า โดยไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) จากสารละลายกรดซัลฟิวริกจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใน  $\beta$ -1,4-glycosidic bond เป็นการสลายพันธะ glycosidic linkages ในเฮมิเซลลูโลสได้เป็นน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลัก

จากการทดลองพบว่าสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซิสมีสีเหลืองส้มซึ่งมีน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 4.3 (ก) และเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเปลี่ยนสีจากน้ำตาลเข้มเป็นสีน้ำตาลส้มซึ่งมีเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 4.3 (ข)



(ก)

(ข)

### รูปที่ 4.3 สารละลายและเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ได้จากการไฮโดรไลซิสด้วยกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ไฮโดรไลซิสด้วยกรดมาก่อนหน้านี้ มาทำการไฮโดรไลซิสด้วยด่าง ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งการใช้ต่างในการไฮโดรไลซิสเป็นการกำจัดลิกนินออกจากเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า จากการทดลองพบว่า สารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซิสมีสีดำซึ่งมีลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 4.4 (ก) และเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเปลี่ยนสีจากน้ำตาลส้มเป็นสีน้ำตาลอ่อน และความแข็งของเส้นใยลดลง เนื่องจากลิกนินที่ทำหน้าที่ให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรงถูกกำจัดออกไป เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าจึงมีองค์ประกอบหลักเหลือแค่เซลลูโลส ดังรูปที่ 4.4 (ข)



รูปที่ 4.4 สารละลายและเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ได้จากการไฮโดรไลซิสด้วยกรดและด่าง

#### 4.3 ผลการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างไบโอดีเซลและเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

ปัจจัยที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ การปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุด

เมื่อนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าทำปฏิกิริยากับไบโอดีเซล โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันขึ้น จากการทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ พบว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าหลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีลักษณะที่เปลี่ยนไปจากก่อนทำปฏิกิริยา ในทางกายภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ทำปฏิกิริยาจะมีสีที่เปลี่ยนไป กล่าวคือยังทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง สีของเส้นใยก็ยังมีสีเข้มขึ้นจากสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงสีดำ และโครงสร้างของเส้นใยเกิดการแตกสลายเพราะอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



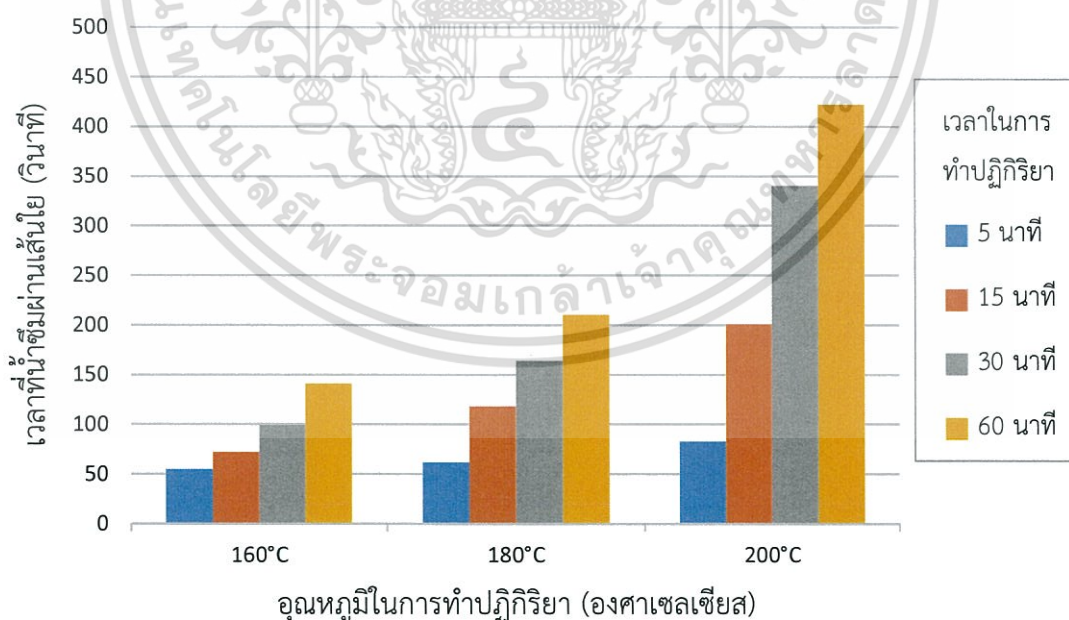
รูปที่ 4.5 เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าหลังจากทำปฏิกิริยาแล้ว

#### 4.4 ผลการทดสอบความไม่ชอบน้ำ

นำเส้นใยที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาและเส้นใยที่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันอัดเป็นเม็ดเพื่อทดสอบความไม่ชอบน้ำ

##### 4.4.1 เวลาที่น้ำซึมผ่านลงในเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าไม่ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยที่สภาวะต่างๆ

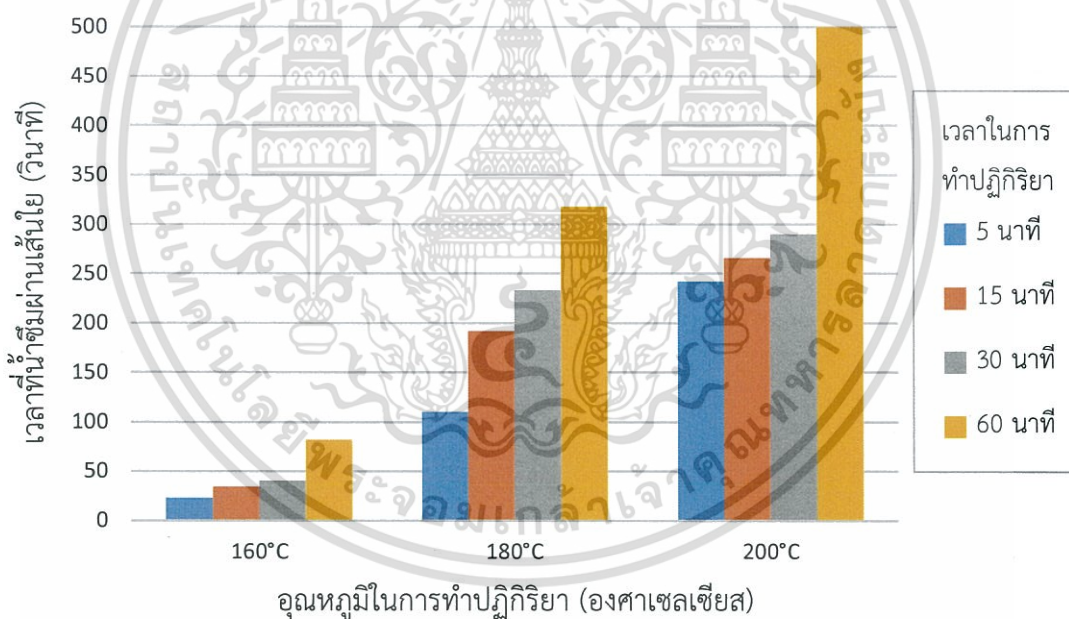
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยที่สภาวะต่างๆ โดยที่เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่นำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันไม่ผ่านการปรับสภาพและผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก ซึ่งเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยจะแสดงถึงความไม่ชอบน้ำของเส้นใย เวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยจะแปรผันตรงกับความไม่ชอบน้ำของเส้นใย สามารถวิเคราะห์จากปัจจัยที่ศึกษาได้ ดังนี้

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้น เวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยก็ยิ่งมากขึ้นไปด้วย จึงสรุปได้ว่าการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสทำให้เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามีความไม่ชอบน้ำมากที่สุด

เวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น เวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยก็ยิ่งมากขึ้นไปด้วย นั่นแสดงว่าการทำปฏิกิริยาที่เวลา 60 นาที ทำให้เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามีความไม่ชอบน้ำมากที่สุด

#### เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยที่สภาวะต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบสภาวะในเรื่องการปรับสภาพเส้นใยก่อนนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าเมื่อนำเส้นใยมาปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก แนวโน้มเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยมากกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดในการทดลองคือ การทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามาปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกก่อนนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 มุมสัมผัสของน้ำและความpongตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

ทำการทดสอบโดยการหยดน้ำลงบนเม็ดเส้นใย แล้วเปรียบเทียบมุมสัมผัสของน้ำและความpongตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า ทั้ง 4 สภาวะ เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังนี้

ตารางที่ 4.1 มุมสัมผัสของน้ำและความpongตัวของเส้นใยที่สภาวะต่างๆ

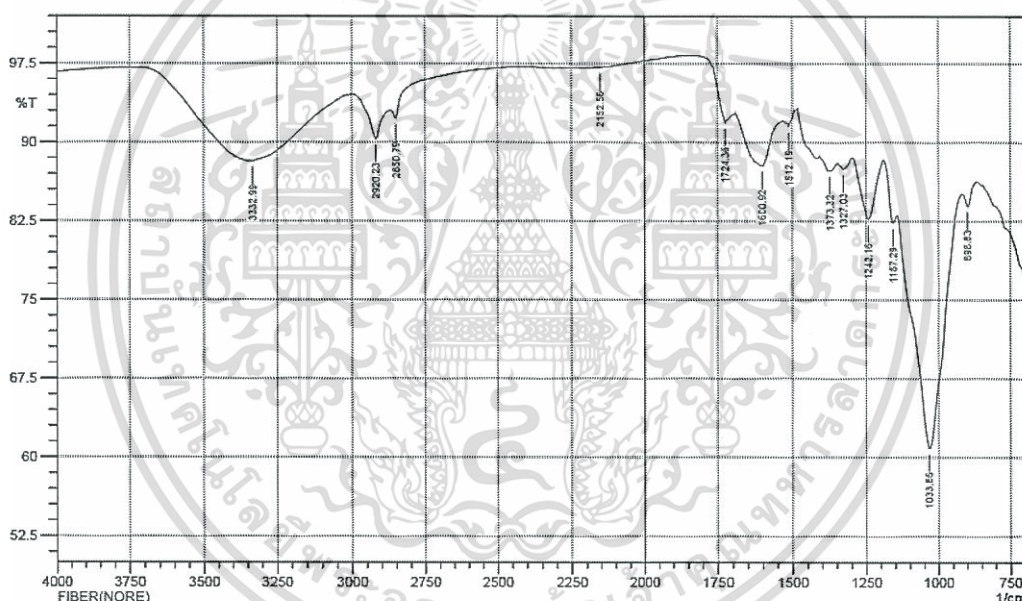
สภาวะ		มุมสัมผัสของน้ำ	ความpongตัว
1	ไม่ทำปฏิกิริยา		
2	อุณหภูมิ	200 องศาเซลเซียส	
	เวลา	1 ชั่วโมง	
	การปรับสภาพเส้นใย	ไม่ผ่านการปรับสภาพ	
3	อุณหภูมิ	200 องศาเซลเซียส	
	เวลา	1 ชั่วโมง	
	การปรับสภาพเส้นใย	ปรับสภาพด้วยกรด	
4	อุณหภูมิ	200 องศาเซลเซียส	
	เวลา	1 ชั่วโมง	
	การปรับสภาพเส้นใย	ปรับสภาพด้วยกรดและด่าง	

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ยังไม่ทำปฏิกิริยามีมุมสัมผัสของน้ำกับเส้นใยน้อยกว่า 90 องศา แสดงว่ามีความชอบน้ำสูง ในทางตรงกันข้ามเส้นใยที่ทำปฏิกิริยาทั้ง 3 สภาวะ มีมุมสัมผัสของน้ำกับแผ่นเส้นใยมากกว่า 90 องศา แสดงว่าถึงความไม่ชอบน้ำของเส้นใย

เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีความpongตัวของเส้นใยมาก เพราะมีความชอบน้ำสูงเส้นใยจึงสามารถดูดซับน้ำได้ ส่วนเส้นใยที่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันทั้ง 3 สภาวะมีความpongตัวของเส้นใยน้อย เพราะมีความไม่ชอบน้ำ จึงดูดซับน้ำได้ไม่

#### 4.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย Fourier Transform Infrared (FTIR)

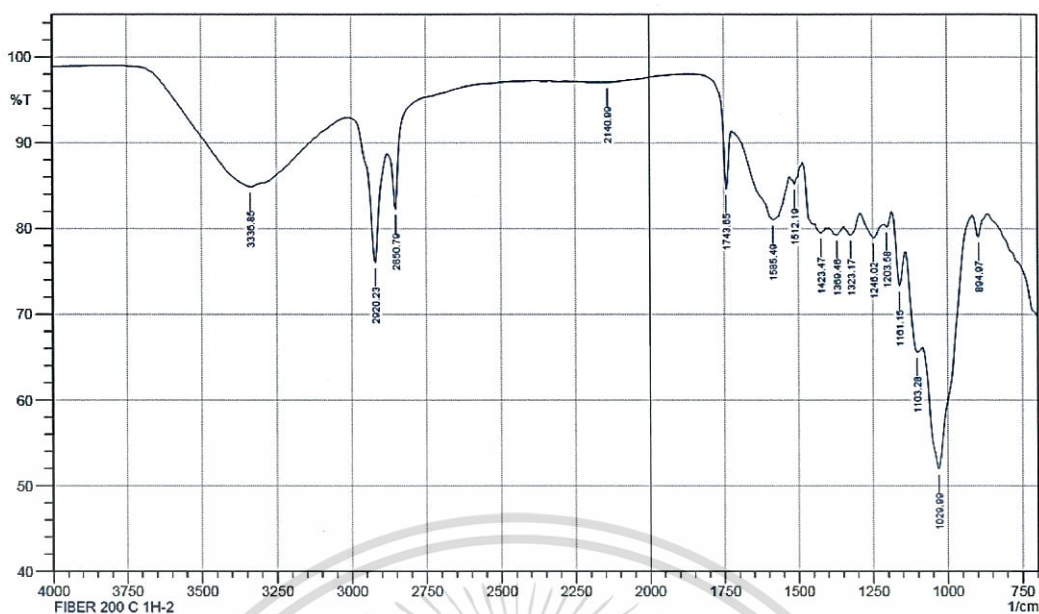
การวิเคราะห์ด้วย FTIR เป็นการตรวจวัดหมู่ฟังก์ชันบนผิวของเส้นใยด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy ที่เลขคลื่น (Wave number) ตั้งแต่  $700 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$  เมื่อแสงอินฟราเรดตกกระทบกับโมเลกุลของสาร จะเกิดการสั่นของโมเลกุลและถูกดูดกลืนที่ตรงกับความถี่ของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ และแปลงผลมาอยู่ในรูปสเปกตรัมการดูดกลืนในช่วงความถี่ต่างๆ ซึ่งในหนึ่งโมเลกุลสามารถมีสเปกตรัมจำนวนหลายพีก เนื่องจากโมเลกุลมีพันธะมากกว่า 1 พันธะ ในงานวิจัยนี้ทำการตรวจวัดตัวอย่างเม็ดเส้นใยทั้งหมด 4 สภาวะ ได้แก่ เส้นใยที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (รูปที่ 4.8) เส้นใยทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยที่เส้นใยไม่ผ่านการปรับสภาพ (รูปที่ 4.9) เส้นใยผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก (รูปที่ 4.10) และเส้นใยผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (รูปที่ 4.11)



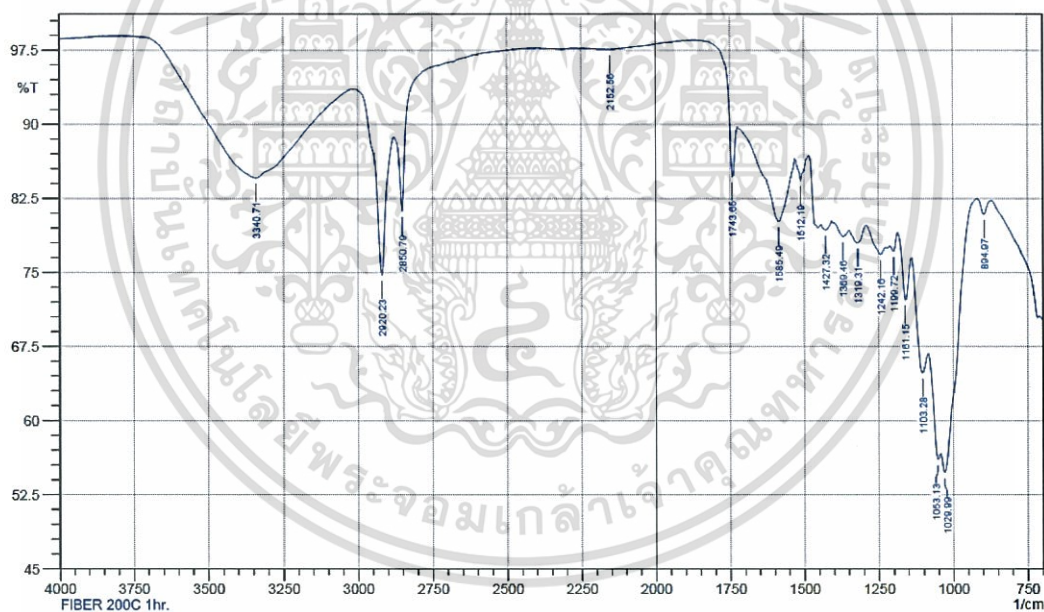
รูปที่ 4.8 FTIR Spectra ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา

จากผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR พบว่าทั้ง 4 ตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์ พีกที่เลขคลื่นประมาณ  $3,330 - 3,340 \text{ cm}^{-1}$  เป็นหมู่ฟังก์ชันของ O-H group ซึ่งเป็นหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นโครงสร้างของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า และพีกที่เลขคลื่นประมาณ  $2,850 - 2,920 \text{ cm}^{-1}$  เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-H group จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่ามีสัดส่วน C-H group ต่อ O-H group น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 มีสัดส่วน C-H Stretching ต่อ O-H Stretching มากกว่าเส้นใยที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมาก เนื่องจากเส้นใยที่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับไบโอดีเซล มีหมู่อัลคิล (R group) จากไบโอดีเซลไปต่อที่โครงสร้างของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า ดังนั้นจึงปรากฏพีกของ C-H Stretching มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

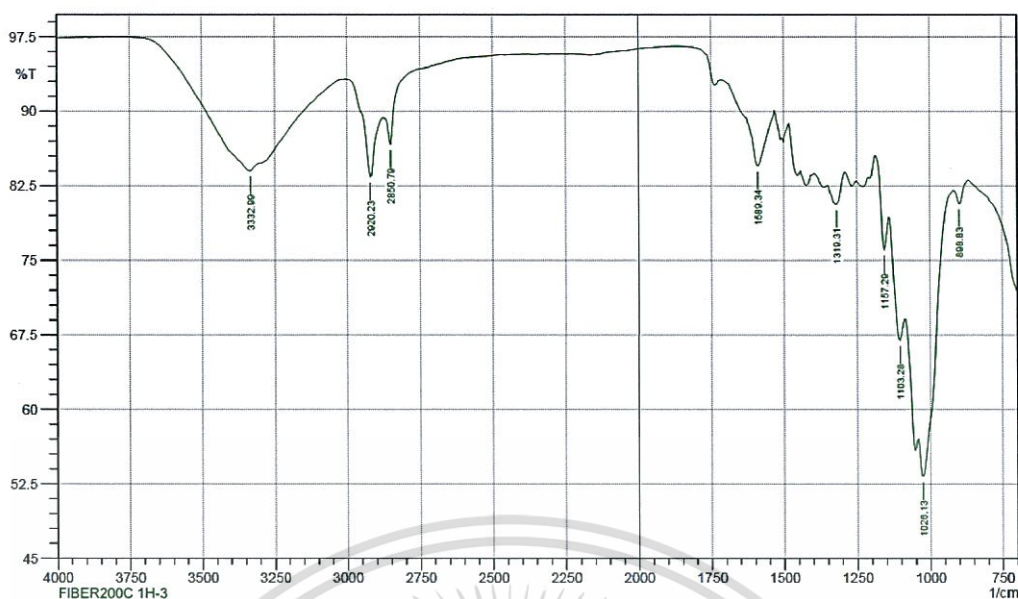


รูปที่ 4.9 FTIR Spectra ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง โดยเส้นใยไม่ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.10 FTIR Spectra ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง โดยเส้นใยผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 FTIR Spectra ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง โดยเส้นใยผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์

อย่างไรก็ตาม จากกราฟ FTIR ของเส้นใยผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับไบโอดีเซล พบว่ามีสัดส่วน C-H Stretching ต่อ O-H Stretching น้อยกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก แสดงว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีความไม่ชอบน้ำน้อยกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก เนื่องจากเมื่อทำการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการทำลายโครงสร้างและกำจัดลิกนินออกจากเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า โครงสร้างของลิกนินประกอบด้วยหมู่อะโรมาติกจำนวนมากที่มีความไม่ชอบน้ำ เมื่อไม่มีลิกนินในโครงสร้างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เส้นใยจึงมีความชอบน้ำมากขึ้น เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจึงมีความชอบน้ำน้อยกว่าเส้นใยที่ยังมีลิกนินอยู่

นอกจากนี้เส้นใยที่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (รูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11) ยังปรากฏฟีกของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (C=O Stretching) ที่เลขคลื่นประมาณ  $1,740\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่เอสเทอร์ เป็นการยืนยันว่าเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันขึ้นที่ผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

พื้นผิวไม่ชอบน้ำบนเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสามารถทำได้โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันระหว่างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ากับไบโอดีเซล เริ่มจากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ไขปาล์มสเตียรินและเมทานอลเป็นสารตั้งต้น กระทำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรอล จากนั้นทำการปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากโครงสร้างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน กระทำที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างที่เวลา 5 15 30 และ 60 นาที สามารถทำการวิเคราะห์ความไม่ชอบน้ำได้จากการทดสอบการหยดน้ำลงบนแผ่นเส้นใยเพื่อทดสอบการซึมผ่านน้ำลงบนเส้นใย ความpongตัวของเส้นใยและมุมสัมผัสของน้ำกับผิวเส้นใย และทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันบนผิวเส้นใยด้วย FTIR จากการทดลองพบว่าสภาวะในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง โดยเส้นใยผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเป็นสภาวะที่ดีที่สุด เนื่องจากมีเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยมากที่สุด มีมุมสัมผัสของน้ำกับเส้นใยมากกว่า 90 องศา ความpongตัวของเส้นใยน้อยที่สุด และสามารถยืนยันการเกิดหมู่ฟังก์ชันของพื้นผิวเส้นใยด้วย FTIR

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การหยดน้ำลงบนพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า การทดสอบใช้การหยดน้ำจากหลอดหยด ผู้ทดลองอาจไม่มีความแม่นยำในการหยด ทำให้ขนาดหยดน้ำที่หยดในแต่ละตัวอย่างไม่เท่ากัน และเวลาที่น้ำซึมผ่านเส้นใยควรทดลองในระบบปิดเพื่อป้องกันระเหยของน้ำ ซึ่งทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้

2. สารละลายที่ได้จากการปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟิวริก ประกอบด้วยน้ำตาลไฮโดรไลสเป็นองค์ประกอบหลัก จึงสามารถนำสารละลายดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ต่อ ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นไฮลิตอลซึ่งเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาล และยังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลอีกด้วย

3. เมื่อทำการเพิ่มความไม่ชอบน้ำให้กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า ในขั้นต่อไปจึงควรทดลองนำเอาเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าผสมกับพอลิเมอร์ เพื่อทดสอบการเสริมแรงของวัสดุคอมโพสิตต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วารินทร์ เพชรสีช่วง. “อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน.” ธนาคารกรุงศรีอยุธยา. 2559
- [2] ผู้จัดการออนไลน์. “ปาล์มน้ำมัน: พืชเศรษฐกิจ...ที่น่าจับตามอง.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.manager.co.th/iBizChannel/ViewNews.aspx>. 2547
- [3] นรินทร์ ตันไพบูลย์. “อุตสาหกรรมไบโอดีเซล.” ธนาคารกรุงศรีอยุธยา. 2560
- [4] ปิยะนุช เปี้ยคง. “การศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากทะลายปาล์มเปล่า.” วิทยานิพนธ์  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2557
- [5] Chang, S.H.. “An overview of empty fruit bunch from oil palm as feedstock for bio-oil production.” *Biomass and Bioenergy*. vol.62. 2014. pp. 174-181.
- [6] กระทรวงพลังงาน. “ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน: กรณีศึกษาทะลายเปล่า (Empty Fruit Bunch).” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน.pdf>. 2560
- [7] ไทยนต์การเกษตร. “โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thaiyon.com/โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.html>. 2560
- [8] กระทรวงพลังงาน. “ไบโอดีเซล.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://www.eppo.go.th/images/Infomation\\_service/Publication/Knowledge/biodies.pdf](http://www.eppo.go.th/images/Infomation_service/Publication/Knowledge/biodies.pdf). 2551
- [9] Alkabbashi, A.N.,Alam, M.Z.. “Biodiesel Production from Crude Palm Oil by Transesterification Process.” *Journal of sciences*. vol.9(17). 2009. pp. 3166-3170.
- [10] รัชพล พะวงศรีรัตน์. “กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส.” *Veridian E-Journal*. vol.1(2). 2015. pp.143-157
- [11] “ปรากฏการณ์ น้ำกลิ้งบนใบบัว (LOTUS EFFECT).” ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. 2547
- [12] หลุทกัต กิรติเสวี. “An Overview of Composite Materials.” *วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*. vol.70(22). 2553. pp. 18-32.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Wei, L., Agarwal, U.P.. “Chemical modification of nanocellulose with canola oil fatty acid methyl ester.” *Carbohydrate Polymers*. vol.169. 2017. pp. 108-116.
- [14] Hisyam, A., Suryanegara, L. “Surface Modification of Cellulose from Sugarcane Bagasse Using Soybean Oil to Increase the Hydrophobicity.” *11<sup>th</sup> Joint Conference on Chemistry in conjunction with 4<sup>th</sup> Regional Biomaterial Scientific Meeting Proceeding of Chemistry Conferences*. vol. 2. 2017.
- [15] Ji, X., Ma, H. “Production of xylose from diluted sulfuric acid hydrolysis of wheat straw.” *BioResources*. vol. 12(4). 2017. pp. 7084-7095.
- [16] Punsuvon, V., Thanusaeng, N. “Xylose from Corn Cobs by Steam Explosion” *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38*. 2543. pp. 507-513.
- [17] Sreekala, M. S., Kumaran, M. G. “Oil palm fibers: Morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties.” *Journal of Applied Polymer Science*. vol. 66(5). 1997. pp. 821-835.
- [18] Ouajai, S., Ruangwilairat, P. “Morphology and Structure of Modified Oil Palm Empty Fruit Bunch Cellulose Fibre.” *Advanced Materials Research*. vol. 93. 2010. pp. 607-610
- [19] Kittikom, T., Strömberg, E. “Comparison of water uptake as function of surface modification of empty fruit bunch oil palm fibres in PP biocomposites.” *BioResources*. vol. 8(2). pp. 2998-3016



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลดิบ

## 1. การปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

น้ำหนักเส้นใยปาล์มก่อนไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก	25 กรัม
น้ำหนักเส้นใยปาล์มก่อนไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกหลังอบแห้ง	23 กรัม
น้ำหนักเส้นใยปาล์มหลังไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก	15 กรัม
น้ำหนักเส้นใยปาล์มก่อนไฮโดรไลซิสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	8 กรัม
น้ำหนักเส้นใยปาล์มก่อนไฮโดรไลซิสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์หลังอบแห้ง	7.4 กรัม
น้ำหนักเส้นใยปาล์มหลังไฮโดรไลซิสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	5.182 กรัม

## 2. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

สภาวะ	อุณหภูมิ	น้ำหนักโปโตเซล (กรัม)	น้ำหนักเส้นใยปาล์ม (กรัม)	น้ำหนัก KOH (กรัม)
เส้นใยปาล์มไม่ไฮโดรไลซิส	160 °C	101.5	5.336	0.4839
	180 °C	100.7	5.215	0.4742
	200 °C	102.1	5.224	0.4509
เส้นใยปาล์มไฮโดรไลซิสด้วย H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	160 °C	102.5	5.187	0.4685
	180 °C	101.6	5.120	0.4881
	200 °C	103.0	5.203	0.5003
เส้นใยปาล์มไฮโดรไลซิสด้วย H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> และ NaOH	200 °C	102.2	5.248	0.4761

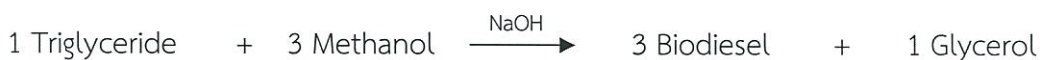
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## การคำนวณ

## 1. การคำนวณการผลิตไบโอดีเซล

จากสมการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์และเมทานอล



อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมันตามปฏิกิริยาจริง คือ 3:1 แต่เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมันเป็น 6:1 เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้นและเกิดปฏิกิริยาเป็นไบโอดีเซลได้เร็วขึ้น

	1 Palm Wax	+	6 Methanol
มวลโมเลกุล	840 g		32 g
จำนวนโมล	1.6		9.6
น้ำหนัก	1,344 g		307.2 g
ความหนาแน่น	0.88 g/cm <sup>3</sup>		0.7918 g/cm <sup>3</sup>
ปริมาตร	1,528 cm <sup>3</sup>		388 cm <sup>3</sup>

ดังนั้น ใช้ Palm wax 1,344 กรัม เมทานอล 307.2 กรัม และมีปริมาตรรวม 1,915 ลูกบาศก์เซนติเมตร

## 2. การคำนวณปริมาณการใช้ KOH

กำหนดให้ ปริมาณ KOH เท่ากับ 0.5% ของปริมาณ Palm wax

$$\text{ดังนั้น ปริมาณ KOH} = \frac{0.5}{100} \times 1,344 = 6.72 \text{ กรัม}$$

## ภาคผนวก ค

## เลขคลื่นที่หมู่ฟังก์ชันต่างๆของ FTIR

## IR Spectroscopy by Functional Group

<b>Alkanes</b>	
Identification of absorbance	Wavenumbers, $\text{cm}^{-1}$
$\text{sp}^3$ C-H stretch	2960-2850 ( $<3000$ )
<b>Alkenes</b>	
$\text{sp}^2$ C-H stretch	3100-3020 $\text{cm}^{-1}$ ( $>3000$ )
C=C stretch	1680-1620 $\text{cm}^{-1}$ (often weak)
<b>Alkynes</b>	
$\text{sp}$ C-H stretch	3333-3267 $\text{cm}^{-1}$
C-C triple bond stretch	2260-2100 $\text{cm}^{-1}$ (often weak)
<b>Nitriles</b>	
C-N triple bond stretch	2260-2240 $\text{cm}^{-1}$ (aliphatic) 2240-2222 $\text{cm}^{-1}$ (conjugated)
<b>Alcohols</b>	
O-H stretch	3600-3200 $\text{cm}^{-1}$ (strong and broad)
C-O stretch	1150-1050 $\text{cm}^{-1}$
<b>Aromatic Compounds</b>	
$\text{sp}^2$ C-H stretch	3100-3020 $\text{cm}^{-1}$ ( $>3000$ )
C=C stretch	$\sim 1585$ $\text{cm}^{-1}$
Aromatic overtones of ring bends	2000-1667 $\text{cm}^{-1}$
Aromatic out-of-plane ring bends	$\sim 900$ -700 $\text{cm}^{-1}$ (see p. 519)
<b>Amines</b>	
N-H stretch	3500-3350 $\text{cm}^{-1}$
C-N stretch (often weak and hard to find)	1250-1020 $\text{cm}^{-1}$ (aliphatic) 1342-1266 $\text{cm}^{-1}$ (aromatic)
<b>Aldehydes</b>	
C-H stretch of -CHO	2830-2695 $\text{cm}^{-1}$
C=O stretch	1740-1720 $\text{cm}^{-1}$
<b>Ketones</b>	
C=O stretch	1750-1710 $\text{cm}^{-1}$ (1715 is typical for aliphatic ketones) 1685-1665 $\text{cm}^{-1}$ (conjugated)
<b>Carboxylic acids</b>	
O-H of $-\text{CO}_2\text{H}$	3600-2500 $\text{cm}^{-1}$ (centered at $\sim 3000$ )
C=O stretch	1720-1710 $\text{cm}^{-1}$ (aliphatic), 1700-1680 $\text{cm}^{-1}$ (conjugated)
<b>Esters</b>	
C=O stretch	1750-1735 $\text{cm}^{-1}$ (aliphatic), 1720-1715 $\text{cm}^{-1}$ (conjugated)
C-O stretch	1300-1000 $\text{cm}^{-1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

## อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ค.1 Jacketed Batch Reactor



รูปที่ ค.2 Water Circulating Bath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 เครื่องอัดไฮดรอลิก

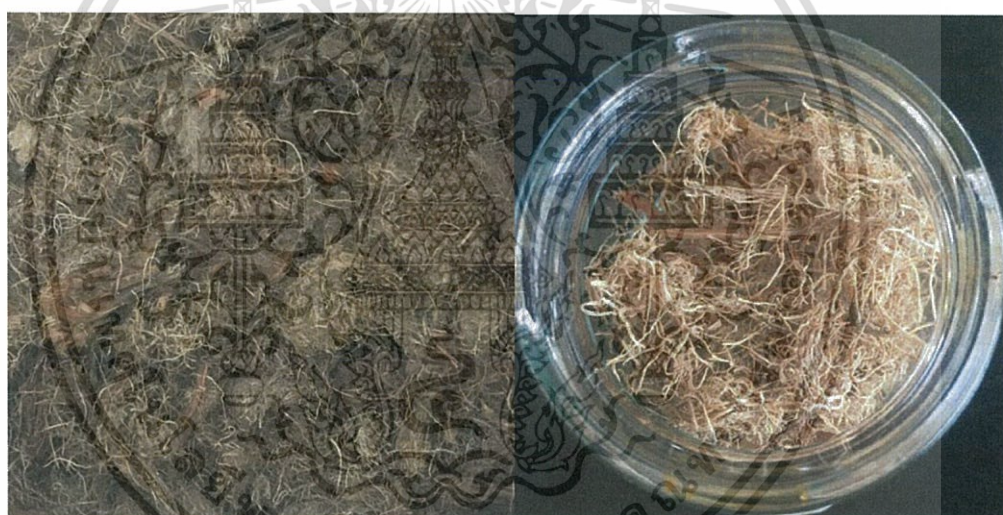


รูปที่ ค.4 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.5 ไชปาล์มสเตียริน



รูปที่ ค.6 เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้