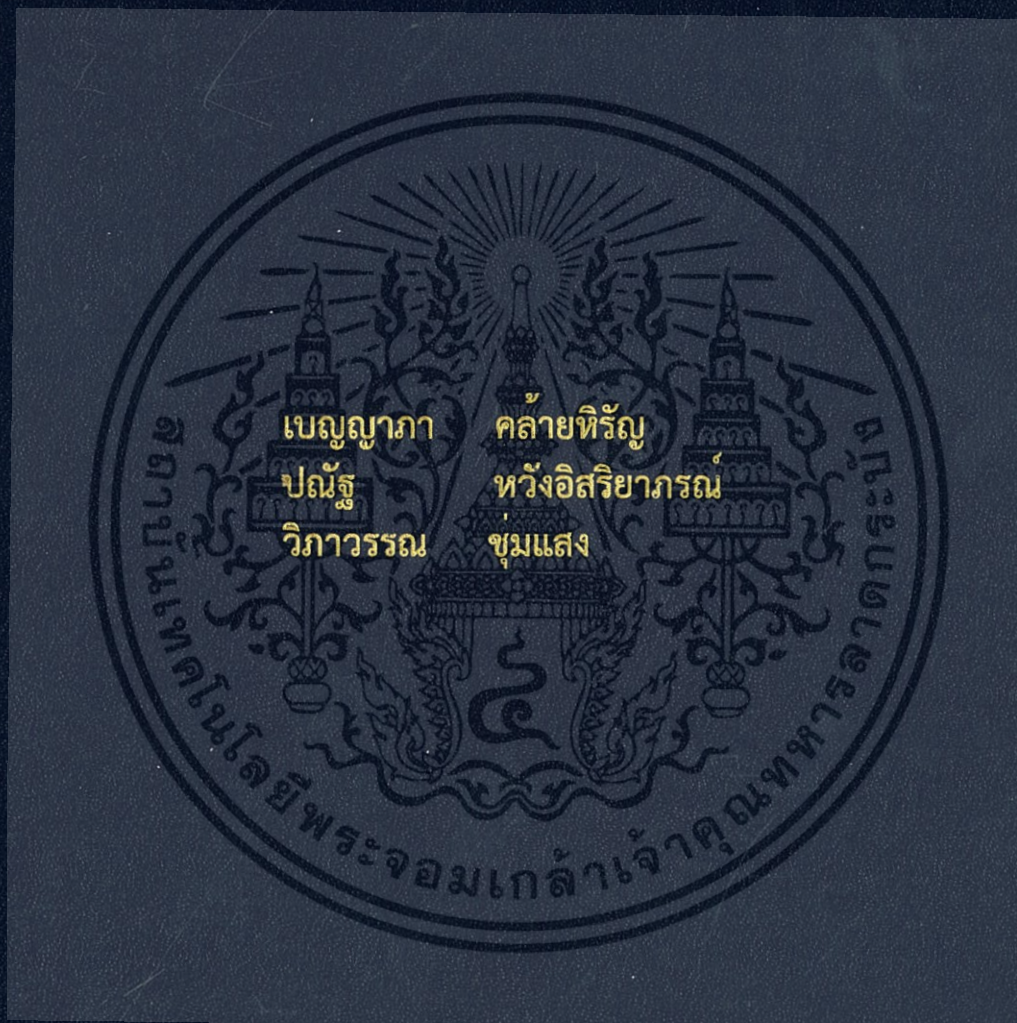


การปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติเพื่อการบำบัดน้ำมัน

The Modification of Natural fibers for oil treatment



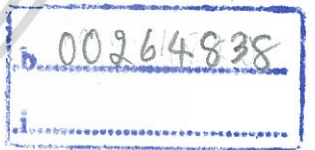
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติเพื่อการบำบัดน้ำมัน

The Modification of Natural fibers for oil treatment



TB000047



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# The Modification of Natural fibers for oil treatment



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติ เพื่อการบำบัดน้ำมัน The Modification of Natural fibers for oil treatment.
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเบญญาภา คล้ายหิรัญ รหัสนักศึกษา 56050718 นายปณัฐ หวังอิสริยาภรณ์ รหัสนักศึกษา 56050720 นางสาววิภาวรรณ ชุ่มแสง รหัสนักศึกษา 56050756
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต เคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ประธานกรรมการ	
อ.ปัทมา สีสหวงศ์ กรรมการ	
ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติเพื่อการบำบัดน้ำมัน
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเบญญาภา คล้ายหิรัญ รหัสนักศึกษา 56050718 นายปณัฐ หวังอิสริยาภรณ์ รหัสนักศึกษา 56050720 นางสาววิภาวรรณ ชุ่มแสง รหัสนักศึกษา 56050756
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาการปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติ (ผลปาล์ม และนุ่น) ด้วยปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไตรเมทิลคลอโรไซเลน โดยทำการศึกษามุมฟังก์ชันของเส้นใยของผลปาล์ม และนุ่น ก่อนและหลังปรับสภาพ ลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใย การดูดซับน้ำของเส้นใย มุมสัมผัสน้ำ การดูดซับน้ำมัน การนำเส้นใยกลับมาดูดซับน้ำมันซ้ำ และการประยุกต์ใช้เส้นใยดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังจากการปรับสภาพเส้นใยพบว่าพื้นที่ผิวของเส้นใยมีความขรุขระมากขึ้น มุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้น และการดูดซับน้ำลดลง คือ เส้นใยของผลปาล์มดูดซับน้ำลดลงร้อยละ 67 มุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้นจาก  $96^{\circ}$  เป็น  $103^{\circ}$  ส่วนเส้นใยนุ่นดูดซับน้ำลดลงร้อยละ 34 มุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้นจาก  $138^{\circ}$  เป็น  $168^{\circ}$  จากนั้นนำเส้นใยทั้งสองชนิดมาดูดซับน้ำมันปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ประมาณ 88.03 กรัม) พบว่าเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุด คือร้อยละ 74.67 ตามด้วยเส้นใยนุ่นหลังปรับสภาพ เส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ และเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ ดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 8.80, 5.15 และ 4.37 ตามลำดับ การนำเส้นใยกลับมาใช้ซ้ำ พบว่าเส้นใยทุกชนิดไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ และเมื่อประยุกต์ใช้เส้นใยดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการดูดซับน้ำมันบนเส้นใย คือประสิทธิภาพการกำจัดเป็นร้อยละ 70.94, 66.86, 49.20 และ 48.84 ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** ปรับสภาพเส้นใย, เส้นใยธรรมชาติ, ไตรเมทิลคลอโรไซเลน, การบำบัดน้ำมัน

<b>Title</b>	The Modification of Natural fiber for oil treatment.		
<b>Students</b>	Miss Benyapa	Klayhirun	Student ID 56050718
	Mr. Panat	Wangissariyaporn	Student ID 56050720
	Miss Wipawan	Chumsaeng	Student ID 56050756
<b>Degree</b>	Chemistry		
<b>Department</b>	Enviromental Chemistry		
<b>Faculty</b>	Science		
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
<b>Academic Year</b>	2016		
<b>Advisor</b>	Dr.Glinsukol Suwanarat		

### Abstract

The aim of this special project is to study the Modification of Natural fibers (palm fruit and kapok) with Trimethylchlorosilane for oil treatment. Both types of fiber were modified with Sodium Hydroxide modification and Trimethylchlorosilane. The study investigates functional group within fibers, the surface area of the fibers, water adsorption, water contact angle, the adsorption of oil, reuse of fibers and the application of fibers to adsorb oil in synthesis wastewater. From experiment, it was found that the surface area of the fibers was more rugged. Palm fruit fibers that adsorb water decreased by 67 % and water contact angle has increased from 94° to 102° while Kapok fibers that adsorb water by decreased by 34 % and water contact angle has increased from 138° to 165°. For adsorption of all types of fibers, it was found that the most of oil was adsorped by kapok fibers before modification at 74.67%, followed by Kapok fibers after modification, Palm fruit fiber before modification and Palm fruit fiber after modification which could adsorb oil at 8.80%, 5.15% and 4.37%, respectively. And when these fibers were applied to adsorb oil in synthesis wastewater, the reused fibers gave the result like an oil adsorption. The Efficiency of Oil Removal is 70.94%, 66.86%, 49.20% and 48.84%, respectively. All type of fibers were non-reuseable

**Keywords** : Modification of fibers, Natural fibers, Trimethylchlorosilane, oil treatment

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.กสินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาโครงการในเรื่องที่น่าสนใจ ทั้งยังมอบความรู้ พร้อมทั้งเอาใจใส่ ตลอดการทำโครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และอ.ปัทมา ลีพหาวงศ์ ประธานกรรมการ และกรรมการผู้คุมสอบที่ได้เสียสละเวลาในการเข้าร่วมรับฟังโครงการพิเศษนี้ พร้อมทั้งยังให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขโครงการพิเศษจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท ธนาปาล์ม โปรดักส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นใยของผลปาล์มเพื่อใช้ในการศึกษาโครงการพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ในการดำเนินโครงการพิเศษ และจัดทำเอกสารเกี่ยวกับการดำเนินงาน ทำให้การจัดทำโครงการพิเศษนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนเกี่ยวกับการทำโครงการพิเศษ

เบญญาภา คล้ายหิรัญ

ปณัฐ

วิภาวรรณ

หวังอิสริยาภรณ์

ชুমแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 เส้นใยธรรมชาติ	3
2.1.1 ปาล์มน้ำมัน และเส้นใยของผลปาล์ม	3
2.1.2 นุ่น และเส้นใยนุ่น	6
2.1.3 องค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติ	6
2.2 ปรับสภาพเส้นใย	8
2.2.1 วิธีทางกายภาพ	8
2.2.2 วิธีทางเคมี	8
2.2.3 วิธีทางชีวภาพ	10
2.3 การกระจายตัวหรือการเปียก (wetting)	10
2.3.1 มุมสัมผัส (Contact angle)	11
2.3.2 การวัดมุมสัมผัส (Contact angle, $\theta$ )	11
2.4 น้ำมัน	14
2.5 มลพิษทางน้ำของน้ำมัน	16
2.5.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	16
2.5.2 ผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจสังคม	16
2.6 การกำจัดน้ำมัน	17
2.6.1 การแยกโดยใช้เครื่องแยก (Decantation)	17
2.6.2 การแยกโดยการทำให้รวมตัว (Coalescence)	17
2.6.3 การแยกโดยใช้การลอยตัว (Flotation)	17
2.6.4 การแยกโดยใช้วิธีการปั่นออกจากศูนย์กลาง (Centrifugation)	17
2.6.5 การแยกโดยใช้ความร้อน (Thermal processes)	17
2.6.6 อัลตราฟิวเตรชัน (Ultra filtration)	17

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 การดูดซับ	18
2.7.1 ประเภทของการดูดซับ	18
2.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	18
2.7.3 ประเภทของสารดูดซับ	19
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	<b>22</b>
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	22
3.1.1 สารเคมี	22
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	22
3.2 การเตรียมเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ	23
3.3 การเตรียมสารปรับสภาพเส้นใย	23
3.3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์	23
3.3.2 ไตรเมทิลคลอโรไซเลน	23
3.4 ปรับสภาพเส้นใย	23
3.4.1 ปรับสภาพเส้นใยของผลปาล์มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	23
3.4.2 ปรับสภาพเส้นใยของผลปาล์มด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน	24
3.5 ศึกษาลักษณะโครงสร้างเส้นใย	24
3.6 ศึกษาคุณลักษณะของเส้นใย	24
3.7 ศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใย และวิเคราะห์มุมสัมผัสน้ำ	24
3.7.1 ศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใย	24
3.7.2 ศึกษามุมสัมผัสน้ำ	25
3.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย	25
3.9 การนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย	25
3.9.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย	25
3.10 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของเส้นใยในน้ำเสียสังเคราะห์	26
3.10.1 วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในน้ำเสียจริง	26
3.10.2 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของเส้นใยในน้ำเสียสังเคราะห์	26
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b>	<b>28</b>
4.1 การปรับสภาพเส้นใย	28
4.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างในเส้นใย	29
4.3 ศึกษาคุณลักษณะของเส้นใย	32
4.3.1 เส้นใยของผลปาล์ม	32
4.3.2 เส้นใยนุ่น	34
4.4 ศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใย ด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมตริกซ์	35
4.4.1 ศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใย	35
4.4.2 ศึกษามุมสัมผัสน้ำหรือการเปียกของเส้นใย	39
4.5 ศึกษาความสามารถในการการดูดซับน้ำมันของเส้นใย	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 การนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย	42
4.6.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย	42
4.6.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย	45
4.7 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของเส้นใยในน้ำเสียสังเคราะห์	46
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>48</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก ก	53
ภาคผนวก ข	64
ภาคผนวก ค	79
ภาคผนวก ง	84



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบส่วนน้อยน้ำมันปาล์มดิบ	15
2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม	15
4.1 การดูดซับน้ำของเส้นใย	37
4.2 มุมสัมผัสน้ำโดยเฉลี่ยของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ	40
4.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย	41
4.4 การดูดซับน้ำมันของเส้นใยในน้ำเสียสังเคราะห์	47
ข.1 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ	68
ข.2 การดูดซับน้ำของเส้นใย	66
ข.3 ค่ามุมสัมผัสน้ำของเส้นใย	67
ข.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ	68
ข.5 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ	70
ข.6 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ	72
ข.7 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ	74
ข.8 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยทั้ง 4 ชนิด	76
ข.9 การเปรียบเทียบร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใยทั้ง 4 ชนิด	77
ข.10 ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด	78
ค.1 ความแปรปรวนวิธี Kruskal-Wallis	82
ค.2 การแจกแจงแบบไคสแควร์ (Chi-Square)	83
ง.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะต้นปาล์ม	3
2.2 ลักษณะของผลและเมล็ดปาล์ม	4
2.3 ลักษณะของเส้นใยของผลปาล์ม	5
2.4 ลักษณะโครงสร้างเส้นใยของพืช	5
2.5 ลักษณะต้นนุ่น	6
2.6 โครงสร้างของเซลลูโลส	7
2.7 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	7
2.8 โครงสร้างของลิกนิน	8
2.9 ปรับสภาพเซลลูโลสด้วยต่าง	9
2.10 ลักษณะสารเคลือบบนแผ่นรองรับ	11
2.11 ของเหลวที่อยู่บนผิวฟิล์มหรือแผ่นรองรับ	11
2.12 มุมสัมผัส (Contact angle, $\theta$ )	11
2.13 คุณสมบัติของหยดน้ำกับมุมสัมผัสที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว	12
2.14 วิธีการวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวที่มีการปนเปื้อนและการทำความสะอาด	13
2.15 วิธีการวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวของแข็งที่มีลักษณะเอียง	13
2.16 โมเลกุลน้ำมันและไขมัน	14
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยก่อนปรับสภาพ	30
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยหลังปรับสภาพ	31
4.3 ลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ	33
4.4 ลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ	33
4.5 ลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ	34
4.6 ลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใยนุ่นหลังปรับสภาพ	35
4.7 น้ำหนักของเส้นใยของผลปาล์มตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (TGA thermogram)	36
4.8 น้ำหนักของเส้นใยนุ่นตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (TGA thermogram)	38
4.9 ปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใย	38
4.10 มุมสัมผัสน้ำของเส้นใยของผลปาล์มก่อน และหลังปรับสภาพ	39
4.11 มุมสัมผัสน้ำของเส้นใยนุ่นก่อน และหลังปรับสภาพ	40
4.12 ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน	43
4.13 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ	43
4.14 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ	44
4.15 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ	44
4.16 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเส้นใยนุ่นหลังปรับสภาพ	45
4.17 ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย	46
ก.1 ส่วนประกอบของเครื่อง FT-IR	53
ก.2 หลักการและส่วนประกอบของเครื่อง SEM	55

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.3 ส่วนประกอบของเครื่อง TGA	57
ก.4 ส่วนประกอบของเครื่อง CTA	59
ก.5 ส่วนประกอบของเครื่อง Rotary Evaporator	60
ก.6 โปรแกรม Image J	61
ข.1 เส้นใยของผลปาล์มก่อนและหลังปรับสภาพ	64
ข.2 เส้นใยนุ่นก่อนและหลังปรับสภาพ	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

$\theta$  มุมองศาที่น้ำสัมผัสเส้นใย

° องศา

°C องศาเซลเซียส

$\mu\text{m}$  ไมโครเมตร

CTA เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle analyzer)

FT-IR เครื่องฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์  
(Fourier Transform Infrared Spectrometer)

g/g กรัมไขมันต่อกรัมเส้นใย

PP โพลีโพรไพลีน (Polypropylene)

TGA เครื่องมือเทอร์โมกราวิเมตริกซ์ (Thermogravimetric analyzer)

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คราบไขมันและไขมันที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ นับเป็นปัญหาที่มีมาอย่างยาวนาน และเพิ่มมากขึ้นในทุกวัน ปัญหาดังกล่าวไม่เพียงแต่จะทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำลดน้อยลง จนเกิดเป็นปัญหามลพิษทางน้ำ แล้วยังส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ (2546) พบว่ามีปริมาณไขมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนร้อยละ 10 ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด คราบไขมันและไขมันที่ปนเปื้อนจะลอยอยู่บนชั้นน้ำเนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่า ปิดกั้นไม่ให้ออกซิเจนละลายลงในน้ำ อีกทั้งยังลดขั้นตอนสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

การดูดซับเป็นหนึ่งในทางเลือกที่ใช้กำจัดคราบไขมันและไขมันในน้ำ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ราคาถูก และมีขั้นตอนการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน คือหย่อนตัวดูดซับที่มีสภาพความไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อย (ไม่ชอบน้ำ: hydrophobic) หย่อนลงน้ำที่ปนเปื้อน ไขมันจะซึมเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเส้นใยหรือผิวของเส้นใย (มันลิน และมันรักซ์, 2547) ด้วยเป็นขั้นตอนการกำจัดที่ง่าย จึงทำให้การดูดซับเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมาก ตัวดูดซับน้ำมันที่ใช้ในปัจจุบันมักมาจากขั้นตอนสังเคราะห์ของโพลีโพรไพลีน (Polypropylene: PP) เนื่องจากเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสม่ำเสมอ และทนทาน แต่ข้อเสียคือ ราคาสูง ขั้นตอนการผลิตซับซ้อน และไม่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติ ยากต่อการกำจัดหลังการใช้งาน จึงทำให้เส้นใยจากธรรมชาติเป็นทางเลือกที่ถูกนำมาทดแทนตัวดูดซับน้ำมันสังเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งต้องผ่านปรับสภาพเส้นใยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับให้ดียิ่งขึ้น เช่น Zheng, Yian *et al.* (2016) ทำปรับสภาพเส้นใยดอกรัก ด้วยสาร 1H, 1H, 2H, 2H - perfluorooctyltriethoxysilane (PFOTES) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน

เส้นใยของผลปาล์ม และนุ่นจัดเป็นเส้นใยพืชตามธรรมชาติ ที่ มีองค์ประกอบหลักคือ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส มากถึงร้อยละ 70 ของน้ำหนักแห้ง (สำนักงานวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556) เมื่อนำมาใช้ดูดซับน้ำมัน จำเป็นต้องลดความมีขั้วในเส้นใยให้น้อยลงหรือเพิ่มความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ด้วยการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ภายในโครงสร้างขะเส้นใย ทั้งในส่วนของลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลนั้นมีคุณสมบัติให้ความมีขั้ว และสามารถเกิดปฏิกิริยากับโปรตอน ( $H^+$ ) หรือธาตุประจุบวกในน้ำได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับสภาพเส้นใย มีด้วยกันสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นการเพิ่มความเป็นรูพรุนของตัวเส้นใยด้วยวิธีการทางเคมีด้วยกรดหรือด่าง และขั้นตอนที่สองเพิ่มความไม่มีขั้วให้แก่เส้นใย ซึ่งขั้นตอนการเพิ่มรูพรุนด้วยกรดหรือด่าง เป็นหนึ่งในขั้นตอนที่ลดปริมาณลิกนินและเฮมิเซลลูโลสให้น้อยลง เนื่องจากโครงสร้างทั้งสองไม่คงทนต่อกรดหรือด่าง ทำให้เส้นใยมีความพรุนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันการเพิ่มความไม่มีขั้วให้กับเส้นใยเป็นอีกหนึ่งในปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน สามารถทำได้โดยปรับสภาพด้วยสารไม่มีขั้ว เพื่อให้เส้นใยสามารถดูดซับน้ำมันซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ไม่มีขั้วหรือมีขั้วต่ำได้มากขึ้น

ดังนั้นจึงทำการศึกษาการดูดซับน้ำมันของเส้นใยของผลปาล์ม และนุ่นปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี (ด่าง) และเพิ่มความไม่มีขั้วให้กับเส้นใย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเส้นใยปรับสภาพกลับมาใช้ซ้ำในขั้นตอนการดูดซับ ลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการกำจัดน้ำมัน รวมทั้งวิเคราะห์คุณสมบัติความไม่มีขี้ของเส้นใยปรับสภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติความไม่มีขี้ของเส้นใยหลังปรับสภาพทางเคมี
- 2) เพื่อศึกษาความสามารถดูดซับน้ำมันของเส้นใย การนำเส้นใยกลับมาใช้ซ้ำ และการประยุกต์ใช้เส้นใยดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์
- 3) เพื่อนำเส้นใยที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) เส้นใยของผลปาล์มจาก บริษัท ธนาปาล์มโปรดักส์ จำกัด และเส้นใยนุ่น
- 2) ปรับสภาพเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และไตรเมทิลคลอโรไซเลน TMCS ( $C_3H_9ClSi$ )
- 3) ศึกษาลักษณะโครงสร้างในเส้นใย ด้วยเครื่องฟลูริเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer: FT-IR)
- 4) ศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)
- 5) ศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใย ด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมตริกซ์ (Thermogravimetric analyzer: TGA) และวิเคราะห์มุมสัมผัสน้ำของเส้นใยด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle analyzer: CTA)
- 6) ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยด้วยการดูดซับน้ำมันของเส้นใย
- 7) ศึกษาการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย
- 8) การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของเส้นใยในน้ำเสียสังเคราะห์

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถประยุกต์ใช้เส้นใยปรับสภาพในการดูดซับน้ำมันในน้ำได้
- 2) ทราบถึงความสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใยปรับสภาพ
- 3) สามารถประยุกต์ใช้กับเส้นใยธรรมชาติอื่นเป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) เป็นอินทรีย์วัตถุที่สำคัญ ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เส้นใยของผลปาล์ม ฝ้าย ฝู่น เส้นใยมะพร้าว ปอ ป่าน เป็นต้น หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อย ๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ จึงนิยมใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นสารเติมแต่งในพลาสติก โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติม และสารเสริมแรง เพื่อเป็นการลดต้นทุน ช่วยเพิ่มปริมาณการผลิต ช่วยปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น และเสริมแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติมีองค์ประกอบคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารประกอบอื่น ๆ เช่น ส่วนที่ละลายน้ำได้ และไข เป็นต้น (นิภาวรรณ, 2554 อ้างถึง ปิยวรรณ, 2543)

##### 2.1.1 ปาล์มน้ำมัน และเส้นใยของผลปาล์ม

###### 2.1.1.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elais guineensis jcap.* เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในวงศ์ปาล์ม มีลักษณะดังรูป 2.1 โดยเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย ทั้งในด้านเกษตรกรรม เศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมรวมทั้งยังสร้างความมั่นคงทางด้านอาหาร และพลังงานของประเทศ โดยปาล์มน้ำมันสามารถออกทะลายน้ได้ตลอดปี แต่ละต้นจะให้ทะลายน้อยหนึ่งทะลายต่อต้นต่อเดือน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตทะลายน้ได้นานกว่า 20 ปี (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2559)

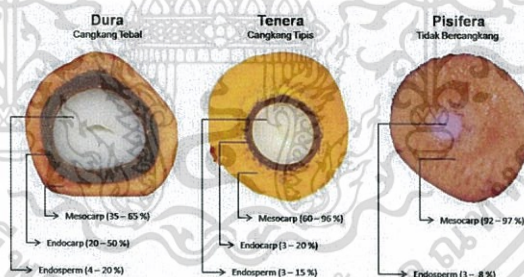


รูปที่ 2.1 ลักษณะต้นปาล์ม (ทวีศักดิ์, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันปาล์มน้ำมันที่ได้รับความนิยมเพาะปลูกคือ สายพันธุ์เทเนอร์รา (Tenera) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อพื้นที่ปลูกสูงที่สุด โดยได้รับการพัฒนาจากการผสมระหว่างปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ดูรา (Dura) และสายพันธุ์พิลีเฟอรา (Pisifera) ลักษณะของปาล์มน้ำมันจะประกอบด้วย ราก ลำต้น ใบ ดอก ช่อดอก ผล และเมล็ด

1. ราก (roots) : เป็นระบบรากฝอยทำหน้าที่ค้ำจุน ดูดซับน้ำ และธาตุอาหาร
2. ต้นปาล์ม (trunk) : เป็นลำต้นเดี่ยว ตั้งตรง รูปร่างทรงกระบอก ในระยะ 2-3 ปีแรกของการเพาะปลูกลำต้นจะเจริญเติบโตทางด้านกว้าง หลังจากนั้นจึงจะเจริญด้านความสูง ความสูงของต้นปาล์มจะขึ้นกับสายพันธุ์และสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปมีความสูงเฉลี่ย 15-18 เมตร
3. ใบ (leaf stalk) : ประกอบด้วย แกนกลางใบ (rachis) ก้านใบ (petiole) และใบย่อย (leaflet) ปาล์มน้ำมันที่มีอายุ 5-6 ปีจะมีจำนวนทางใบ 30-40 ทางใบต่อปี และจะมีจำนวนลดลงเมื่ออายุปาล์มน้ำมันมากขึ้น
4. ช่อดอก (inflorescence) และดอก (spears) : ปาล์มน้ำมันมี 2 เพศในพวกเดียวกัน (monoecious plant) คือ มีช่อดอกตัวผู้ (male inflorescences) และช่อดอกตัวเมีย (female inflorescence) อยู่ในต้นเดียวกัน
5. ผลและเมล็ด (fruit) : ผลของปาล์มจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของผลและเมล็ดปาล์ม (Sitibadriah11, 2015)

- เปลือกของผล (pericarp) ประกอบด้วยเปลือกชั้นนอก (exocarp) อยู่ด้านนอกสุดของผล ลักษณะผิวเป็นมันและแข็ง และเปลือกชั้นกลาง หรือกาบ (mesocarp) เป็นส่วนที่ประกอบด้วยเส้นใยและน้ำมัน เมื่อผลสุกจะมีลักษณะสีน้ำตาลแดง สามารถนำไปสกัดเป็นน้ำมันเนื่องจากเป็นส่วนที่มีน้ำมันสูง โดยเส้นใย (เส้นใยของผลปาล์ม) จะได้เมื่อนำไปสกัดน้ำมันแล้ว สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเส้นใยของผลปาล์ม (ธนาปาล์ม, 2559)

- กะลา (endocarp) เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างเส้นใยของผลปาล์มติดกับเปลือกนอกสุด กับเมล็ดเนื้อในปาล์มที่อยู่ด้านใน มีลักษณะเป็นเปลือกแข็งสีดำหรือน้ำตาล สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม

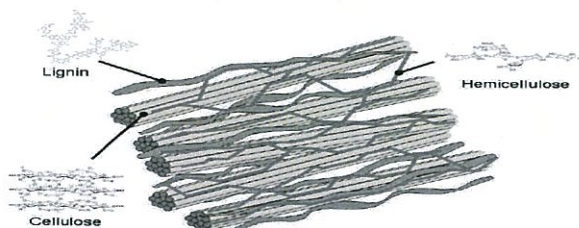
- เนื้อในเมล็ด (kernel หรือ endosperm) เป็นส่วนของเมล็ดซึ่งมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลหุ้มเอนโดสเปิร์มที่มีความแข็งและแน่น เนื้อในเมล็ดมีลักษณะสีเทาหรือขาว สามารถนำไปผลิตน้ำมันในเมล็ดปาล์ม โดยการกะเทาะกะลาแยกเมล็ดในออก (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2559)

ผลปาล์มจะสุก เมื่อผสมเกสรประมาณ 5-6 เดือน โดยจะมีสีน้ำตาลดำเมื่อมีผลอ่อน และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อผลสุก เนื่องจากมีแคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นรงควัตถุอยู่ในส่วนของเปลือกของผล ซึ่งผลและเมล็ดเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เพราะจะเป็นส่วนที่ให้ไขมัน โดยเปลือกชั้นกลางเป็นส่วนที่มีไขมันสูงที่สุด สามารถนำไปสกัดเป็นน้ำมันปาล์ม (palm oil)

ผลปาล์มที่นำมาหีบเพื่อสกัดน้ำมันมาใช้ประโยชน์ มี 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจากเนื้อปาล์ม และส่วนที่สองจากเนื้อในเมล็ด น้ำมันที่หีบแยกได้จาก 2 ส่วน คือ เนื้อปาล์ม (เปลือกผล) และเนื้อในเมล็ด ทั้งสองส่วนนั้นมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน (กนกพร, 2557)

#### 2.1.1.2 เส้นใยของผลปาล์ม

แหล่งเส้นใยที่สำคัญของปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ลำต้น ทางใบปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์ม และผลปาล์ม ซึ่งเส้นใยที่ได้จากส่วนต่างๆเหล่านี้จะมีสมบัติทางกลที่แตกต่างกัน เส้นใยของผลปาล์ม (oil palm mesocarp fiber) จะมีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 80 เมกะปาสคาล ค่าระยะยืดเมื่อขาดร้อยละ 17 และค่าความเหนียวเท่ากับ 500 เมกะปาสคาล



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างเส้นใยของพืช (กันตพัฒน์, 2558 อ้างถึง Niklas และคณะ, 2013)

### 2.1.2 นุ่น และเส้นใยนุ่น

นุ่นเป็นพืชเส้นใยชนิดหนึ่ง ที่ได้จากผลหรือฝักที่มีน้ำหนักเบา อ่อนนุ่ม ไม่อุ้มน้ำ มีความชื้นต่ำ ทนต่อแมลงและเชื้อราได้ดี ใช้ในอุตสาหกรรมทำเบาะ ที่นอน วัสดุกันกระเทือน เป็นฉนวนกันความร้อน คุณสมบัติของเส้นใยนุ่นที่ไม่ดูดซับน้ำแต่สามารถดูดซับน้ำมัน จึงนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของขบวนการระเบิด ใช้บุผนังเรือบรรทุกน้ำมัน ถังน้ำมันเครื่องบิน เสื้อชูชีพ น้ำมันในเมล็ด ใช้ผสมน้ำมันพืชเพื่อบริโภค ใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่น ใช้ทำสบู่ กากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันใช้เป็นอาหารสัตว์ ใสนุ่น แกนุ่น และลำต้นใช้เพาะเห็ดได้ดี (นิภาวรรณ, 2554 อ้างถึง จินดา, 2553)

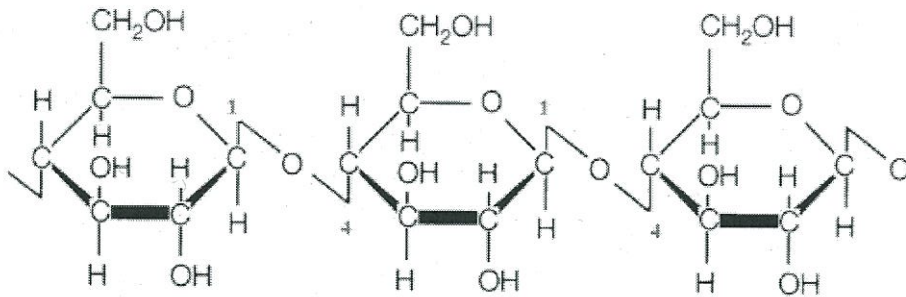
นุ่น มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ceiba pentandra* (L.) Gaerth. อยู่ในตระกูล Bombaceae ขึ้นได้ดีในเขตร้อน มีการปลูกทั่วไปในหมู่เกาะฟิลิปปินส์ ซิลอน อินโดนีเซีย ประเทศในแหลมอินโดจีน



รูปที่ 2.5 ลักษณะต้นนุ่น (Petch Janto, 2016)

ส่วนในประเทศไทยมีการปลูกนุ่นเกือบทุกพื้นที่ ลำต้นของนุ่นมีลักษณะสูงใหญ่ ลำต้นกลม ผิวเรียบ แตกกิ่งรอบลำต้นมักจะขนานกับพื้นดิน ใบมีลักษณะเป็นแฉกรูปหอกหยักลึก 6-10 เซนติเมตร ใบนุ่นจะร่วงเมื่อนุ่นเริ่มออกดอก ส่วนดอกออกเป็นกระจุก มีสีขาวหรือขาวปนเหลืองเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ดอกบานเต็มที่ขนาดกว้างประมาณ 5 เซนติเมตร และยาวประมาณ 5 เซนติเมตร มีกลีบดอก 5 กลีบ ดอกนุ่นจะบานในตอนเย็นและบานถึงตอนเช้า มีกลิ่นหอม ผลหรือฝักมีความยาว

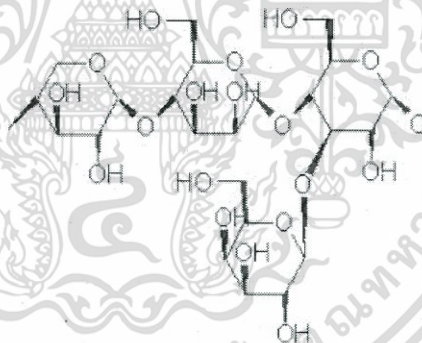
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเซลลูโลส (กันตพัฒน์, 2558 อ้างถึง ชันนันท และเฉลิม, 2555)

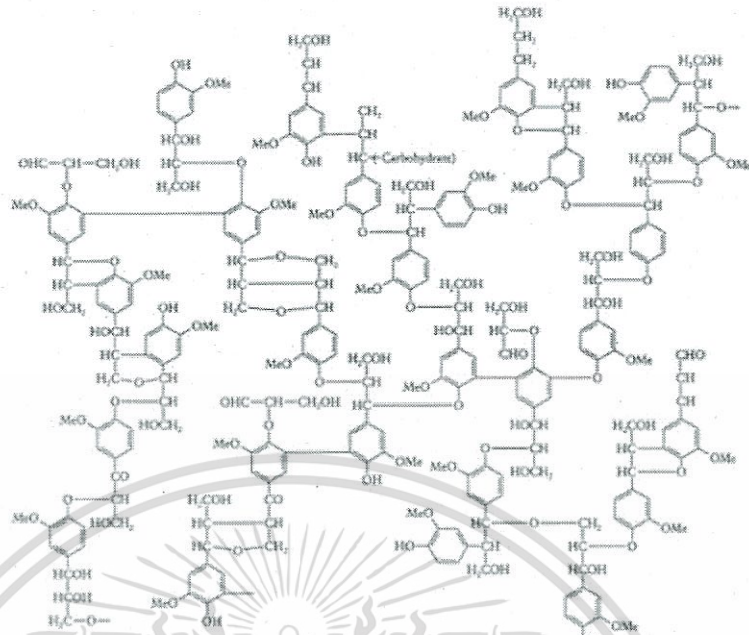
เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงและความสามารถในการละลายต่ำ โดยมีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันตามจำนวนหน่วยของกลูโคส ซึ่งมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นใย เซลลูโลสในพืชจะพบอยู่ร่วมกับลิกนิน เพนโตแซน และสารแทรก

2.1.3.2 เฮมิเซลลูโลส : เป็นสารพอลิแซคคาไรด์ลักษณะคล้ายเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด ทำหน้าที่เป็นสารยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกัน และให้ความแข็งแรงกับเส้นใย



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (กันตพัฒน์, 2558 อ้างถึง Niklas และคณะ, 2013)

2.1.3.3 ลิกนิน : เป็นสารประกอบเชิงซ้อนอะโรมาติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง อยู่ร่วมกับเซลลูโลส ทำหน้าที่เป็นสารยึดหรือกาวเชื่อมประสานระหว่างเส้นใยและให้ความแข็งแรงกับเนื้อเยื่อของไม้ที่อยู่ร่วมกับเซลลูโลส



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของลิกนิน (กันตพัฒน์, 2558 อ้างถึง ชัชนันท์ และเฉลิม, 2555)

2.1.3.4 สารแทรก (Extractives) : ส่วนประกอบในไม้ยืนต้นหรือไม้ล้มลุกสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) ประกอบด้วยเรซิน (resin acid) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) น้ำมันระเหย (volatile oil) และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) (สำนักวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556)

## 2.2 ปรับสภาพเส้นใย

ปรับสภาพมีวิธีการหลัก 3 วิธีคือ ทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ หรืออาจใช้วิธีการร่วมกัน (กนกพร สังขรักษ์, 2557)

### 2.2.1 วิธีทางกายภาพ

ปรับสภาพเส้นใยด้วยวิธีทางกายภาพสามารถแบ่งย่อยเป็น 2 ประเภท คือ

2.2.1.1 ใช้เครื่องมือกล : เป็นการอาศัยแรงเฉือนและแรงกระทบ (Impact force) วิธีที่นิยมมากที่สุด คือ การบด (Milling)

2.2.1.2 ไม่ใช่เครื่องมือกล เช่น การฉายรังสีแกมมา การฉายด้วยรังสีไมโครเวฟ การใช้ไอน้ำ ความดันสูง

### 2.2.2 วิธีการทางเคมี

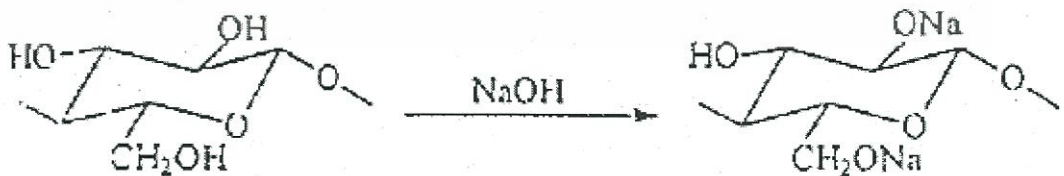
ปรับสภาพเส้นใยด้วยวิธีการทางเคมี คือการใช้สารเคมีเพื่อลดการเป็นผลึกและเป็นการกำจัดลิกนิน (Delignification) และเพิ่มคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำให้กับเส้นใย สามารถทำได้หลายวิธี เช่น เมอร์เซอร์ไรเซชัน (Mercerization) ซิลิเลชัน (Silylation) อะซิทิเลชัน (Acetylation) และปรับสภาพด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide treatment) เป็นต้น สามารถอธิบายได้ดังนี้ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 เมอร์เซอร์ไรเซชัน เป็นปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติโดยใช้ต่างได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH<sub>4</sub>OH) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์จะนิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นต่างแก่สามารถกำจัดลิกนินได้ดีและมีราคาถูก ภายในโครงสร้างของเส้นใยประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (OH) ที่ตำแหน่งคาร์บอน 2, 3 และ 6 แลกเปลี่ยนไอออนกับตัวถูกดูดซับ การเกิดปฏิกิริยานั้นอาจไม่เกิดขึ้นในทุกตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล เนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นภายในโมเลกุลของหมู่ฟังก์ชัน และระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน ทำให้กลายเป็นสายโซ่โมเลกุลเรียงซ้อนกันและจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจนกลายเป็นโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) การปรับปรุงคุณภาพด้วยต่างนั้นจะทำให้เซลลูโลสรวมตัวและลดความเป็นผลึกลง ส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ปรับสภาพด้วยวิธีนี้ช่วยเพิ่มคุณลักษณะในการยึดติดพื้นผิวของเส้นใยโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะช่วยกำจัดสิ่งสกปรกที่เกาะติดผิวเส้นใย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดง ดังสมการที่ 2.1 (อรรวรรณ, 2549)



การเข้าทำปฏิกิริยาของสารเคมีกับเซลลูโลสจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นผลึก และส่วนที่ไม่เป็นผลึก (Amorphous) สามารถแบ่งลักษณะการทำปฏิกิริยาได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. Surface reaction เป็นการเข้าทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวส่วนใดส่วนหนึ่ง
2. Macroheterogeneous reaction เป็นการเข้าทำปฏิกิริยาที่พื้นผิว และผ่านเข้าไปในเส้นใยจากชั้นหนึ่งสู่อีกชั้นหนึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเซลลูโลสเกิดการละลาย เป็นลักษณะปรับสภาพด้วยกรดเซลลูโลสจะไม่เกิดการรวมตัว
3. Microheterogeneous reaction เป็นการเข้าทำปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการรวมตัวในขณะที่เซลลูโลสอยู่ในตัวกลาง
4. Permuted reaction เป็นการเกิดปฏิกิริยาภายในเส้นใย และบริเวณที่เป็นผลึกจะไม่เกิดการละลาย ปรับสภาพด้วยต่างเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และลิเทียมไฮดรอกไซด์ โดย Alkaline (ต่าง) จะเข้าทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสเกิดเป็น Alkali cellulose ทำให้เซลลูโลสรวมตัว (กันตพัฒน์, 2558) ดังรูป



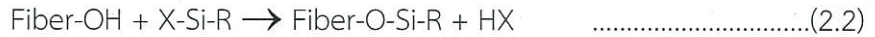
รูปที่ 2.9 ปรับสภาพเซลลูโลสด้วยต่าง (กันตพัฒน์, 2558)

2.2.2.2 ซิลิเลชัน เป็นปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติโดยการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ซิลิ-

ลิล สารที่ใช้ในการเข้าทำปฏิกิริยาได้แก่ ไตรเมทิลคลอโรซิลเลน (Trimethylchlorosilane) ไตรอิ-

เอทอกซีไวไนลซิลเลน (Triethoxyvinylsilane) ปฏิกิริยาเป็นดังสมการที่ 2.2

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยที่ X แทนแฮโลเจน และ R แทนหมู่แอลคิล ไซเลนที่เข้าทำปฏิกิริยาจะเกาะตัวบนพื้นผิวของเส้นใยคล้ายการเคลือบผิวเส้นใยด้วยไซเลน ลดพื้นที่ในการดูดซับความชื้น และการกระจายตัวหรือการเปียกของหยดน้ำบนเส้นใยลดลง สามารถทำการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยในการดูดซับความชื้นด้วยการวัดมุมสัมผัส นอกจากนี้ปรับสภาพเส้นใยด้วยกระบวนการซิลิเลชันยังทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงทนต่อการดึง และมีความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้น

2.2.2.3 อะซิทธิเลชัน เป็นปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติโดยใช้กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) และปรับสภาพอีกครั้งด้วยอะซิติกแอนไฮไดรด์ โดยมีกรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ) ปฏิกิริยาเป็นดังสมการที่ 2.3



ปรับสภาพทำให้เกิดการแทนที่ตรงหมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใย ทำให้เส้นใยมีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น

2.2.2.4 ปรับสภาพด้วยเปอร์ออกไซด์ จะทำการกระตุ้นเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือที่เรียกว่าเมอร์เซอร์ไรเซชัน จากนั้นปรับสภาพด้วยสารละลายเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) ในอะซิโตน (อรรวรรณ, 2549) ) ปฏิกิริยาเป็นดังสมการที่ 2.4



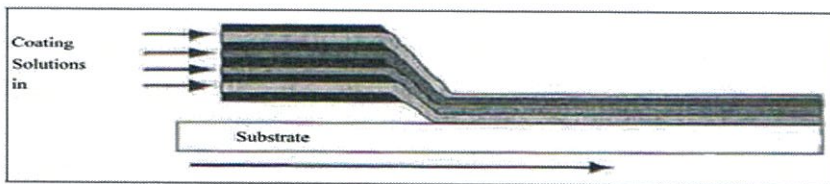
### 2.2.3 วิธีการทางชีวภาพ

วิธีการทางชีวภาพ คือการอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้ (กนกพร สังข์รักษ์, 2557)

เมื่อมีการเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านปรับสภาพ ไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ เช่น เตรียมเป็นวัสดุผสม (Composite material) ในพอลิเมอร์ เป็นวัสดุดูดซับ เป็นต้น การนำเส้นใยธรรมชาติไปใช้เป็นวัสดุผสมนั้นต้องทำให้เส้นใยดูดซับความชื้นและน้ำได้น้อยลง เนื่องจากน้ำจะไปรบกวนผิวสัมผัสของเส้นใย ทำให้ความแข็งแรงลดลง ส่งผลต่อความไม่เสถียรของขนาด รูปร่าง (Dimensional instability) ของเส้นใย การนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ สำหรับใช้ในการกำจัดน้ำมันในน้ำ เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งมีการใช้ทั่วไป แทนการใช้วัสดุดูดซับสังเคราะห์ที่มีราคาแพง และย่อยสลายได้ยาก (อรรวรรณ, 2549)

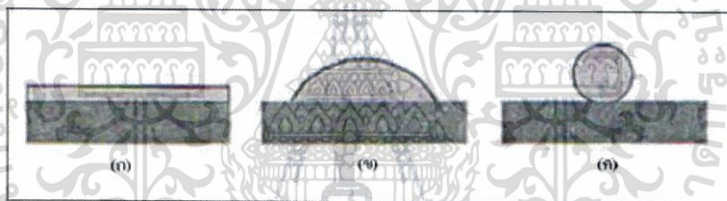
## 2.3 การกระจายตัวหรือการเปียก (wetting)

การเปียกของพื้นผิวของเส้นใยด้วยน้ำ (ของเหลว) หรือขอบเขตของการกระจายตัวของของเหลวบนของแข็ง มีความสำคัญกับลักษณะของพื้นผิวเส้นใย



รูปที่ 2.10 ลักษณะสารเคลือบบนแผ่นรองรับ (อิติารัตน์, 2555 อ้างถึง Drew Mayer, 1946)

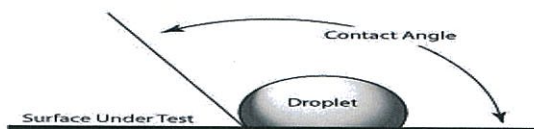
ศึกษาการเปียกและการกระจายตัวของหยดน้ำ โดยการหยดน้ำหรือของเหลว ลงบนพื้นผิวของของแข็ง จากนั้นของเหลวจะแพร่กระจายออกบนพื้นผิว จนมีลักษณะเป็นฟิล์ม ดังรูปที่ 2.9 ทำให้สามารถวัดการเปียกบนพื้นผิวของของเหลวหรือสมบัติการเปียกของของเหลวบนพื้นผิว จากการวัดมุมสัมผัส (contact angle,  $\theta$ ) ของของเหลวบนพื้นผิวนั้น ซึ่งลักษณะของหยดของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งจะนำมาเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของการเปียกของพื้นผิว (wettability of the surface) หรือความสามารถของการเปียกของของเหลวที่อยู่บนพื้นผิวโดยการวัดมุมสัมผัส ด้วยการทำให้หยดน้ำให้ที่บ (อิติารัตน์, 2555) ดังรูป



รูปที่ 2.11 ของเหลวที่อยู่บนผิวฟิล์มหรือแผ่นรองรับ (อิติารัตน์, 2555)

### 2.3.1 มุมสัมผัส (Contact angle)

มุมสัมผัส (Contact angle,  $\theta$ ) คือมุมระหว่างเส้นสัมผัสของหยดของเหลว (น้ำ) ที่ไม่เคลื่อนที่บนพื้นผิวโดยจุดเริ่มต้นอยู่ ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดสัมผัสทั้งอากาศ ของเหลวและของแข็ง แสดงดังรูป 2.11 เป็นมุมสัมผัสระหว่างระนาบของปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-ก๊าซกับระนาบของปฏิสัมพันธ์ของเหลว-ของแข็ง



รูปที่ 2.12 มุมสัมผัส (Contact angle,  $\theta$ ) (John, 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 การวัดมุมสัมผัส (Contact angle, $\theta$ )

การวัดมุมสัมผัส (Contact angle,  $\theta$ ) คือการวัดความสามารถของของเหลว (น้ำ) ที่แพร่กระจายไปบนพื้นผิว สามารถอธิบายถึงแนวโน้มที่หยดของเหลวกระจายตัวในพื้นผิวเรียบของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว การวัดมุมสัมผัสเป็นการวัดมุมระหว่างเส้นสัมผัสเค้าร่างของหยดน้ำบนพื้นผิวของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานพื้นผิวทำให้สามารถคำนวณหาค่าพลังงานพื้นผิวได้ โดยแยกเป็นอัตรากิริยาระหว่างส่วนที่เป็นขั้วและส่วนที่ไม่เป็นขั้ว เมื่อหยดน้ำอยู่บนระนาบพื้นผิวของของแข็ง มุมระหว่างเส้นสัมผัสเค้าร่างของหยดน้ำที่ตำแหน่งจุดสัมผัสและพื้นผิวของของแข็ง เรียกว่า มุมสัมผัส ( $\theta$ )

การวัดมุมสัมผัสสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของของเหลวบนพื้นผิวของของแข็ง โดยของเหลวที่ใช้ในการวัดค่ามุมสัมผัส สามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติของผิวคือ

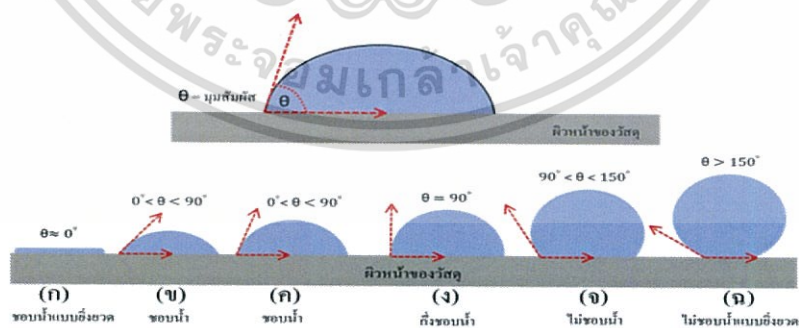
1. ของเหลวกระจายบนพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้าง ทำมุมสัมผัสน้อยกว่าเท่ากับ 90 องศา ( $\theta < 90$ ) ของแข็งนั้นมีคุณสมบัติเป็น Hydrophilic (ชอบน้ำ) คือการกระจายตัวหรือการเปียก (wetting) ของหยดน้ำบนพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก แบ่งแยกเป็น 3 กรณี คือ

- มุมสัมผัสมีค่าเป็นศูนย์ ( $\theta = 0$ ) : ของเหลวกระจายอยู่บนผิวของของแข็งอย่างสม่ำเสมอหรือเปียกของเหลวนั้นเปียกสมบูรณ์

- มุมสัมผัสมีค่าอยู่ระหว่าง 0-30 องศา ( $0 < \theta < 30$ ) : บนผิวของของแข็งนั้นมีการเปียก

- มุมสัมผัสมีค่าอยู่ระหว่าง 30-90 องศา ( $30 < \theta < 90$ ) : บนผิวของของแข็งเปียกเป็นบางส่วน (partially wetting)

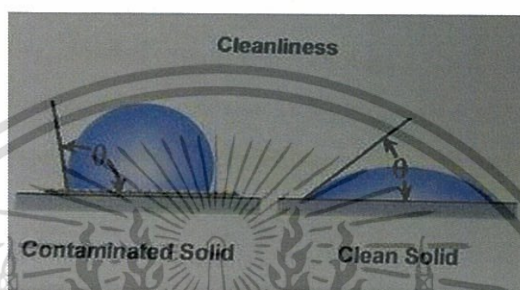
2. ของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อย เป็นทรงหยดน้ำค่าง ทำมุมสัมผัสมากกว่า 90 องศา ( $\theta > 90$ ) ของแข็งนั้นมีคุณสมบัติเป็น Hydrophobic (ไม่ชอบน้ำ) คือความสามารถในการกระจายตัวหรือการเปียก (wetting) ของพื้นผิวอยู่ในระดับที่ต่ำหรือไม่เปียก (non wetting) คุณสมบัติของการยึดเกาะต่ำและพื้นผิวของของแข็งนั้นมีค่าพลังงานพื้นผิวต่ำ



รูปที่ 2.13 คุณสมบัติของหยดน้ำกับมุมสัมผัสที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว (ปิยะพงษ์, 2559)

### 2.3.3 ประเภทการวัดมุมสัมผัส

2.3.3.1 การวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำไม่เคลื่อนที่ (static contact angle) การวัดมุมสัมผัสด้วยวิธี static contact angle เป็นประเภทของการวัดที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนใหญ่นำมาใช้สำหรับการอ่านค่าในส่วนของหยดน้ำหรือของเหลวที่ไม่มีการเคลื่อนที่ด้วยระยะเวลาเพียงเวลาสั้นๆ คือ เมื่อหยดหยดน้ำลงไปบนพื้นผิวของแข็ง ตัวอย่างก็จะถ่ายรูปออกมาแล้วทำการวัดหาค่ามุมสัมผัส



รูปที่ 2.14 วิธีการวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวที่มีการปนเปื้อนและการทำความสะอาด (อณิษฐ์สร และ อธิฐาน, 2554)

วิธีการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ วิธีนี้ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการวัดค่าความสะอาดของพื้นผิวของแข็งตัวอย่าง ซึ่งสิ่งปนเปื้อนสารอินทรีย์พวกนี้จะเป็นตัวขัดขวาง คุณสมบัติของการเปียก จากรูปจะเห็นว่าสำหรับพื้นผิวที่มีค่ามุมสัมผัสมากหรือเป็น Hydrophobic (ไม่ชอบน้ำ) เมื่อพื้นผิวของแข็งถูกทำความสะอาดและได้รับปรับสภาพเพื่อเอาสิ่งปนเปื้อนออก ค่ามุมสัมผัสก็จะลดลงจากเดิมกลายเป็น Hydrophilic (ชอบน้ำ) ขณะเดียวกันคุณสมบัติการเปียกจะมากขึ้นและส่งผลให้ค่าพลังงานพื้นผิวเพิ่มขึ้นด้วย

#### 2.3.3.2 การวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวของแข็งที่มีลักษณะเอียง (Tilting Plate Method)



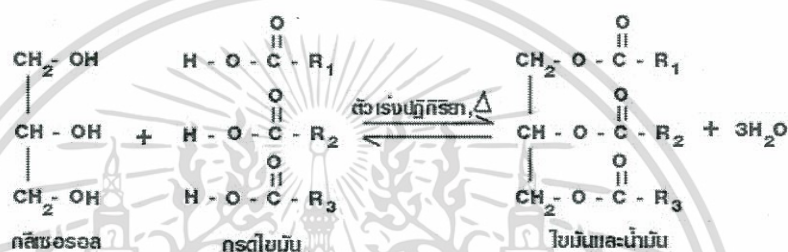
รูปที่ 2.15 วิธีการวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวของแข็งที่มีลักษณะเอียง (อณิษฐ์สร และอธิฐาน, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปการวัดมุมสัมผัสด้วยวิธีการวัดมุมบนพื้นผิวของแข็งที่มีลักษณะเอียง เป็นการวัดมุมสัมผัสโดยการถ่ายภาพ Sessile Drop ทั้งสองข้าง (ทั้งซ้ายและขวา) ในขณะที่พื้นผิวของของแข็งถูกทำให้เอียงจาก 0 องศา จนถึง 90 องศา มุมสัมผัสด้านบนที่เป็นเนินลาดลงมาจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมุมสัมผัสที่เนินด้านบนลดลงมาตามลำดับ (อณิชนิสร และอริฐาน, 2554)

## 2.4 น้ำมัน

น้ำมันจัดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติของกรดคาร์บอกซิลิกโซยาวและกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งเรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) มีลักษณะเป็นของเหลวเหนียว ณ อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2.16 โมเลกุลน้ำมันและไขมัน (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559)

น้ำมันปาล์มได้จากการนำผลปาล์มเข้าเครื่องบีบอัด เพื่อทำการสกัดน้ำมันแล้วจึงนำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ไปผ่านกรรมวิธีการผลิตน้ำมันปาล์มเพื่อให้ได้น้ำมันพืช (น้ำมันปาล์ม) ที่มีความบริสุทธิ์ ผลปาล์มหนึ่งผลให้สัดส่วนเป็นน้ำมันปาล์ม 9 ส่วน และเป็นน้ำมันในเมล็ดปาล์ม 1 ส่วน

น้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มสดมีด้วยกัน 2 ชนิด คือชนิดที่สกัดได้จากชั้นของเนื้อผล เรียกว่า น้ำมันปาล์ม (palm oil) และที่สกัดได้จากเนื้อในเมล็ด เรียกว่า น้ำมันเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) และส่วนที่เหลือใช้และของเสียที่ได้จากการผลิตน้ำมันปาล์มหลัก ได้แก่ ทะสายเปล่า กะลาปาล์ม เส้นใย กากตะกอน และน้ำเสีย (ช่อทิพย์ และคณะ, 2552)

น้ำมันเมล็ดปาล์มไม่นิยมนำมาบริโภคเนื่องจากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่สูงถึงร้อยละ 85 (พอใจ, 2555) แต่จะบริโภคน้ำมันปาล์มที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะเดี่ยวโอเลอิก (Monounsaturated oleic acid) ร้อยละ 40 ขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วยกรดปาล์มเมติก (Palmitic acid) ร้อยละ 44 และกรดสเตียริก (Stearic acid) ร้อยละ 5

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบส่วนน้อยน้ำมันปาล์มดิบ

องค์ประกอบน้ำมันปาล์มดิบ	ปริมาณ (ppm)
Carotenoids	500-700
Tocopherol and tocotrienols	600-1,000
Sterols	326-527
Phospholipids	5-130 <sup>a</sup>
Triterpene alcohol	40-80 <sup>a</sup>
Methyl sterols	40-80
Squalene	200-500
Aliphatic alcohols	100-200
Aliphatic hydrocarbon	50

หมายเหตุ : <sup>a</sup> โดยประมาณ

ที่มา : ซ่อทิพย์ และคณะ (2552)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ชื่อของกรดไขมัน	ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณที่พบ (ร้อยละ)	
		อยู่ในช่วง	ค่าเฉลี่ย
<b>กรดไขมันอิ่มตัว</b>			
Lauric acid	C12:0	0.1-1.0	0.2
Myristic acid	C14:0	0.9-1.5	1.1
Palmitic acid	C16:0	41.8-46.8	44.0
Stearic acid	C18:0	4.2-5.1	4.5
Arachidic acid	C20:0	0.2-0.7	0.4
<b>กรดไขมันไม่อิ่มตัว</b>			
Oleic acid	C18:1	37.3-40.8	39.2
Linoleic acid	C18:2	9.1-11.0	10.1
Linolenic acid	C18:3	0.0-0.6	0.4
Palmitoleic acid	C16:1	0.1-0.3	0.1

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2559)

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นว่าน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ คือ กรดไขมันชนิดอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอย่างละประมาณร้อยละ 50 เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ (Monounsaturated) ประมาณร้อยละ 40 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ (Diunsaturated) ประมาณร้อยละ 10 (ซ่อทิพย์ และคณะ, 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 มลพิษทางน้ำของน้ำมัน

น้ำมัน (Oil) เป็นสารอินทรีย์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในทางอุตสาหกรรม และครัวเรือน จากการรายงานของกรมควบคุมมลพิษ (2551) พบว่าการปนเปื้อนหรือรั่วไหลน้ำมันในน้ำทิ้งจากร้านอาหารมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำ ส่งผลให้เกิดปัญหาปัญหาต่าง ๆ มากมาย เช่น ออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง สิ่งมีชีวิตที่อาศัยในแหล่งน้ำไม่สามารถดำรงชีวิตได้ ท่อน้ำทิ้งเกิดการอุดตันจากการสะสมตัวของไขมัน รวมทั้งการรั่วไหลของน้ำมันในทะเล ก็เป็นส่วนหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดมลพิษทางน้ำ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือจากการกระทำของมนุษย์ โดยลักษณะของน้ำมันในน้ำเสียมีดังนี้

1. น้ำมันละลายน้ำ : น้ำมันสามารถละลายน้ำได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำมัน
2. น้ำมันในรูปอิมัลชัน : เป็นน้ำมันที่อยู่ในรูปอนุภาคขนาดเล็กคล้ายคอลลอยด์
3. น้ำมันลอยบนผิวน้ำหรือเป็นฟิล์ม (นิรนาม, 2559)

### 2.5.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนของน้ำมันในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ เนื่องจากภายในแหล่งน้ำ (น้ำจืดหรือน้ำทะเล) มีทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งมีชีวิตเกี่ยวข้องอย่างมาก ซึ่งมีผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมดังนี้

#### 2.5.1.1 ผลกระทบด้านกายภาพ

- แสงส่องผ่านลงสู่ท้องน้ำไม่ได้ : น้ำมันที่ลอยอยู่เหนือผิวน้ำจะบดบังหรือกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงในน้ำ ส่งผลกระทบต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชใต้น้ำ
- ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง : เนื่องจากน้ำมันจะลอยบนผิวน้ำคล้ายกับแผ่นหรือกำบังระหว่างน้ำกับอากาศ ทำให้แก๊สออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถละลายลงสู่ น้ำ ทำให้เกิดการเน่าเสียในแหล่งน้ำได้
- ความร้อนของน้ำสูงขึ้น : น้ำมันสามารถเป็นตัวดูดซับความร้อน เมื่อแสงอาทิตย์ส่งมายังแหล่งน้ำ น้ำมันจะดูดซับความร้อน ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น

2.5.1.2 ผลกระทบด้านชีวภาพ น้ำมันจะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งเมื่อละลายลงสู่แหล่งน้ำก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำจำพวกพืชและสัตว์น้ำ ในรูปของการอุดตันระบบทางเดินหายใจ การสะสมสารก่อมะเร็งในเนื้อเยื่อ ทำให้ประสาทสัมผัสผิดปกติ ส่งผลต่อระบบการหาอาหาร การหลบภัย และการผสมพันธุ์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ละลายน้ำปริมาณมากจะทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลง และกระทบต่อแหล่งเพาะฟักตัวอ่อน

### 2.5.2 ผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจสังคม

- ผลกระทบต่อแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ : มลพิษของน้ำมันมีผลทำให้คุณภาพแหล่งน้ำลดลง จนสัตว์จำพวกกุ้งและปลาไม่สามารถดำรงชีวิตและให้ผลผลิตต่อไปได้ หรืออาจจะทำให้ผลผลิตที่ได้น้อยลง

- ผลกระทบเกี่ยวกับความเดือดร้อนรำคาญ : คราบสกปรกของน้ำมันที่ลอยไปติดกับวัตถุต่าง ๆ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลกระทบด้านสุนทรียภาพและความงามของแหล่งท่องเที่ยว : ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการท่องเที่ยวหรือการพักผ่อน ส่งผลทางอ้อมต่อระบบเศรษฐกิจและรายได้ของประชาชนในระดับท้องถิ่นนั้น รวมถึงระดับประเทศ

## 2.6 การกำจัดน้ำมัน

### 2.6.1 การแยกโดยใช้เครื่องแยก (Decantation)

การแยกน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำโดยใช้เครื่องแยก อาศัยหลักการจากกฎของแรงโน้มถ่วง Stoke's law คือ ขนาดของหยดน้ำมันแปรผันโดยตรงกับความเร็วของหยดน้ำมันที่ลอยขึ้น ทำการกำจัดโดยการปล่อยน้ำและน้ำมันให้แยกชั้นในถังตกตะกอน (Settling tank) ปัจจุบันได้ออกแบบถึงตกตะกอนซึ่งมีการใช้แผ่นแยกเข้ามาร่วมด้วย เพื่อช่วยเพิ่มขนาดหยดน้ำมัน โดยอาศัยหลักการจากกฎของแรงโน้มถ่วง

### 2.6.2 การแยกโดยการทำให้รวมตัว (Coalescence)

การแยกน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำโดยการทำให้น้ำมันรวมตัว อาศัยหลักการส่งผ่านหยดน้ำมันให้ผ่านช่องรวบรวมน้ำมันที่มีขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มโอกาสการรวมตัวกันทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำมันใหญ่ขึ้นทำให้ความเร็วในการลอยตัวเพิ่มขึ้น เป็นการใช้แยกอิมัลชันซึ่งไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสมอยู่

### 2.6.3 การแยกโดยใช้การลอยตัว (Flotation)

การแยกน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำโดยการทำให้ไขมันลอยตัว อาศัยกระบวนการเปลี่ยนแปลงคอลลอยด์หรืออิมัลชัน ให้รวมตัวกันเป็นก้อนและพองให้ลอยขึ้นสู่น้ำ โดยแรงยกของฟองอากาศที่ติดกับอนุภาคนั้น

### 2.6.4 การแยกโดยใช้วิธีการปั่นออกจากศูนย์กลาง (Centrifugation)

เป็นวิธีการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างน้ำมันกับน้ำ ด้วยวิธีการปั่นออกจากศูนย์กลาง เครื่องแยกน้ำมันชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ เครื่องแยกระบบไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) และ เครื่องแยกระบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal) ซึ่งทั้งสองระบบใช้หลักการปั่นออกจากศูนย์กลางเช่นเดียวกัน

### 2.6.5 การแยกโดยใช้ความร้อน (Thermal processes)

การแยกน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำโดยใช้ความร้อน คือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำมันในรูปอิมัลชัน ความร้อนจะกระตุ้นการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian movement) ของหยดน้ำมันขนาดเล็กทำให้มีโอกาสชนกันและรวมตัวกันมากขึ้น ดังนั้นหยดน้ำมันจึงมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถแยกออกจากน้ำได้

### 2.6.6 อัลตราฟิวเตรชัน (Ultra filtration)

การแยกน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำโดยการกรอง อาศัยการกรองอิมัลชันผ่านเยื่อกรองโดยใช้ความดัน โดยที่หยดน้ำมันจะติดอยู่กับเยื่อกรองซึ่งมีขนาดเล็กกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดปริมาณน้ำมันหรือลดปริมาณน้ำมันให้เหลือน้อยที่สุด การดูดซับจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อน เพราะเป็นวิธีที่สะดวกและสามารถทำได้ทันทีที่ทราบว่ามี การปนเปื้อนของน้ำมัน สำหรับประเทศไทย เป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมากมาย เช่น เส้นใยของผลปาล์มที่ได้หลังจากการบีบน้ำมันออกแล้ว ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมันที่มีราคาถูก เมื่อเทียบวัสดุดูดซับที่ได้จากการสังเคราะห์ที่ใช้กันในปัจจุบัน (อรรวรรณ, 2549)

## 2.7 การดูดซับ

การดูดซับเป็นกระบวนการเกี่ยวกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นที่ผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) เกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างสองสถานะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว แก๊สกับของเหลว แก๊สกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) (สันทัด, 2557)

### 2.7.1 ประเภทของการดูดซับ

2.7.1.1 การดูดซับทางกายภาพ เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน ๆ คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London Dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) ซึ่งมีพลังงานการคายความร้อนต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล สามารถเกิดการผันกลับทำให้ตัวดูดซับฟื้นฟูสภาพได้รวดเร็ว สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.7.1.2 การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน คือ ทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง และมีพลังงานกระตุ้น 50-400 กิโลจูลต่อโมล ส่งผลให้การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยากเพราะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) คือจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) (สำเนียง และคณะ, 2553)

### 2.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

#### 2.7.2.1 ธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ

- พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลได้มากกว่าพื้นที่ผิวน้อย พื้นที่ผิวตัวดูดซับเกิดจากโครงสร้างรูพรุนของตัวดูดซับ

- ขนาดของวัสดุ ในกรณีที่โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเล็กลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

- เคมีที่ผิวหน้า หมู่ฟังก์ชันเฉพาะที่อยู่บนผิวของโมเลกุลตัวดูดซับจะมีคุณสมบัติที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.2.2 ธรรมชาติของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ

- ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการละลายที่สูงบ่งบอกถึงปฏิกิริยาของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ทำให้การแพร่ขยายการดูดซับลดลง เพราะก่อนที่เกิดกระบวนการดูดซับขึ้นจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

- น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ เมื่อ น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

- ความมีขี้ข่วนของโมเลกุล ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อความมีขี้ข่วนเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มความมีขี้ข่วนจะให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

- ผลของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

- ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นกับการแพร่ภายนอกและการแพร่ภายในรูพรุนของสารดูดซับ ระบบที่มีความปั่นป่วนต่ำ การดูดซับขึ้นอยู่กับการแพร่ภายนอก ในทางตรงกันข้ามระบบที่มีความปั่นป่วนสูง การดูดซับขึ้นอยู่กับการแพร่ภายใน (สันทัด, 2557)

### 2.7.3 ประเภทของสารดูดซับ

#### 2.7.3.1 ตัวดูดซับเชิงพาณิชย์ เป็นตัวดูดซับที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น

- ซิลิกาเจล เป็นสารสังเคราะห์จากโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) พื้นที่ผิวมีความเป็นขี้ข่วน สามารถดูดซับมลสารรวมถึงความชื้นได้ดี

- แอคติเวทเต็ดอะลูมินา ผลิตจากการเผาอะลูมิเนียม พื้นที่ผิวของแอคติเวทเต็ดอะลูมินาจะค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับเชิงพาณิชย์ชนิดอื่น

- ถ่านกัมมันต์ ผลิตจากวัสดุต่าง ๆ เช่น ไม้ถ่านกะลามะพร้าว พื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์ไม่มีขี้ข่วน สามารถดูดซับกลิ่นสารละลายอินทรีย์หรือแก๊สพิษต่าง ๆ ได้ดี

#### 2.7.3.2 ตัวดูดซับธรรมชาติ เป็นตัวดูดซับที่ได้จากวัสดุทางธรรมชาติ เช่น

- ดินเหนียว ที่นิยมใช้เป็นตัวดูดซับมี 3 ชนิดด้วยกัน คือ สมคไทต์ (เช่น มอนท์มอลิโรไนท์) คาโอลิไนท์ และไมก้า สามารถดูดซับโลหะหนัก แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับต่ำ

- โคโตซานเอนไปโอพอลิเมอร์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง มีองค์ประกอบสำคัญในรูปของ D-glucosamine พบได้ในธรรมชาติ โดยเป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกนอกของสัตว์พวก กุ้ง ปู แมลง และเชื้อรา

2.7.3.3 ตัวดูดซับจากวัสดุทางการเกษตร เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากหาได้ง่ายและใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ ซึ่งส่วนมากจะถูกนำมาปรับปรุงคุณภาพก่อนนำมาใช้ (กันตพัฒน์, 2558)

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โกวิทย์ (2554) ศึกษาการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้ชานอ้อยตัดแปรรูปเป็นตัวดูดซับ ทำการศึกษาผลชนิดของกรด ความเข้มข้นของกรดฟอสฟริก ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้น ความเป็นกรด-เบส และอุณหภูมิของน้ำมันหล่อเย็น โดยการทดลองแบบแบตช์ พบว่า ชานอ้อยตัดแปรรูปด้วยกรดฟอสฟริกความเข้มข้น 2.0 โมลาร์ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นมากที่สุด ปริมาณ 519.7 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ไอโซเทอมและจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำมันหล่อเย็นสอดคล้องกับสมการ ฟรุนดิชและปฏิกิริยาอันดับสอง อัตราเร็วการดูดซับน้ำมันตัดชิ้นงานเริ่มต้นและครึ่งเวลาของการดูดซับน้ำมันตัดชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 12.5 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อนาที และ 46.9 นาที ตามลำดับ กลไกการดูดซับน้ำมันตัดชิ้นงานโดยใช้ชานอ้อยตัดแปรรูปเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน โดยการแพร่ที่ผิวภายนอกเป็นขั้นตอนการกำจัดอัตราเร็วของการดูดซับ ภายหลังจากการดูดซับน้ำมันตัดชิ้นงาน พบหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันตัดชิ้นงานปรากฏอยู่บนชานอ้อยตัดแปรรูป และค่าความร้อนภายหลังจากการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นเพิ่มสูงขึ้น 767.6 จูลต่อกรัม

สรพงษ์ (2555) ศึกษาการเตรียมผ้าฝ้ายที่มีความเป็นไฮโดรโฟบิกด้วยวิธีการต่างๆ วิธีแรกผ้าฝ้ายจะถูกเคลือบด้วยพอลิเมอร์ชนิดบวกและถูกตัดแปรรูปต่อสารลดแรงตึงผิวชนิดบวกและชนิดลบ วิธีที่สองผ้าฝ้ายจะถูกเคลือบด้วยพอลิเมอร์ชนิดบวก ใช้เป็นสารช่วยยัดและถูกตัดแปรรูปด้วยอนุภาคนาโนของซิลิกา ผ้าที่ถูกตัดแปรรูปด้วยอนุภาคนาโนของซิลิกาจะถูกตัดแปรรูปต่อตัวไอของเพอร์ฟลูออโรออกทิลไตรเอทอกซีไซเลน (POTS) วิธีที่สามผ้าฝ้ายจะถูกตัดแปรรูปด้วยวิธีไอเคมีตกสะสมโดยใช้ไอซิลิกอนเตตระคลอไรด์ เพื่อให้ซิลิกอนบนผิวของผ้าฝ้ายผ่านการเกิดพันธะเคมี หลังจากนั้นผ้าฝ้ายจะถูกตัดแปรรูปด้วยไอของฟิไอทีเอส และไดเมทิลไดคลอโรไซเลน (DMCS) วิธีที่สี่ผ้าฝ้ายและผ้าฝ้ายที่ถูกตัดแปรรูปด้วยซิลิกอนเตตระคลอไรด์จะถูกตัดแปรรูปด้วยกรดสเตียริกโดยวิธีการจุ่มโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้ายที่ถูกตัดแปรรูปจะถูกตรวจสอบโดยใช้เทคนิค SEM-EDS ความเป็น Hydrophobic ของผ้าฝ้ายและผ้าฝ้ายที่ผ่านการตัดแปรรูป ถูกตรวจสอบโดยการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ นอกจากนั้นสมบัติเชิงกลของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตัดแปรรูป ถูกทดสอบโดยใช้เครื่องยูนิเวอร์แซล-แมคคานิคอลเทสติง ผลการทดลองของวิธีแรกแสดงว่ามุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายกับผ้าฝ้ายที่ตัดแปรรูปด้วยสารลดแรงตึงผิวไม่แตกต่างกัน วิธีที่สองมุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคนาโนของซิลิกาและ POTS กับผ้าที่ตัดแปรรูปด้วย POTS มีมุมเป็น  $151^{\circ}$  และ  $132^{\circ}$  ตามลำดับ ผลของการตัดแปรรูปด้วยวิธีที่สามพบว่า มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายที่ถูกตัดแปรรูปด้วยซิลิกอนเตตระคลอไรด์-POTS เป็น  $158^{\circ}$  และ  $138^{\circ}$  ตามลำดับ นอกจากนั้นแล้วยังพบว่า การตัดแปรรูปด้วยกรดสเตียริกสามารถได้ผ้าฝ้ายที่มีความเป็นไฮโดรโฟบิก ความแข็งแรงของเส้นใยฝ้ายลดลงเมื่อถูกตัดแปรรูปด้วยสารลดแรงตึงผิว POTS DMCS และกรดสเตียริก

อรวรรณ (2549) ศึกษาปรับสภาพเส้นใยจากทะเลสาบปาล์มเปล่าด้วยวิธีซิลิเลชันโดยใช้ไซเลน 2 ชนิด คือ ไตรเมทิลคลอโรไซเลน และไดเอทิลไดคลอโรไซเลน ที่อุณหภูมิห้องในช่วงความเข้มข้น 1, 3, 5 และ 9 ร้อยละโดยน้ำหนัก และเวลาทำปฏิกิริยา 3, 5 และ 9 ชั่วโมง เพื่อใช้ศึกษาการดูดซับอิมัลชันของน้ำมันในน้ำ ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของเส้นใยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด และฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน ทำให้พื้นผิวของเส้นใยถูกเปิดและทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น และจากการวิเคราะห์ด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าปฏิกิริยาซิลิเลชัน สามารถถึงสมดุลได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ด้วยเวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ปรับสภาพทำให้เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่านั้นมีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ดูดซับน้ำลดลงร้อยละ 60 และดูดซับน้ำมันได้มากกว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าสดในการดูดซับน้ำมัน

Al Zubaidi, A.H. Isam *et al.* (2016) ศึกษาบำบัดน้ำเน่าเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันโดยการใช้น้ำ WTCF (ของเสียเส้นใยที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในยางรถยนต์) เป็นตัวดูดซับของเสียในน้ำ ซึ่งอัตราการดูดซับ ความจุการดูดซับ ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บไว้ การดูดซับน้ำ แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับ และพฤติกรรมจลน์ ได้ถูกประมาณค่าพบว่า ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 15.45 กรัม/กรัม/กรัม/กรัม สำหรับความคงที่ของปริมาณตัวดูดซับนั้น การดูดซับน้ำมันจะถูกเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มปริมาณน้ำมันจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุล ซึ่งตัวดูดซับได้พิสูจน์มาแล้วว่ามีค่า Retention time สูง คือสามารถดูดซับกักเก็บน้ำมันได้ถึงร้อยละ 66.3 หลังจากกระบายน้ำ 5 นาที คุณสมบัตินี้ทำให้วัสดุมีความเป็นเนื้อเดียวกันจึงส่งผลค่า Retention time สูงไปด้วย ในการทดสอบการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ซ้ำ พบว่ามีค่าความจุในการดูดซับถึงร้อยละ 75.7 Langmuir, Freundlich, Timken, Hurkins-Jura, Halsay, Radlich-Peterson และ Dubinin-Radushkevich เป็นแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับที่ถูกประยุกต์ใช้เข้ากับกระบวนการบำบัดด้วยการดูดซับ โดยใช้ WTCF ในการติดตามอัตราจลน์อันดับสองและใช้แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของ Radlich-Peterson

Wang, Jintao *et al.* (2013) ศึกษาการดูดซับบนเส้นใยุ่นปรับสภาพ โดยการนำเส้นใยุ่นปรับสภาพด้วยกระบวนการ facile solution-immersion เพื่อเพิ่มความขรุขระบนพื้นผิวเส้นใย ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มมากขึ้น และเปรียบเทียบการดูดซับน้ำมันระหว่างเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ ปรับสภาพด้วยสารพอลิเมอร์ (polymer) นั้น นอกจากเป็นการความสามารถในการดูดซับน้ำมัน แล้วยังส่งผลให้ค่าพลังงานพื้นผิวลดลง จากการศึกษาพบว่า ความสามารถในการดูดซับของเส้นใยุ่นหลังปรับสภาพของน้ำมันเบนซิน (gasoline), น้ำมันดีเซล (diesel), น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) และน้ำมันพาราฟิน (paraffin oil) เป็นร้อยละ 74.5, 66.8, 64.4, 47.8 ลำดับ หลังจากการดูดซับครั้งแรกสามารถนำเส้นใยกลับมาใช้ซ้ำ (คายซับ) โดยนำเส้นใยมาการกรองแบบลดความดัน เส้นใยสามารถนำกลับไปใช้ซ้ำได้อีกหลายรอบ สังเกตอย่างเห็นได้ชัดจากค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน จากการศึกษาอุณหพลศาสตร์พบว่ากระบวนการดูดซับเป็นแบบการเกิดปฏิกิริยาได้เอง (spontaneous) และเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic) ซึ่งเป็นการดูดซับทางกายภาพเชิงซ้อนและการดูดซับทางเคมี

Zheng, Yian *et al.* (2016) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของเส้นใยดอกกรัก โดยทำปรับสภาพเส้นใยดอกกรักด้วยสาร 1H, 1H, 2H, 2H perfluorooctyltriethoxysilane (PFPTES) โดยผิวหน้าที่ขรุขระของเส้นใยดอกกรักที่ปรับสภาพ มีค่ามุมสัมผัสน้ำเท่ากับ  $130^{\circ}$  และขนาดของรูพรุนกว้าง จากการศึกษาพบว่าเส้นใยดอกกรักที่ปรับสภาพมีความสามารถที่จะดูดซับน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเครื่องและน้ำมันก๊าดได้ถึงร้อยละ 52.2, 22.0 และ 112.2 ตามลำดับ โดยเส้นใยดอกกรักปรับสภาพนั้นสามารถที่จะดูดซับน้ำมันได้ในปริมาณมากและนำกลับมาใช้ในกระบวนการดูดซับใหม่ได้อีกครั้ง

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการทดลองปรับสภาพเส้นใย ศึกษาลักษณะโครงสร้าง คุณลักษณะ การดูดซับน้ำ มุมสัมผัสน้ำ การดูดซับน้ำมัน การนำเส้นใยกลับมาใช้ซ้ำ และการประยุกต์การดูดซับน้ำมัน มีการใช้ สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

#### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 สารเคมี

###### 3.1.2.1 ตัวทำละลาย

1. โทลูอิน ( $C_7H_8$ ) เกรด AR บริษัท Carlo ErbaReagents, Italy

###### 3.1.2.2 สารปรับสภาพเส้นใย

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรด AR บริษัท CARLO ERBA
2. ไตรเมทิลคลอโรไซเลน TMCS ( $C_3H_9ClSi$ ) เกรด AR บริษัท Acros

###### 3.1.2.3 สารอื่นๆ

1. กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) เกรด AR บริษัท CARLO ERBA
2. โซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรอส (anhydrous  $Na_2SO_4$ ) เกรด AR บริษัท CARLO ERBA
2. น้ำกลั่น
3. น้ำมันปาล์ม
4. เส้นใยของผลปาล์ม บริษัท ธนาปาล์ม โปรดักส์ จำกัด
5. เส้นใยนุ่น
6. เฮกเซน ( $C_6H_{14}$ ) เกรด COM. บริษัท Malilnckrodt CHEMICALS

ERBA

##### 3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron microscope : SEM) รุ่น LEO 1455 VP บริษัท LEC
2. กระจกวัตถุพืเอช รุ่น cat. 109535 บริษัท E-merck
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น New Classic MF บริษัท Metler Toledo
4. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกซ์ (Thermogravimetric analyzer : TGA) รุ่น Pyris 1 TGA บริษัท PerkinElme
5. เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle : CTA) รุ่น OCA 20 บริษัท DATAPHYSICS
6. เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared : FT-IR) รุ่น Spectrum Gx บริษัท PerkinElme
7. เครื่องบีบน้ำมัน
8. ตู้อบ รุ่น UN55 บริษัท Memmert 1

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 98 เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. นาฬิกาจับเวลา รุ่น CT-20 บริษัท Canon
11. กระชอนเหล็ก
12. กรวยแยก
13. ชามระเหย
14. ผ้าขาวบาง
15. เดซิเคเตอร์

### 3.2 การเตรียมเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ

1. นำเส้นใยของผลปาล์มจากบริษัท ธนาปาล์ม โปรดักส์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี มาล้างด้วยน้ำยาล้างจานเพื่อกำจัดน้ำมันภายในเส้นใย จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. เมื่ออบเส้นใยของผลปาล์มครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น

### 3.3 การเตรียมสารละลายปรับสภาพเส้นใย

#### 3.3.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 51.0204 กรัม
2. นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร ได้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

#### 3.3.2 สารละลายไตรเมทิลคลอโรไซเลน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

1. บีบไตรเมทิลคลอโรไซเลนมา 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร
2. ปรับปริมาตรด้วยโทลูอินจนถึงขีดปรับปริมาตร ได้ไตรเมทิลคลอโรไซเลน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

### 3.4 ปรับสภาพเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายไตรเมทิลคลอโรไซเลน (C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>ClSi)

#### 3.4.1 ปรับสภาพเส้นใยของผลปาล์มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. นำเส้นใยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำยาล้างจาน มาแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
2. เมื่อแช่เส้นใยครบ 48 ชั่วโมงแล้ว นำเส้นใยมาล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. เมื่ออบเส้นใยครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยนุ่ม

### 3.4.2 ปรับสภาพเส้นใยของผลปาล์มด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน

1. นำเส้นใยที่ผ่านการแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์และอบจนแห้ง มาแช่ในไตรเมทิลคลอโรไซเลนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. เมื่อแช่เส้นใยครบ 3 ชั่วโมงแล้ว จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. เมื่ออบเส้นใยครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยนุ่ม

### 3.5 ศึกษาลักษณะโครงสร้างเส้นใย ด้วยเครื่องฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer: FT-IR)

1. นำเส้นใยของผลปาล์มที่ไม่ผ่านปรับสภาพทางเคมี (สด) มาจำนวน 2 กรัม มาตัดเป็นท่อนขนาดสั้น ๆ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ห้องค้ประกอบภายในเส้นใยด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (FT-IR)
2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยของผลปาล์มปรับสภาพ
3. เปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันบนเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยนุ่ม

### 3.6 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

1. นำเส้นใยของผลปาล์มที่ไม่ผ่านปรับสภาพทางเคมี (สด) มาจำนวน 2 กรัม มาตัดเป็นท่อนขนาดสั้น ๆ จากนั้นนำไปส่องพื้นที่ผิวของเส้นใยปรับสภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด(SEM)
2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยของผลปาล์มปรับสภาพ
3. เปรียบเทียบพื้นที่ผิวของของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยนุ่ม

### 3.7 ศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใยด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมตริกซ์ (Thermogravimetric analyzer: TGA) และวิเคราะห์มุมสัมผัสน้ำของเส้นใยด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle analyzer: CTA)

#### 3.7.1 ศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใย

1. ชั่งเส้นใยที่ไม่ผ่านปรับสภาพทางเคมี (สด) มาจำนวน 1.0000 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร
2. แช่เส้นใยปรับสภาพในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปิดบีกเกอร์ด้วยแผ่นฟอยด์เพื่อให้เส้นใยอยู่ในสภาวะอิ่มตัวของน้ำ
3. เมื่อแช่เส้นใยครบ 24 ชั่วโมง นำมาผึ่งไว้บนผ้าขาวบาง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกซ์ (TGA) ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส
4. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยของผลปาล์มปรับสภาพ

5. คำนวณการดูดซับน้ำ และเปรียบเทียบการดูดซับน้ำของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 4) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยนุ่น

### 3.7.2 ศึกษามุมสัมผัสน้ำ

1. นำเส้นใยของผลพลาล์มที่ไม่ผ่านปรับสภาพทางเคมี (สด) มาวิเคราะห์มุมสัมผัสน้ำ ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle: CTA)
2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยของผลพลาล์มปรับสภาพ
3. เปรียบเทียบมุมสัมผัสน้ำของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยนุ่น

## 3.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย

1. นำน้ำมันปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ประมาณ 88.03 กรัม) ใส่ปิ๊กเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งเส้นใยของผลพลาล์มที่ไม่ผ่านปรับสภาพทางเคมี (สด) มาจำนวน 2 กรัม นำมาแช่น้ำมันเป็นเวลา 15 นาที
2. เมื่อแช่เส้นใยครบ 15 นาที นำมาผึ่งบนกระดาษชอนเหล็ก เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักเส้นใยของผลพลาล์มที่ไม่ผ่านปรับสภาพทางเคมี (สด)
3. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) – 3) ซ้ำ อีก 2 ครั้ง
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 4) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยหลังปรับสภาพ
5. คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย และเปรียบเทียบความสามารถที่เส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพดูดซับ
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 5) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยนุ่น

## 3.9 การนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย

### 3.9.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย

1. นำน้ำมันปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ประมาณ 88.03 กรัม) ใส่ปิ๊กเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งเส้นใยของผลพลาล์มที่ไม่ผ่านปรับสภาพทางเคมี (สด) มาจำนวน 2 กรัม นำมาแช่ในน้ำมันเป็นเวลา 15 นาที
2. เมื่อแช่เส้นใยครบ 15 นาที นำมาผึ่งบนกระดาษชอนเหล็ก เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักเส้นใยปรับสภาพ
3. เมื่อผึ่งเส้นใยครบ 10 นาที นำเส้นใยมาบีบน้ำมันออกจาก ด้วยเครื่องบีบเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นชั่งน้ำหนักเส้นใยหลังบีบน้ำมันออก
4. คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน
5. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) – 4) ซ้ำ จนความสามารถในการดูดซับคงที่
6. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1) – 5) ซ้ำ อีก 2 ครั้ง
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 7) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยหลังปรับสภาพ
8. เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... 9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 8) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยนุ่น  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.10 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของเส้นใยในน้ำเสียสังเคราะห์

#### 3.10.1 วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในน้ำเสียจริง

1. เก็บน้ำเสียที่ปล่อยออกจากท่อน้ำทิ้งรวมจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ ใส่ขวดแก้ว
2. ตวงน้ำเสียปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับพีเอชของน้ำให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ด้วยกรดซัลฟูริก (ในอัตราส่วน 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมันตามวิธีของกรมควบคุมมลพิษ (แสดงในภาคผนวก 1.7 ก)
5. นำขามระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นชั่งน้ำหนักขามระเหย
6. นำน้ำเสียที่ได้มาทำการสกัดกรวยแยกด้วยเฮกเซน โดยเติมเฮกเซนปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่ากรวยแยกแรงเป็นเวลา 2 นาที
7. เมื่อเขย่ากรวยแยกครบสองนาที รอให้เกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นไซ้ชั้นน้ำ (ชั้นล่าง) ใส่บีกเกอร์
8. ไซ้ชั้นน้ำมัน (ชั้นบน) ใส่ขามระเหย โดยผ่านกระดาษกรอง ที่ด้านบนโรยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส
9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6) – 8) ซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยนำชั้นน้ำในบีกเกอร์มาสกัดซ้ำ
10. นำขามระเหย ไปอังไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
11. ชั่งน้ำหนักขามระเหยที่มีน้ำมัน จากนั้นคำนวณปริมาณน้ำมันที่มีในน้ำเสีย
12. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2) – 11) ซ้ำอีก 2 ครั้ง

#### 3.10.2 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของเส้นใยในน้ำเสียสังเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันตามปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในน้ำเสียจริง (ในน้ำเสีย 100 มิลลิตรต่อ น้ำมันที่มีอยู่จริง มิลลิกรัม)
2. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปรับพีเอชของน้ำให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ด้วยกรดซัลฟูริก (ในอัตราส่วน 5 มิลลิลิตร ต่อน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร)
3. ชั่งเส้นใยของผลปาล์มที่ไม่ผ่านปรับสภาพทางเคมี (สด) มาจำนวน 2 กรัม นำมาแช่ในน้ำมันเป็นเวลา 15 นาที
4. เมื่อแช่เส้นใยครบ 15 นาที นำเส้นใยมากรองลดความดัน ได้น้ำเสียหลังจากที่เส้นใยดูดซับน้ำมันที่ปนเปื้อน
5. นำขามระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นชั่งน้ำหนักขามระเหย
6. นำน้ำเสียที่ได้มาทำการสกัดกรวยแยกด้วยเฮกเซน โดยเติมเฮกเซนปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่ากรวยแยกแรงเป็นเวลา 2 นาที
7. เมื่อเขย่ากรวยแยกครบสองนาที รอให้เกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นไซ้ชั้นน้ำ (ชั้นล่าง) ใส่บีกเกอร์
8. ไซ้ชั้นน้ำมัน (ชั้นบน) ใส่ขามระเหย โดยผ่านกระดาษกรอง ที่ด้านบนโรยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกัดซ้ำ

9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6) – 8) ซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยนำชั้นน้ำในบีกเกอร์มา

10. นำขามระเหย ไปอังไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

11. ชั่งน้ำหนักขามระเหยที่มีน้ำมัน จากนั้นคำนวณปริมาณน้ำมันที่ไม่ถูกดูดซับใน

เส้นใย

12. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 11) ซ้ำอีก 2 ครั้ง

13. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 11) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยของผลปาล์มหลัง

ปรับสภาพ

14. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) – 13) แต่เปลี่ยนเป็นเส้นใยนุ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน เพื่อการบำบัดน้ำมัน ซึ่งในการศึกษานี้เส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองคือ เส้นใยของผลปาล์มและเส้นใยุ่น โดยในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดลอง ได้แก่ ศึกษาปรับสภาพเส้นใย ลักษณะโครงสร้างเส้นใย คุณสมบัติของเส้นใย การดูดซับน้ำ มุมสัมผัสน้ำ การดูดซับน้ำมัน การนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย และการประยุกต์การดูดซับน้ำมัน ตามลำดับ ดังนี้

#### 4.1 การปรับสภาพเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไตรเมทิลคลอโรไซเลน

การดูดซับน้ำมันหรือสารไม่มีขั้ว จำเป็นต้องเตรียมพื้นที่ผิวของเส้นใยให้มีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ให้เพิ่มมากขึ้นด้วยปรับสภาพทางเคมีประกอบกันสองขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมพื้นที่ผิวของเส้นใยก่อนเพิ่มคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic และลดคุณสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilic) ให้ลดน้อยลง เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำมันบนเส้นใย โดยปรับสภาพด้วยด่างหรือวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน เนื่องจากองค์ประกอบภายในเส้นใยส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (R-OH) อีเทอร์ (R-O-R') เอสเธอร์ (R-COO-R') และคาร์บอกซิล (R-COOH) ที่มีความเป็นขั้วสูง ทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilic) สามารถดูดซับสารที่มีขั้วได้ดีกว่าสารไม่มีขั้ว การปรับสภาพด้วยด่างนั้นจะไปกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใยให้หลุดออกไป ดังนั้นในการทดลองจึงทำปรับสภาพด้วยด่าง โดยแช่เส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมก่อนทำปรับสภาพเส้นใยในขั้นตอนถัดไป (อรวรรณ , 2549 อ้างถึง Bei Wang, 2004) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ผิวเป็นดังสมการที่ 4.1

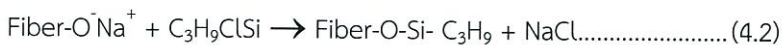
เมอร์เซอร์ไรเซชัน :



จากสมการที่ 4.1 จะพบว่า Na ได้เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะไฮโดรเจน ทำให้ไฮโดรเจนหลุดออกแล้วรวมตัวกับ OH ของโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นน้ำ (H<sub>2</sub>O) โดย Na<sup>+</sup> เข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนบนเส้นใย เกิดพันธะขึ้นใหม่เป็นพันธะที่ยึดเกาะกันแบบหลวม ๆ หลุดออกได้ง่าย ปรับสภาพขั้นต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัวและลดความเป็นผลึก และยิ่งช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการยึดติดพื้นที่ผิวของเส้นใย โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะไปกำจัดสิ่งสกปรกที่เกาะบนพื้นผิวเส้นใย ซึ่งเป็นการเตรียมให้เส้นใยพร้อมที่จะทำปรับสภาพในขั้นที่สองคือการเพิ่มคุณสมบัติความไม่มีขั้วให้กับเส้นใยหรือเพิ่มคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic ให้กับเส้นใยด้วยปรับสภาพพื้นที่ผิวเส้นใยด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน (C<sub>3</sub>H<sub>9</sub>ClSi) ด้วยวิธีซิลิเลชัน ดังนั้นในการทดลองจึงทำปรับสภาพด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน โดยแช่เส้นใยด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มคุณสมบัติความไม่มีขั้วบนพื้นที่ผิวของเส้นใยหรือเพิ่มคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic ด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลนโดยวิธีซิลิเลชัน (อรวรรณ, 2549 อ้างถึง Bei Wang, 2004) เป็นดังสมการที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิเลชัน :

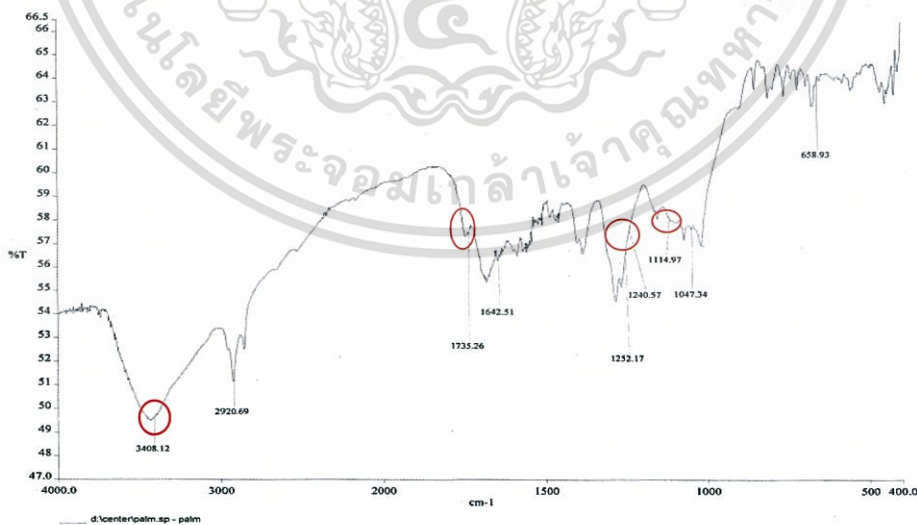


หมู่ซิลิล (R-Si) จากสารละลายไฮเลนจะเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่  $\text{Na}^+$  ได้โครงสร้างใหม่  $\text{Na}^+$  ที่หลุดออกจะไปรวมกับ Cl เกิดเป็น NaCl หลังจากทำปรับสภาพแล้วจะเห็นได้ว่าหมู่ไฮดรอกซิลหายไป เป็นการเพิ่มความไม่ชอบน้ำให้แก่เส้นใยและทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น

โดยลักษณะทางกายภาพของเส้นใยทั้งก่อน และหลังปรับสภาพ (แสดงในภาคผนวก ข) พบว่าเส้นใยก่อนปรับสภาพเป็นสีน้ำตาลอ่อน ยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร มีความยืดหยุ่นและเหนียว เมื่อผ่านการปรับสภาพเส้นใยมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ความยืดหยุ่นและเหนียวลดน้อยลง แตกหักง่าย เนื่องจากการกำจัดน้ำมัน และทำลายโครงสร้างภายในเส้นใย และเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพเป็นสีเหลืองอ่อน มีความฟู เมื่อผ่านการปรับสภาพเส้นใยมีสีเหลืองเข้มขึ้น มีลักษณะเป็นแผ่น ไม่มีความฟู เนื่องจากการกำจัดน้ำมัน ทำลายโครงสร้างภายในเส้นใย เช่นเดียวกับเส้นใยของผลปาล์ม

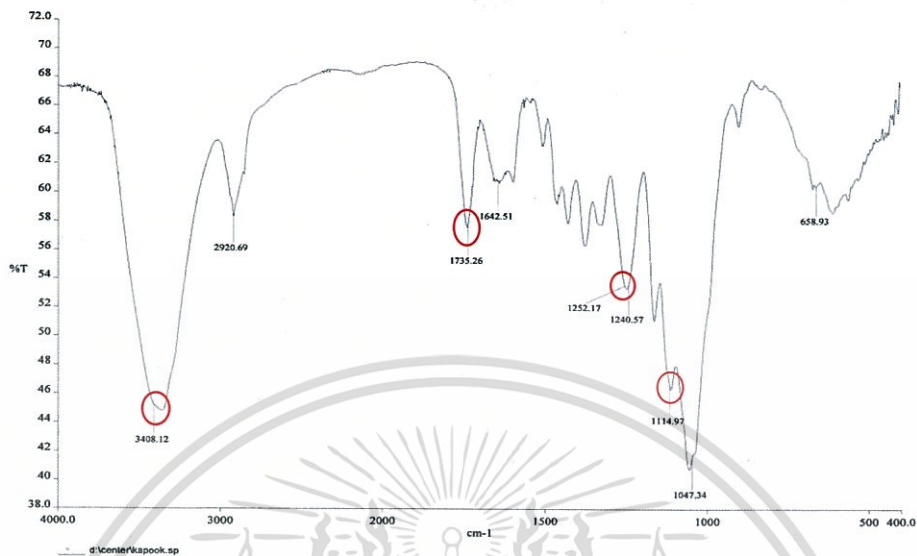
#### 4.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างในเส้นใย ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer: FT-IR)

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันภายในของเส้นใยด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดหรือเครื่อง FT-IR เป็นเทคนิคทางสเปกโตรสโกปีชนิดหนึ่งที่ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารไฮโดรคาร์บอน โดยการดูดกลืนแสงในช่วงรังสีอินฟราเรด (Infrared: IR) ของโมเลกุลต่าง ๆ ที่มีเลขคลื่นตั้งแต่  $12500\text{-}50\text{ cm}^{-1}$  โมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะมีการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันตามชนิดของหมู่ฟังก์ชัน จากการทดลองได้นำเส้นใยก่อนปรับสภาพ และเส้นใยหลังปรับสภาพด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ และไตรเมทิลคลอไรด์ไฮเลน มาศึกษาหมู่ฟังก์ชันภายในเส้นใย แสดงผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.1



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



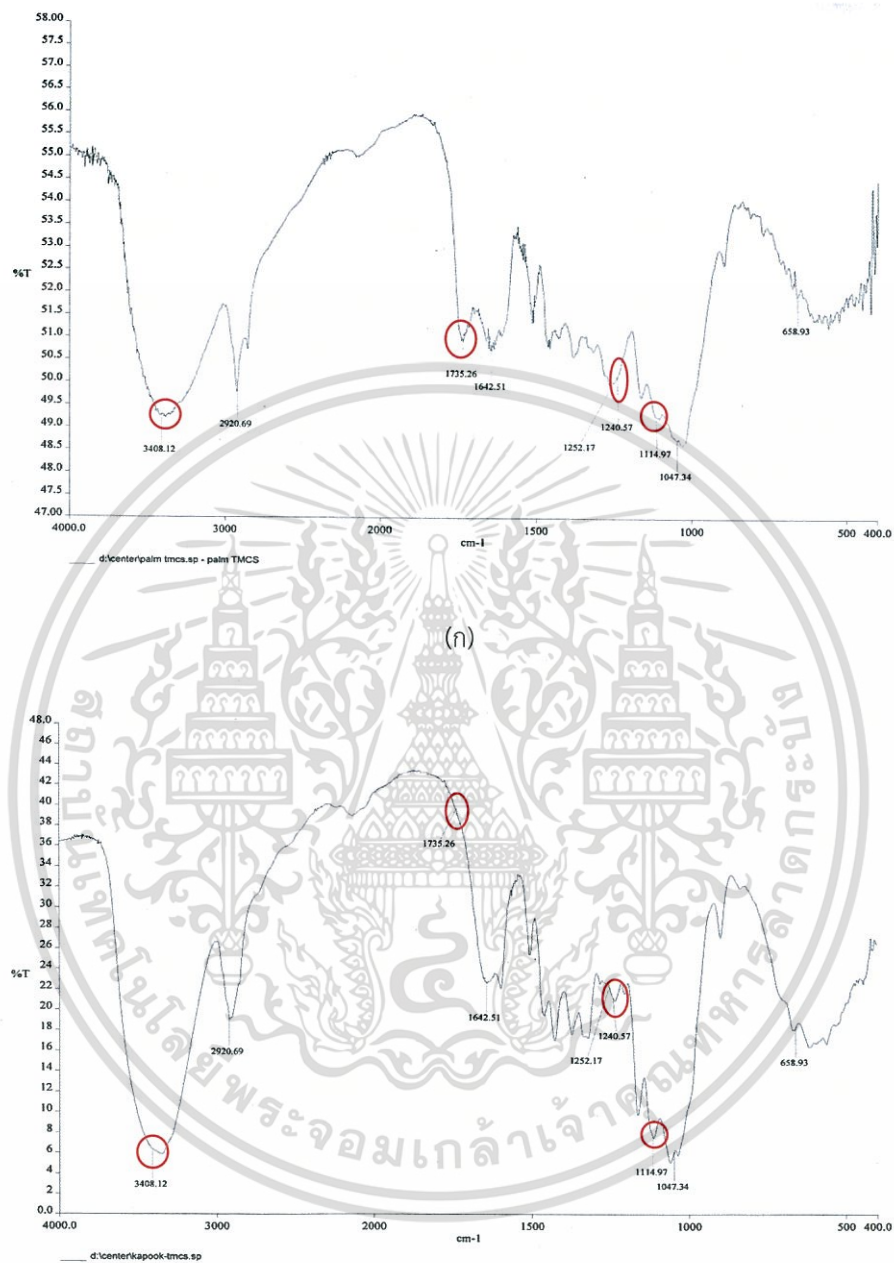
(ข)

รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยก่อนปรับสภาพ ((ก) เส้นใยของผลปาล์ม, (ข) เส้นใยนุ่น)

ตามผลของ FT-IR สเปกตรัมเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ก. ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (O-H) ตรงตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ  $3407\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงคุณสมบัติความเป็น Hydrophilic จึงจำเป็นต้องลดหรือกำจัดหมู่ฟังก์ชัน O-H ให้น้อยลง นอกจากนั้นยังปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน C-H, C=O, C=C, C-O และ C-O-C ที่เลขคลื่น 2920, 1735, 1642, 1252 และ  $1047\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ โดยหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างภายในเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

รูปที่ 4.1 ข. พบว่า FT-IR สเปกตรัมเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, C=O, C=C, C-O และ C-O-C ตรงตำแหน่งเลขคลื่น 3407, 2920, 1735, 1642, 1252 และ  $1047\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ เช่นเดียวกับเส้นใยของผลปาล์ม

เมื่อนำเส้นใยที่ได้หลังจากปรับสภาพด้วยต่างหรือวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชัน ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อลดความเป็น Hydrophilic ในเส้นใยให้น้อยลง และเพิ่มความเป็น Hydrophobic ให้กับเส้นใย ด้วยวิธีซิลิเลชันโดยปรับสภาพด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน มาศึกษาหมู่ฟังก์ชันภายในเส้นใยหลังจากทำปรับสภาพ ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.2



(ข)

รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยหลังปรับสภาพ ((ก) เส้นใยของผลปาล์ม, (ข) เส้นใยนุ่น)

FT-IR สเปกตรัมเส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ แสดงในรูปที่ 4.2 ก. จากสเปกตรัม มีการเปลี่ยนแปลงแถบสเปกตรัมที่สังเกตได้ยาก เมื่อเทียบกับแถบสเปกตรัมของเส้นใยก่อนปรับสภาพ เนื่องจากยังคงมีแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินภายในเส้นใย คือแถบการดูดกลืนของหมู่ O-H, C-H, C=O, C=C, C-O และ C-O-C ที่เลขคลื่น 3407, 2920,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

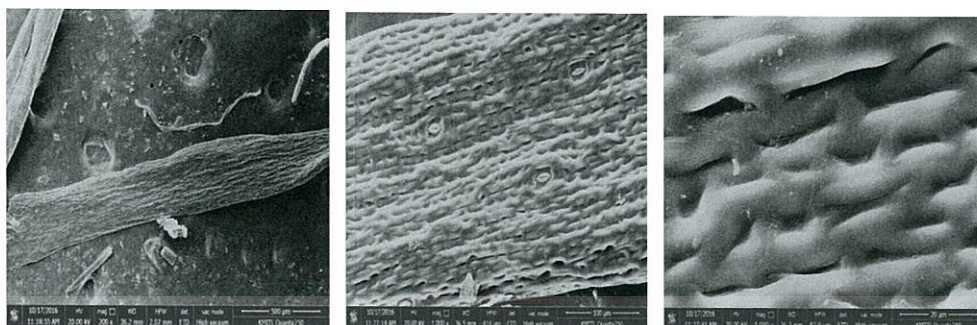
1735, 1642, 1252 และ  $1047\text{ cm}^{-1}$  ที่คล้ายคลึงกับเส้นใยก่อนปรับสภาพ แต่มีความแตกต่างกันในลักษณะความเด่นชัดของแถบการดูดกลืนน้อยกว่าเส้นใยก่อนปรับสภาพ เนื่องด้วยหมู่ฟังก์ชันของทั้งสองเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างในส่วนที่เป็นเซลล์ลูโลส ซึ่งหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งคาร์บอน 2, 3 และ 6 เกิดปฏิกิริยากับโซเดียม ( $\text{Na}^+$ ) ในปรับสภาพวิธีเออร์เซอร์ไรเซชัน การเกิดปฏิกิริยาจะไม่เกิดทุกตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลภายในโครงสร้างเส้นใย เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นภายในโมเลกุล และระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน เป็นสายโซ่โมเลกุลเรียงซ้อนกันและจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจนกลายเป็นโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) (กันตพัฒน์, 2558) รวมทั้งโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนหนึ่งไปกำจัดน้ำมันที่มีอยู่ภายในเส้นใยให้หลุดออก จึงทำให้การกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลไม่เกิดขึ้นในทุกตำแหน่ง นอกจากนั้นปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน  $\text{Si-CH}_3$  และ  $\text{Si-O-C}$  ที่เลขคลื่น 1241 และ  $1114\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ จากการปรับสภาพเส้นใยในขั้นที่สองด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน จึงเกิดความแตกต่างอย่างชัดเจนกับแถบการดูดกลืนของเส้นใยก่อนปรับสภาพ การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีปฏิกิริยาการแทนที่ที่เกิดขึ้นได้จริงบนพื้นผิวของเส้นใยของผลปาล์ม

จากรูปที่ 4.2 ข. พบว่า FT-IR สเปกตรัมเส้นใยนุ่นหลังปรับสภาพ ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน O-H, C-H, C=O, C=C, C-O และ C-O-C ที่เลขคลื่น 3407, 2920, 1735, 1642, 1252 และ  $1047\text{ cm}^{-1}$  ไม่เด่นชัดเท่ากับเส้นใยก่อนปรับสภาพ เนื่องจากปรับสภาพด้วยวิธีเออร์เซอร์ไรเซชัน (ปรับสภาพด้วยด่าง) โซเดียม ( $\text{Na}^+$ ) เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในโครงสร้างของเส้นใย นอกจากนั้นยังปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน  $\text{Si-CH}_3$  และ  $\text{Si-O-C}$  ที่เลขคลื่น 1241 และ  $1114\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ จากปรับสภาพเส้นใยในขั้นที่สองด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน จึงเกิดความแตกต่างอย่างชัดเจนกับแถบการดูดกลืนของเส้นใยก่อนปรับสภาพ เช่นเดียวกับเส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีปฏิกิริยาการแทนที่ที่เกิดขึ้นได้จริงบนพื้นผิวของเส้นใยนุ่น

### 4.3 ศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) และเปรียบเทียบพื้นที่ผิว

#### 4.3.1 เส้นใยของผลปาล์ม

จากการศึกษาความหยาบของเส้นใยของผลปาล์มก่อน และหลังปรับสภาพ โดยการนำใบส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) ที่กำลังขยาย 200, 1000 และ 5000 เท่า ตามลำดับ เพื่อศึกษาพื้นที่ผิวของเส้นใยก่อน และหลังทำการปรับสภาพ ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำมันบนเส้นใย ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.3



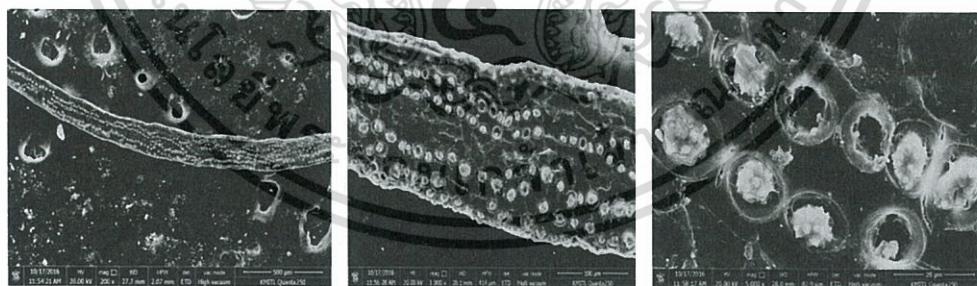
(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ (ก. กำลังขยาย 200 เท่า, ข. กำลังขยาย 1000 เท่า, ค. กำลังขยาย 5000 เท่า)

เห็นได้ว่า ลักษณะพื้นที่ผิวเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 มีลักษณะพื้นที่ผิวขรุขระ บนผิวของเส้นใยมีสิ่งสกปรกปกคลุมอยู่และมีชั้นน้ำมันเคลือบอยู่บนพื้นผิวปิดกั้นรูพรุนบนเส้นใย เนื่องจากเส้นใยของผลปาล์มเป็นส่วนของเปลือกผลปาล์มทั้งชั้นนอกและชั้นใน มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบสำคัญ พื้นผิวของเส้นใยจึงมีชั้นน้ำมันเคลือบอยู่บริเวณรูพรุน แต่ก็ยังสามารถมองเห็นขนาดของรูพรุนบนเส้นใยได้ชัดเจน ทำให้สามารถวัดขนาดพื้นที่รูพรุนเฉลี่ยบนเส้นใยได้ประมาณ 13.64 ตารางไมโครเมตร และความกว้างของเส้นใยเฉลี่ย 8.17 ไมโครเมตร ต่อมานำเส้นใยของผลปาล์มมาปรับสภาพด้วยวิธีไฮดรอลิกไฮโดรไลซิส ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปกำจัดน้ำมันที่เคลือบอยู่บนเส้นใย สิ่งสกปรก ทำลายองค์ประกอบโครงสร้างภายในเส้นใย ทำให้รูพรุนเปิดออก จากนั้นนำมาปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.4



(ก)

(ข)

(ค)

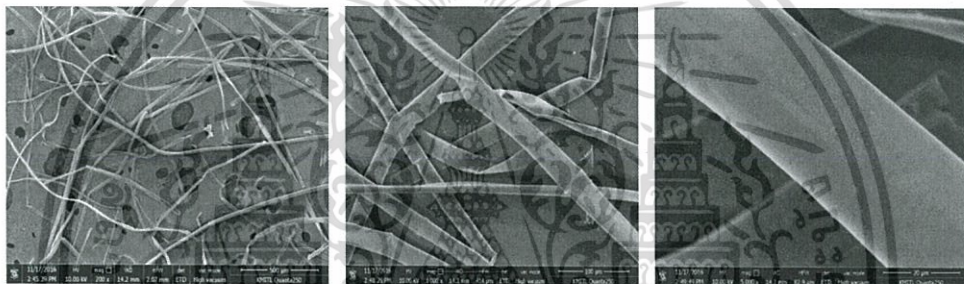
รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ (ก. กำลังขยาย 200 เท่า, ข. กำลังขยาย 1000 เท่า, ค. กำลังขยาย 5000 เท่า)

เมื่อทำปรับสภาพทางเคมีทั้งสองขั้นตอนแล้ว (รูปที่ 4.4) พบว่าชั้นน้ำมันที่เคลือบอยู่บนเส้นใยลดน้อยลง รวมทั้งสิ่งสกปรกบนผิวเส้นใย แต่มีบางส่วนที่ถูกกำจัดไม่หมดติดอยู่ในรูพรุนของเส้นใย เส้นใยมีความขรุขระและรูพรุนชัดเจนขึ้น พื้นที่ผิวของเส้นใยจึงเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถวัดขนาดพื้นที่รู

พรมเฉลี่ยบนเส้นใยได้ประมาณ 19.49 ตารางไมโครเมตร และความกว้างของเส้นใยเฉลี่ย 16.85 ไมโครเมตร ซึ่งเส้นใยแต่ละเส้นมีขนาดของเส้นใยที่แตกต่างกันทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวพรมและความกว้างของเส้นใยก่อน และหลังทำปรับสภาพ แต่สังเกตได้ว่าพื้นที่ผิวบนเส้นใยมีความขรุขระ และขนาดรูพรมเด่นชัดมากกว่าเส้นใยก่อนทำปรับสภาพ ซึ่งอาจสอดคล้องกับการทดลองของ อรรธรณ (2549) ในปรับสภาพเส้นใยทะเลลายปาล์มที่ด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน พบว่าเส้นใยมีรูพรมชัดเจนและเพิ่มใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นผลดีสำหรับการนำเส้นใยของผลปาล์มมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ

### 4.3.2 เส้นใยนุ่น

จากการศึกษาความพรมของเส้นใยนุ่นก่อน และหลังปรับสภาพ โดยการนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) ที่กำลังขยาย 200, 1000 และ 5000 เท่า ตามลำดับ ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.5



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.5 ลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ (ก. กำลังขยาย 200 เท่า, ข. กำลังขยาย 1000 เท่า, ค. กำลังขยาย 5000 เท่า)

รูปที่ 4.5 เห็นได้ว่า ลักษณะพื้นที่ผิวเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ มีลักษณะค่อนข้างเรียบ ลักษณะรูพรมของเส้นใยไม่เด่นชัดเมื่อเทียบกับเส้นใยของผลปาล์ม จึงไม่สามารถวัดขนาดรูพรมบนเส้นใยได้ แต่สามารถวัดความกว้างของเส้นใยเฉลี่ยได้ 25.17 ไมโครเมตรน้อยกว่าเส้นใยของผลปาล์มก่อน และหลังปรับสภาพ ต่อมานำเส้นใยนุ่นมาปรับสภาพด้วยวิธีเออร์เซอร์ไรเซชัน โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไป ทำลายองค์ประกอบโครงสร้างภายในเส้นใย จากนั้นนำมาปรับสภาพด้วยวิธีซิลิเลชัน ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.6



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.6 ลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใยนุ่นหลังปรับสภาพ ((ก) กำลังขยาย 200 เท่า, (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า, (ค) กำลังขยาย 5000 เท่า)

หลังจากปรับสภาพทางเคมีทั้งสองขั้นตอนแล้ว ในรูปที่ 4.6 เส้นใยค่อนข้างเรียบแบนมากกว่าเส้นใยก่อนปรับสภาพ พื้นที่ผิวมีความขรุขระและรูพรุนชัดเจนขึ้น พื้นที่ผิวบนเส้นใยจึงเพิ่มมากขึ้น สามารถวัดความกว้างของเส้นใยเฉลี่ยได้ 23.83 ไมโครเมตร ซึ่งสังเกตได้ว่าพื้นที่ผิวบนเส้นใยมีความขรุขระมากขึ้นหลังปรับสภาพ

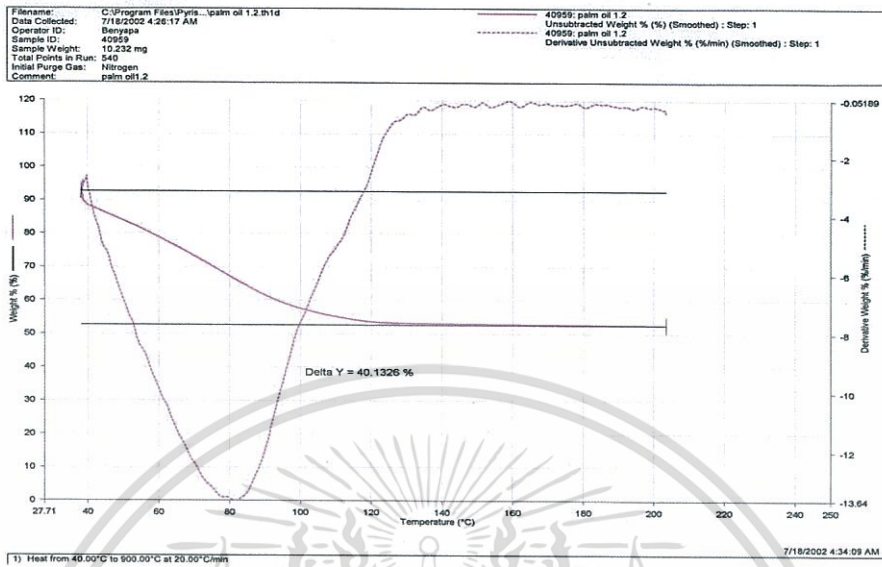
การปรับสภาพเส้นใยทั้งสองชนิดทำให้พื้นที่ผิวบนเส้นใยขรุขระมากขึ้น เป็นผลดีแก่การนำเป็นวัสดุดูดซับเนื่องจากพื้นที่ผิวบนเส้นใย เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

#### 4.4 ศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใย ด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมตริกซ์ (Thermogravimetric analyzer: TGA) และวิเคราะห์มุมสัมผัสผิวน้ำของเส้นใยด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle analyzer: CTA)

##### 4.4.1 ศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใย

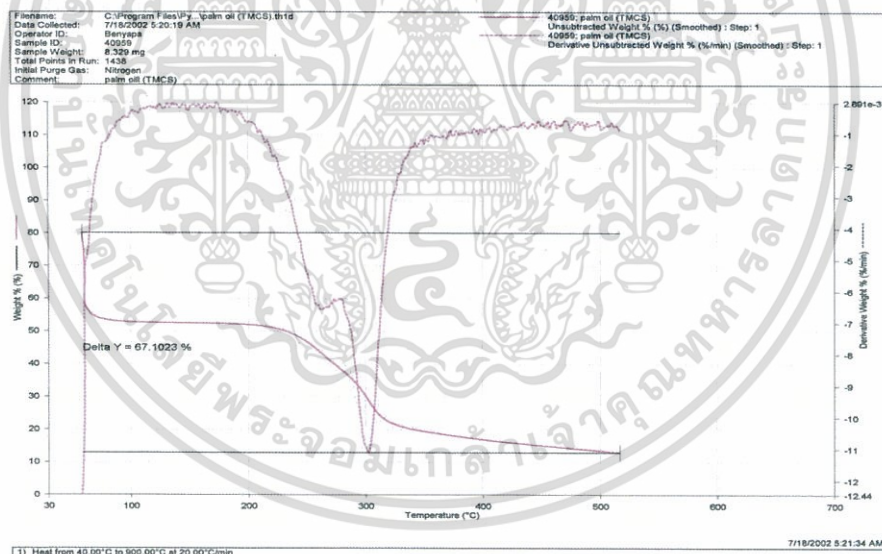
###### 4.4.1.1 เส้นใยของผลปาล์ม

การศึกษการดูดซับน้ำของเส้นใยของผลปาล์มก่อน และหลังปรับสภาพ โดยการนำเส้นใยมาแช่น้ำให้เกิดการอิมมิด้อย่างยิ่งยวดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาหาปริมาณการดูดซับน้ำด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมตริกซ์ (Thermogravimetric analyzer: TGA) เพื่อศึกษาคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของเส้นใย ที่เพิ่มขึ้นหลังการปรับสภาพ รูปที่ 4.7 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใย



1) Heat from 40.00°C to 900.00°C at 20.00°C/min 7/18/2002 4:34:09 AM

(ก)



1) Heat from 40.00°C to 900.00°C at 20.00°C/min 7/18/2002 5:21:34 AM

(ข)

รูปที่ 4.7 น้ำหนักของเส้นใยของผลปาล์มตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (TGA thermogram) ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

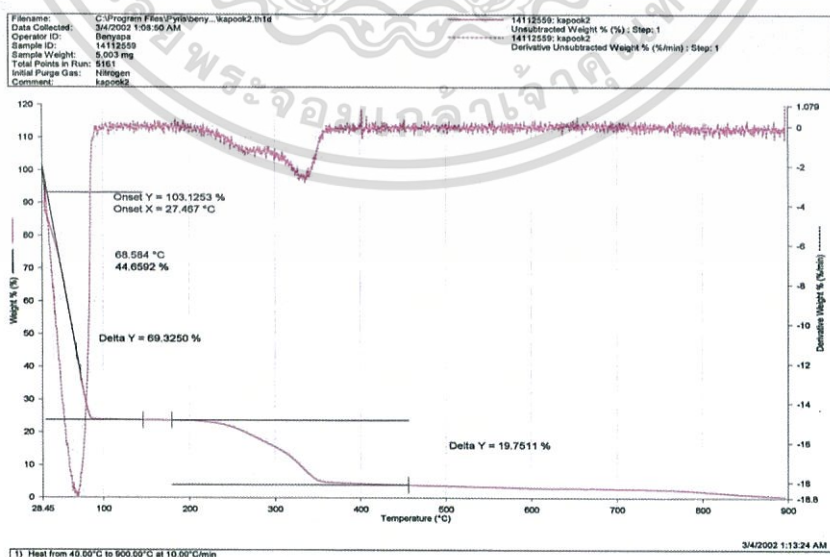
#### ตารางที่ 4.1 การดูดซับน้ำของเส้นใย

ชนิดของเส้นใย	ปริมาณการดูดซับน้ำ ของเส้นใย (mg/mg)	ปริมาณการดูดซับน้ำ ที่ลดลง (mg/mg)	ร้อยละ การดูดซับน้ำ ที่ลดลง
ผลปาล์มก่อนปรับสภาพ	1.4917	1.0015	67.1349
ผลปาล์มหลังปรับสภาพ	0.4903		
นุ่นก่อนปรับสภาพ	0.4425	0.1511	34.1537
นุ่นหลังปรับสภาพ	0.2914		

จากตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ (แสดงในภาคผนวก ค) ได้ 1.4917 และ 0.4903 มิลลิกรัม น้ำต่อเส้นใย 1 มิลลิกรัม ตามลำดับ หรือลดลง 1.0015 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 67 แสดงให้เห็นว่าปรับสภาพทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เพิ่มขึ้น เส้นใยหลังปรับสภาพจึงเหมาะที่จะนำไปเป็นวัสดุดูดซับสารไม่มีขั้ว อย่างเช่น น้ำมันและไขมัน ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของอินฟราเรดสเปกตรัม (FT-IR) คือ การปรับสภาพเส้นใยของผลปาล์มทำให้หมู่ไฮดรอกซิลสองคู่ประกอบโครงสร้างที่สำคัญในเส้นใยถูกทำลาย เกิดการแทนที่ของหมู่ซิลิล (R-Si) ลดความเป็น Hydrophilic และเพิ่มความเป็น Hydrophobic ด้วยวิธีซิลิเลชัน จึงทำให้เส้นใยดูดซับน้ำได้น้อยลง

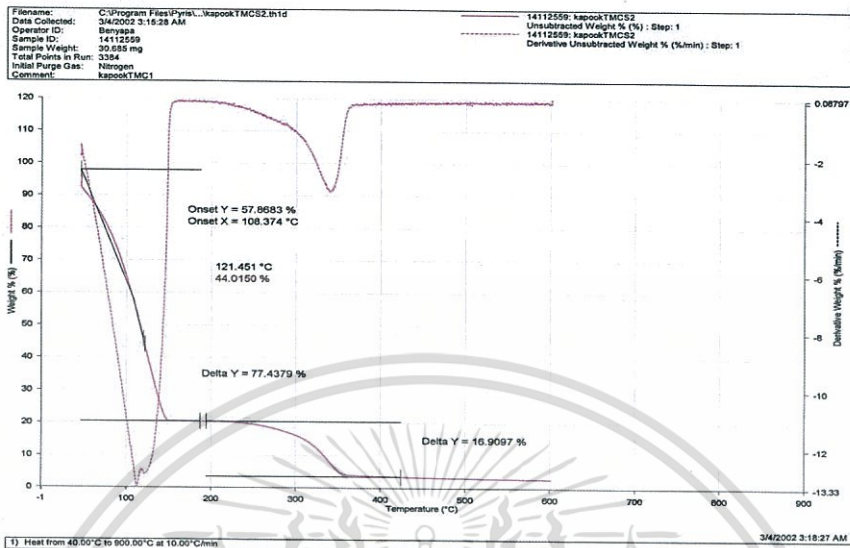
#### 4.4.1.2 เส้นใยนุ่น

การศึกษาการดูดซับน้ำของเส้นใยนุ่นก่อน และหลังปรับสภาพ โดยทำการทดลอง เช่นเดียวกับเส้นใยของผลปาล์ม แล้วนำมาหาปริมาณการดูดซับน้ำด้วยเครื่องมือเทอร์โมกราวิเมทริกซ์ (Thermogravimetric analyzer: TGA) รูปที่ 4.8 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใย



(ก)

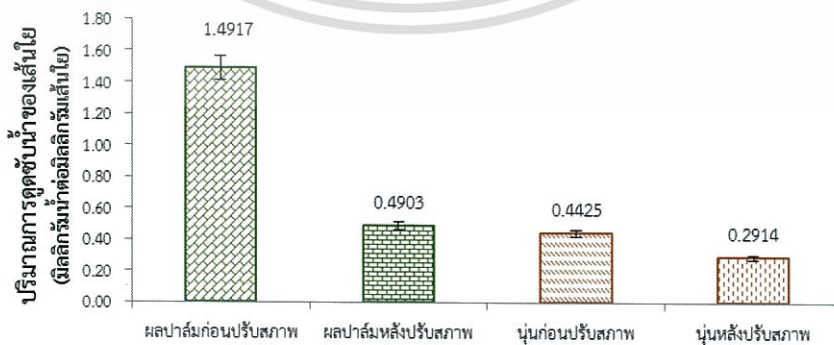
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.8 น้ำหนักของเส้นใยนุ่นตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (TGA thermogram) ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

สามารถคำนวณปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใยได้จาก TGA thermogram ดังตาราง 4.1 (แสดงในภาคผนวก ค) ของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพได้ 0.4425 และ 0.2914 มิลลิกรัมน้ำต่อเส้นใย 1 มิลลิกรัม ตามลำดับ หรือลดลง 0.1511 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 34 แสดงให้เห็นว่าปรับสภาพทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เพิ่มขึ้น เส้นใยหลังปรับสภาพจึงเหมาะที่จะนำไปเป็นวัสดุดูดซับสารไม่มีขั้ว อย่างเช่น น้ำมันและไขมัน ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของอินฟราเรดสเปกตรัม (FT-IR) คือการปรับสภาพเส้นใยของผลปาล์มทำให้หมู่ไฮดรอกซิลองค์ประกอบโครงสร้างที่สำคัญในเส้นใยถูกทำลาย เกิดการแทนที่ของหมู่ไฮลิล ลดความเป็น Hydrophilic และเพิ่มความเป็น Hydrophobic ด้วยวิธีซิลิเลชัน จึงทำให้เส้นใยดูดซับน้ำได้น้อยลง



รูปที่ 4.9 ปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

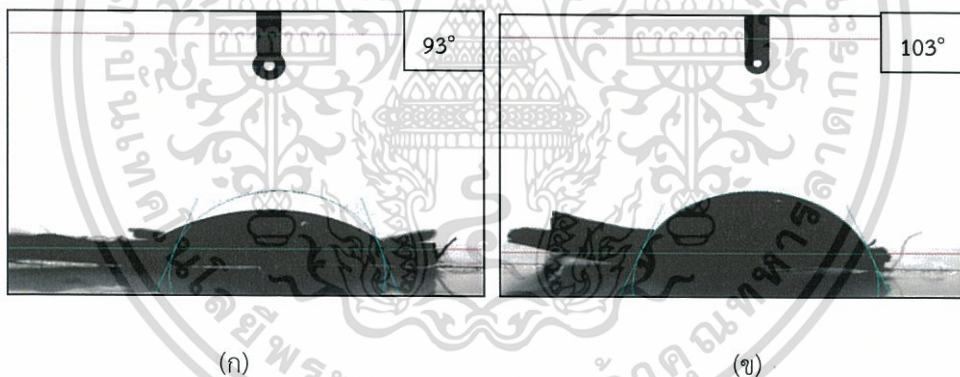
เมื่อทำการเปรียบเทียบการดูดซับน้ำของเส้นใยทั้งสองชนิดหลังการปรับสภาพ พบว่าเส้นใยดูดซับน้ำได้ลดลงหรือมีความเป็น Hydrophobic เพิ่มขึ้น เหมาะสมที่นำไปดูดซับสารไม่มีขี้ขี้ หรือสารที่ไม่สามารถละลายน้ำ หรือละลายได้เล็กน้อย

#### 4.4.2 ศึกษามุมสัมผัสน้ำหรือการเปียกของเส้นใย

การวัดมุมสัมผัส (Contact angle,  $\theta$ ) เป็นการวัดมุมระหว่างเส้นสัมผัสเค้าร่างหยดของของเหลว (น้ำ) บนพื้นผิวของของแข็ง ซึ่งลักษณะหยดของของเหลว (น้ำ) บนพื้นผิวของของแข็งเป็น Hydrophobic โดยมุมระหว่างเส้นสัมผัสเค้าร่างของหยดของของเหลว (น้ำ) ที่ตำแหน่งจุดสัมผัสและพื้นผิวของของแข็ง เรียกว่า มุมสัมผัส ( $\theta$ ) หากเส้นใยมีมุมสัมผัสที่เพิ่มขึ้น หลังการปรับสภาพ โดยมีมุมสัมผัสมากกว่า  $90^\circ$  แสดงถึงความเป็น Hydrophobic เป็นผลดีเหมาะสมนำไปดูดซับสารไม่มีขี้ขี้จำพวก ไชมันและน้ำมัน เป็นต้นหรือเส้นใยทำการทดลองโดยหยดน้ำลงบนเส้นใย 10 ไมโครลิตร ทำการวัดมุมสัมผัสน้ำ (water contact angle) บนเส้นใย

##### 4.4.2.1 เส้นใยของผลปาล์ม

การศึกษามุมสัมผัสน้ำของเส้นใยของผลปาล์มก่อน และหลังปรับสภาพ โดยการทำการวัดมุมสัมผัสน้ำ (water contact angle) บนเส้นใย ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 มุมสัมผัสน้ำของเส้นใยของผลปาล์มก่อน และหลังปรับสภาพ ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

เมื่อหยดน้ำลงบนเส้นใยของผลปาล์มก่อน และหลังปรับสภาพ ลักษณะของหยดน้ำบนเส้นใยทั้งสองแตกต่างกัน ผลปรากฏในรูปที่ 4.10 มุมสัมผัส (เฉลี่ยด้านซ้ายและด้านขวา) ของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ เฉลี่ยประมาณ  $96^\circ$  และ  $103^\circ$  ตามลำดับ ดังตาราง 4.2

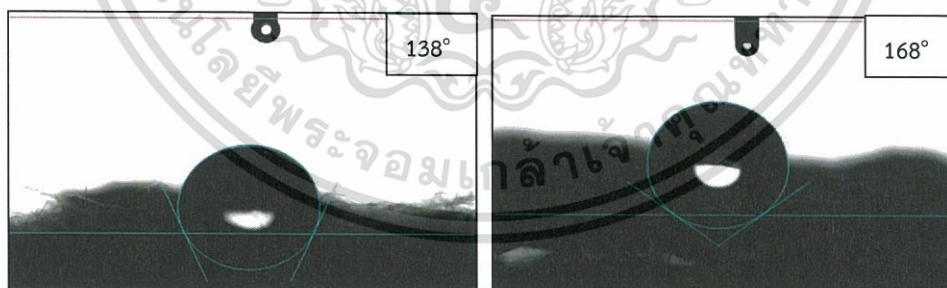
ตารางที่ 4.2 มุมสัมผัสผิวน้ำโดยเฉลี่ยของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ

ชนิดของเส้นใย	ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสผิวน้ำ (°)
ผลปาล์มก่อนปรับสภาพ	95.57 ± 0.06
ผลปาล์มหลังปรับสภาพ	102.61 ± 0.49
นุ่นก่อนปรับสภาพ	137.97 ± 0.04
นุ่นหลังปรับสภาพ	168.17 ± 0.03

จากตารางที่ 4.2 เดิมเส้นใยก่อนปรับสภาพ มีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic อยู่ก่อนแล้ว เนื่องจากมีมุมสัมผัสผิวน้ำที่มากกว่า 90° หลังจากปรับสภาพ เส้นใยมีมุมสัมผัสผิวน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของการดูดซับน้ำโดยการวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง TGA ของเส้นใยที่ลดน้อยลง เนื่องจากปรับสภาพด้วยวิธีเอมอร์ไรเซชันและซิลิเลชัน หมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติความเป็น Hydrophilic .ถูกกำจัดให้ลดน้อยลง และเพิ่มความเป็น Hydrophobic ให้กับเส้นใยเพิ่มมากขึ้น ด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน ประกอบด้วยหมู่ซิลิล (R-Si) ดังผลการทดลองของอินฟราเรดสเปกตรัม (FT-IR) ที่ปรากฏหมู่ฟังก์ชันนี้ขึ้น ค่ามุมสัมผัสผิวน้ำของเส้นใยจึงเพิ่มขึ้น เส้นใยหลังปรับสภาพ จึงมีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic มากขึ้น

#### 4.4.2.1 เส้นใยนุ่น

การศึกษามุมสัมผัสผิวน้ำของเส้นใยนุ่นก่อน และหลังปรับสภาพ โดยการทำการวัดมุมสัมผัสผิวน้ำ (water contact angle) บนเส้นใย ผลการทดลองดังรูปที่ 4.11



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.11 มุมสัมผัสผิวน้ำของเส้นใยนุ่นก่อน และหลังปรับสภาพ ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

รูปที่ 4.10 หยดน้ำลงบนเส้นใยนุ่นก่อน และหลังปรับสภาพ มุมสัมผัสผิวน้ำบนเส้นใยทั้งสองแตกต่างกัน มุมสัมผัสผิวน้ำ (เฉลี่ยด้านซ้ายและด้านขวา) ของเส้นใยก่อน และหลังปรับสภาพ เฉลี่ยประมาณ 138° และ 168° ตามลำดับ จากผลในตารางที่ 4.2 เดิมเส้นใยก่อนปรับสภาพ มีคุณสมบัติ

ความเป็น Hydrophobic เนื่องจากมีมุมสัมผัสน้ำที่มากกว่า  $90^\circ$  หลังปรับสภาพ เส้นใยมีมุมสัมผัสเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของการดูดซับน้ำโดยการวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง TGA ของเส้นใยที่ดูดซับน้ำน้อยลง เนื่องจากปรับสภาพด้วยวิธีเมอร์เซอร์ไรเซชันและซิลิเลชัน หมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติความเป็น Hydrophilic ถูกกำจัดให้ลดน้อยลง และเพิ่มความเป็น Hydrophobic ให้กับเส้นใยเพิ่มมากขึ้นด้วยไตรเมทิลคลอโรไซเลน ประกอบด้วยหมู่ซิลิล (R-Si) ดังผลการทดลองของอินฟราเรดสเปกตรัม (FT-IR) ที่ปรากฏหมู่ฟังก์ชันนี้ขึ้น เช่นเดียวกับเส้นใยของผลปาล์ม ส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสน้ำของเส้นใยเพิ่มขึ้น เส้นใยหลังปรับสภาพจึงมีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic มากขึ้น ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zheng, Yian *et al.* (2016)

#### 4.5 ศึกษาความสามารถในการการดูดซับน้ำมันของเส้นใย

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยก่อนปรับสภาพ และหลังปรับสภาพ โดยนำเส้นใยดูดซับน้ำมันปริมาตร 100 มิลลิลิตร หรือ 88.03 กรัมโดยประมาณเป็นเวลา 15 นาที นำไปผึ่งไว้อีก 10 นาทีเพื่อกำจัดน้ำมันที่ไม่ถูกดูดซับบนเส้นใย จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อศึกษาน้ำมันที่ถูกดูดซับ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก 5 ข)

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย

ชนิดของเส้นใย	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (g/g)	ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน
ผลปาล์มก่อนปรับสภาพ	$1.9226 \pm 0.05$	4.37
ผลปาล์มหลังปรับสภาพ	$2.2645 \pm 0.04$	5.15
นุ่นก่อนปรับสภาพ	$32.8482 \pm 0.02$	74.67
นุ่นหลังปรับสภาพ	$3.8698 \pm 0.06$	8.80

พบว่า เส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ จำนวน 1 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันได้ 1.9226 กรัม ดังตารางที่ 4.3 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย (แสดงในภาคผนวก ค) เมื่อทำการปรับสภาพ ดูดซับน้ำมันได้เพิ่มขึ้นเป็น 2.2645 กรัม คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้นประมาณ 18 เนื่องจากการปรับสภาพ ทำให้คุณสมบัติความเป็น Hydrophobic เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ FT-IR สเปกตรัมที่ปรากฏหมู่ฟังก์ชัน Si-CH<sub>3</sub> และ Si-O-C ขึ้นภายหลังปรับสภาพ ส่งผลให้เส้นใยดูดซับน้ำได้น้อยลง และผลการทดลองของ TGA ที่แสดงค่าการดูดซับน้ำลดลงของเส้นใย รวมทั้งมุมสัมผัสน้ำบนเส้นใยที่เพิ่มมากขึ้น

และจากตารางที่ 4.3 เส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ จำนวน 1 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันได้ 32.8482 กรัม เมื่อทำการปรับสภาพ ดูดซับน้ำมันได้ลดลงเป็น 3.8698 กรัม ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวขัดแย้งกับการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยทั้ง FT-IR, TGA และมุมสัมผัสน้ำของเส้นใยหลังปรับสภาพ คือเส้นใยต้องมีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic เพิ่มมากขึ้น การดูดซับน้ำมันซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว หรือไม่ชอบน้ำ จึงควรเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่การดูดซับน้ำมันกลับลดน้อยลง เนื่องจากพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

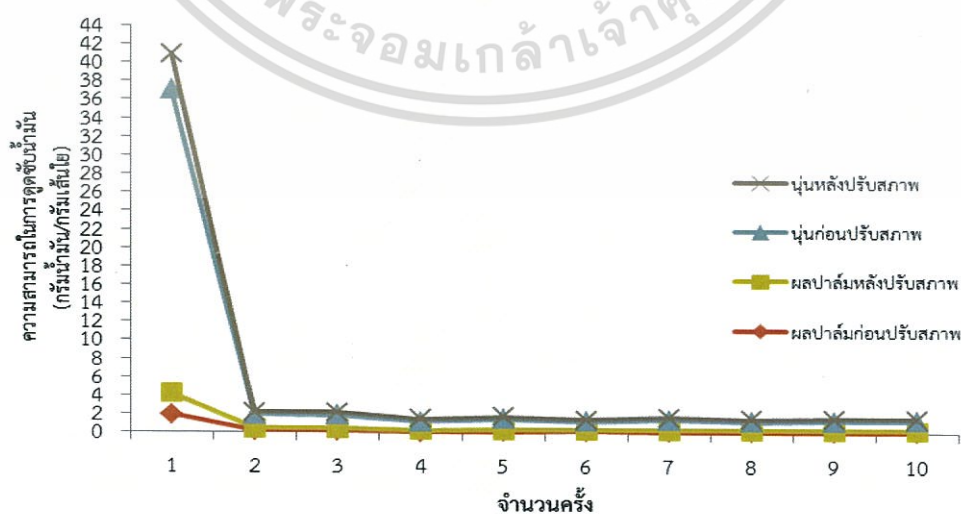
ผิวของเส้นใยลดน้อยลง จากผลการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไตรเมทิลคลอโรไซด์ เมื่อน้ำมันเส้นใยจะมีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic เพิ่มขึ้นก็ตาม

เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับน้ำมันของเส้นใยของผลปาล์ม พบว่า เส้นใยหลังปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น สำหรับเส้นใยนั้น เส้นใยก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้มากกว่า เนื่องจากก่อนการปรับสภาพเส้นใยมีลักษณะฟู แต่เมื่อทำการปรับสภาพ เส้นใยมีลักษณะแบน เป็นแผ่น ไม่ฟู ทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับลดน้อยลง เมื่อน้ำมันเส้นใยจะมีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic เพิ่มขึ้นก็ตาม จากผลการศึกษาการดูดซับน้ำมันของเส้นใยลดน้อยลง และมุมสัมผัสน้ำเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยทั้งสองชนิดก่อน และหลังปรับสภาพ สังเกตเห็นได้ว่า เส้นใยก่อนปรับสภาพ มีความสามารถดูดซับน้ำมันได้มากที่สุด รองมาเป็นเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ เส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ เส้นใยก่อนปรับสภาพ และเส้นใยหลังปรับสภาพตามลำดับ อาจทำนายผลจากการคำนวณทางสถิติด้วยการทดสอบของครัสคาล และวัลลิส (The Kruskal-Wallis One-Way Analysis of Variance By Rank Test) เนื่องจากความแปรปรวนของกลุ่มประชากรในการคำนวณมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้ไม่สามารถใช้การคำนวณด้วยวิธี One-Way Anova ได้ จึงทำการคำนวณทางสถิติด้วยวิธีนี้ พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยทั้ง 4 ชนิด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05

#### 4.6 การนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยก่อนปรับสภาพ และหลังปรับสภาพ โดยนำเส้นใยมาดูดซับน้ำมันเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปผึ่งไว้อีก 10 นาที หลังจากการดูดซับครั้งที่ 1 นำเส้นใยไปทำการคายซับด้วยเครื่องบีบน้ำมันออกจากเส้นใย แล้วนำกลับไปดูดซับอีก ทำการคายซับแล้วนำกลับไปใช้เช่นนี้เป็นจำนวน 10 ครั้ง ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12

##### 4.6.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย

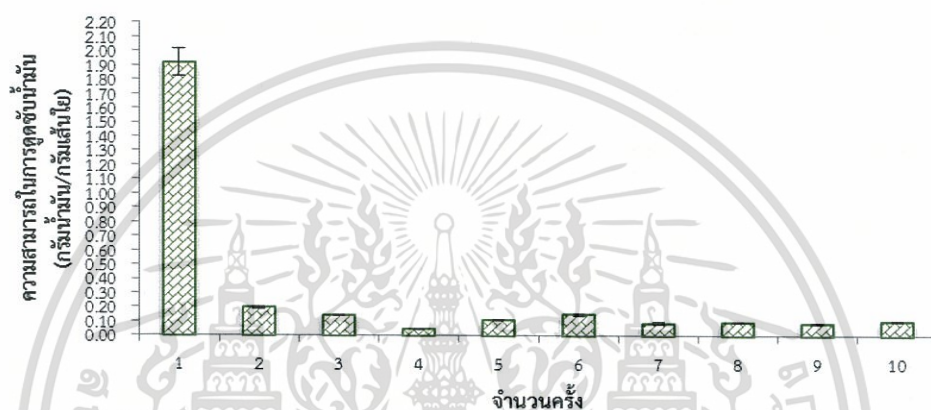


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปที่ 4.12 ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

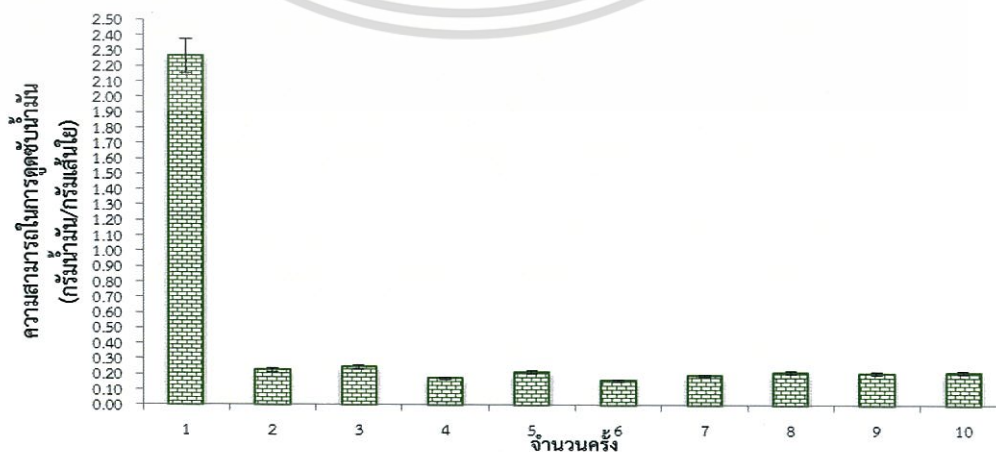
ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยหลังจากทำการคายซับลดน้อยลง ทั้งเส้นใยของผลปาล์ม และเส้นใยนุ่นก่อน และหลังปรับสภาพ (รูปที่ 4.12) โดยเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ สามารถดูดซับน้ำมันครั้งที่ 1 และหลังคายซับทั้ง 10 ครั้งได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับเส้นใยทั้งสามชนิด จากการคายซับน้ำมันของเส้นใยของผลปาล์ม และเส้นใยนุ่นก่อน และหลังปรับสภาพ ผลการทดลองดังนี้

#### 4.6.1.1 เส้นใยของผลปาล์ม



### รูปที่ 4.13 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ

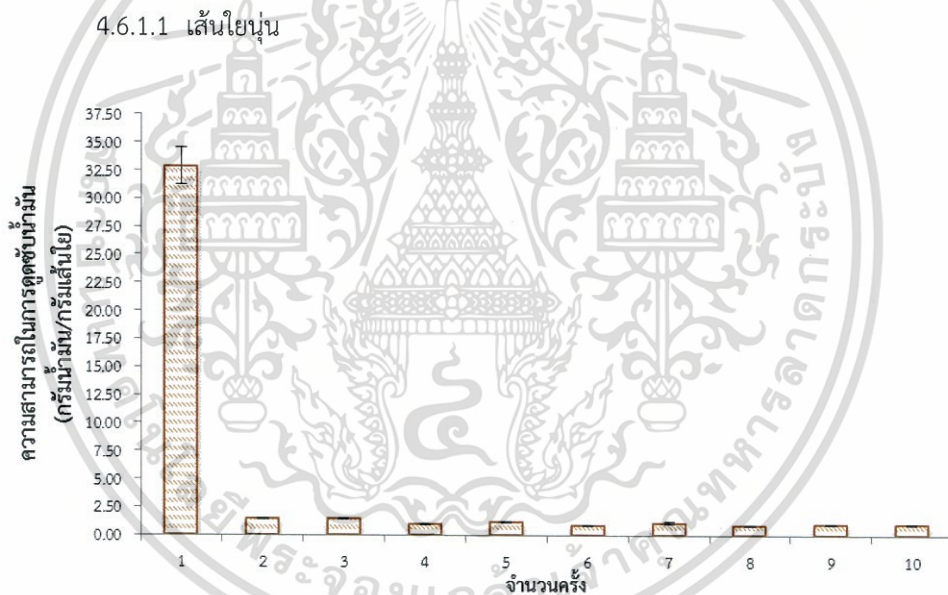
เห็นได้ว่า เส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และลดลงไม่คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 คือหลังการคายซับครั้งที่หนึ่ง และครั้งที่สอง เส้นใยมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน 1.9226 และ 0.1965 กรัมไขมันต่อเส้นใยหนึ่งกรัม ตามลำดับ หรือลดลงร้อยละประมาณ 89 เนื่องจากหลังการคายซับ เส้นใยมีปริมาณน้ำมันจากการดูดซับครั้งก่อนหน้า เมื่อทำการคายซับ น้ำมันที่ถูกดูดซับบนเส้นใยออกจากเส้นใยไม่หมด จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยลง แต่หลังจากทำการคายซับครั้งที่ 7 เป็นต้นไป เส้นใยเริ่มมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

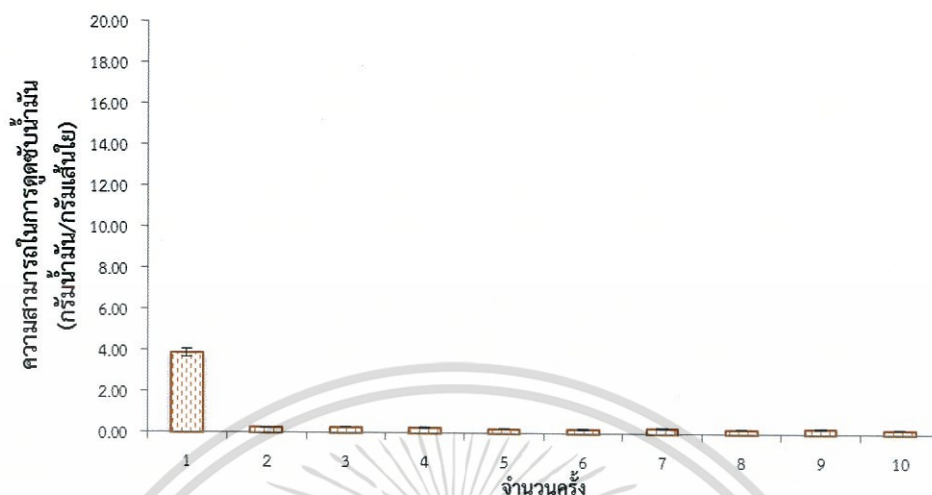
#### รูปที่ 4.14 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ

และเส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และลดลงไม่คงที่ (รูปที่ 4.14) เช่นเดียวกับเส้นใยก่อนปรับสภาพ แต่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากกว่าเส้นใยก่อนปรับสภาพ คือในการคายซับครั้งที่หนึ่ง และครั้งที่สองเส้นใย เส้นใยมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ 2.2645 และ 0.2240 กรัมไขมันต่อเส้นใยหนึ่งกรัม ตามลำดับ ลดลงร้อยละประมาณ 90 เนื่องจากหลังการคายซับในช่วงแรก เส้นใยมีปริมาณน้ำมันจากการดูดซับครั้งก่อนหน้า เมื่อทำการคายซับน้ำมันออกจากเส้นใยไม่หมด จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยลง และเพิ่มขึ้น เนื่องจากหลังทำการคายซับด้วยเครื่องบีบน้ำมันเส้นใยถูกบีบด้วยแรงกด โดยที่เส้นใยมีความเหนียวหรือหยึดหยุ่นน้อยลง เพราะ แดกหักง่ายจากปรับสภาพ จึงทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำมันจึงเพิ่มขึ้น แต่หลังจากทำการคายซับครั้งที่ 7 เป็นต้นไป เส้นใยเริ่มมีความสามารถในการดูดซับคงที่



รูปที่ 4.15 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ

รูปที่ 4.15 สังเกตเห็นว่า เส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันจากครั้งแรกมากที่สุด คือการคายซับครั้งที่หนึ่ง และครั้งที่สอง เส้นใยสามารถในการดูดซับน้ำมัน 32.8482 และ 1.4686 กรัมไขมันต่อเส้นใยหนึ่งกรัม ตามลำดับ แตกต่างจากครั้งที่สองอย่างเห็นได้ชัดจากการคายซับ ลดลงร้อยละประมาณ 96 เนื่องจากเส้นใยมีน้ำมันจากการดูดซับครั้งก่อนหน้า เมื่อทำการคายซับ น้ำมันที่ถูกดูดซับบนเส้นใใจออกจากเส้นใยไม่หมด จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยลง และเริ่มคงที่ตั้งแต่ทำการคายซับครั้งที่สอง

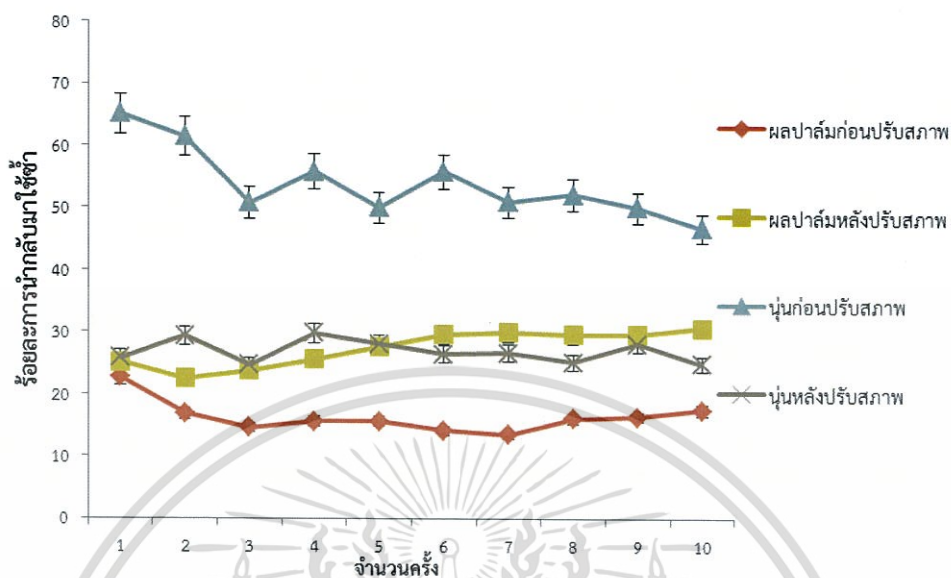


รูปที่ 4.16 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเส้นใยนุ่นหลังปรับสภาพ

และเส้นใยนุ่นหลังปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และลดลงไม่คงที่ (รูปที่ 4.16) คือทำการคายซับริ่งที่หนึ่ง และครั้งที่สอง เส้นใยมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน 3.8698 และ 0.2494 กรัมไขมันต่อเส้นใยหนึ่งกรัม ตามลำดับ ลดลงร้อยละประมาณ 94 เนื่องจากหลังการคายซับริ่ง เส้นใยมีปริมาณน้ำมันจากการดูดซับริ่งก่อนหน้า เมื่อทำการคายซับริ่ง น้ำมันที่ถูกดูดซับบนเส้นใยออกจากเส้นใยไม่หมด จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยลง การดูดซับน้ำมันหลังการคายซับริ่งจะเริ่มคงที่หลังทำการคายซับริ่งตั้งแต่ครั้งที่หนึ่ง เป็นต้นไป และสามารถดูดซับน้ำมันได้น้อยกว่าเส้นใยก่อนสภาพหลังทำการคายซับริ่งที่หนึ่งคือ เส้นใยก่อนปรับสภาพและหลังปรับสภาพ สามารถดูดซับได้ 32.8482 และ 3.8698 กรัมไขมันต่อเส้นใยหนึ่งกรัม ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าเส้นใยก่อนปรับสภาพร้อยละประมาณ 88

#### 4.6.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย

เมื่อนำมาคำนวณร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใยทั้ง 4 ชนิด ได้ผลดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย

จากรูปที่ 4.17 เมื่อทำการคายซัของเส้นใยทั้ง 10 ครั้ง เส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพสามารถนำกลับมาดูดซับน้ำมันหลังจากการคายซัครั้งแรกได้มากที่สุด ซึ่งมากกว่าร้อยละ 50 และเมื่อเปรียบเทียบกับหลังจากการคายซัครั้งแรก ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใยทั้งสองชนิดก่อน และหลังปรับสภาพ ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 50 ซึ่งเป็นประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ซ้ำที่ต่ำ ไม่เหมาะสมที่จะนำกลับมาดูดซับน้ำมันซ้ำอีกในครั้งต่อไป เนื่องจากการกำจัดน้ำมันบนเส้นใย หรือการคายซัน้ำมันด้วยเครื่องบีบน้ำมัน แรงกดจากการคายซั ทำให้เส้นใยอัดกันเป็นแผ่นมากขึ้น พื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำมันลดน้อยลง จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันลดลง ส่งผลให้ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำมีแนวโน้มลดน้อยลง

#### 4.7 การประยุกต์การดูดซับน้ำมันของเส้นใยในน้ำเสียสังเคราะห์

ทำการทดลองโดยการเก็บน้ำเสียจริงในโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ ที่ปล่อยออกจากท่อน้ำทิ้งรวม มาวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำมันและไขมัน พบว่ามีปริมาณ 1250 มิลลิกรัมต่อลิตร (0.1250 กรัมต่อ 100 มิลลิตร) จากนั้นทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อนำเส้นใยดูดซับน้ำมัน โดยแช่เส้นใยเป็นเวลา 15 นาที แล้วกรองแบบลดความดัน 10 นาที จากนั้นเอาน้ำที่ผ่านการกรองไปสกัดหาค่าปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลืออยู่ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การดูดซับน้ำมันของเส้นใยในน้ำเสียสังเคราะห์

ชนิดของเส้นใย	ความเข้มข้น ของน้ำมัน (g/100 ml)	น้ำหนัก เส้นใย (g)	น้ำหนักน้ำมัน ที่ถูกดูดซับ (g/g)	ร้อยละ ประสิทธิภาพ การกำจัด
ผลปาล์มก่อนปรับสภาพ	0.1253	2.0311	0.0612 ± 0.00	48.84
ผลปาล์มหลังปรับสภาพ	0.1252	2.0472	0.0616 ± 0.01	49.20
นุ่นก่อนปรับสภาพ	0.1256	2.0349	0.0891 ± 0.01	70.94
นุ่นหลังปรับสภาพ	0.1250	2.0749	0.0836 ± 0.00	66.86

จากตารางที่ 4.4 พบว่า เส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันได้ดีที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพที่สามารถดูดซับน้ำมันในเส้นใยได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นใยอีกทั้งสามชนิด จากการคำนวณทางสถิติด้วยการทดสอบของครัสคาล และวัลลิส (The Kruskal-Wallis One-Way Analysis of Variance By Rank Test) พบว่าปริมาณการดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ของเส้นใยทั้ง 4 ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05

#### 4.5 ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยก่อนปรับสภาพ และหลังปรับสภาพ โดยนำเส้นใยดูดซับน้ำมันปริมาตร 100 มิลลิลิตร หรือ 88.03 กรัมโดยประมาณเป็นเวลา 15 นาที นำไปผึ่งไว้อีก 10 นาทีเพื่อกำจัดน้ำมันที่ไม่ถูกดูดซับบนเส้นใย จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อศึกษาน้ำมันที่ถูกดูดซับ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก 5 ข)

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย

ชนิดของเส้นใย	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (g/g)	ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน
ผลปาล์มก่อนปรับสภาพ	1.9226 ± 0.05	4.37
ผลปาล์มหลังปรับสภาพ	2.2645 ± 0.04	5.15
นุ่นก่อนปรับสภาพ	32.8482 ± 0.02	74.67
นุ่นหลังปรับสภาพ	3.8698 ± 0.06	8.80

พบว่า เส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ จำนวน 1 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันได้ 1.9226 กรัม ดังตารางที่ 4.3 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย (แสดงในภาคผนวก ค) เมื่อทำการปรับสภาพ ดูดซับน้ำมันได้เพิ่มขึ้นเป็น 2.2645 กรัม คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้นประมาณ 18 เนื่องจากการปรับสภาพ ทำให้คุณสมบัติความเป็น Hydrophobic เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ FT-IR สเปกตรัมที่ปรากฏหมู่ฟังก์ชัน Si-CH<sub>3</sub> และ Si-O-C ขึ้นภายหลังปรับสภาพ ส่งผลให้เส้นใยดูดซับน้ำได้น้อยลง และผลการทดลองของ TGA ที่แสดงค่าการดูดซับน้ำลดลงของเส้นใย รวมทั้งมุมสัมผัสน้ำบนเส้นใยที่เพิ่มมากขึ้น

และจากตารางที่ 4.3 เส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ จำนวน 1 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันได้ 32.8482 กรัม เมื่อทำการปรับสภาพ ดูดซับน้ำมันได้ลดลงเป็น 3.8698 กรัม ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวขัดแย้งกับการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยทั้ง FT-IR, TGA และมุมสัมผัสน้ำของเส้นใยหลังปรับสภาพ คือเส้นใยต้องมีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic เพิ่มมากขึ้น การดูดซับน้ำมันซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว หรือไม่ชอบน้ำ จึงควรเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่การดูดซับน้ำมันกลับลดน้อยลง เนื่องจากพื้นที่ผิวของเส้นใยลดน้อยลง จากผลการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไตรเมทิลคลอโรไซเลน แม้นเส้นใยจะมีคุณสมบัติความเป็น Hydrophobic เพิ่มขึ้นก็ตาม

เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับน้ำมันของเส้นใยของผลปาล์ม พบว่า เส้นใยหลังปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น สำหรับเส้นใยนุ่นนั้น เส้นใยก่อนปรับสภาพสามารถดูดซับน้ำมันได้มากกว่า เนื่องจากก่อนการปรับสภาพเส้นใยมีลักษณะฟู แต่เมื่อทำการปรับสภาพ เส้นใยมีลักษณะแบน เป็น

## เอกสารอ้างอิง

- กนกพร สังข์รัชช์. 2557. การจัดการวัสดุเศษเหลือและของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม. พิมพ์ครั้งที่ 2 ปรับปรุงแก้ไข. กรุงเทพฯ : แดเน็กซ์.อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น. 229 หน้า.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2559). Available : [http://www.pcd.go.th/public/Publications/print\\_water.cfm?task=Commu09](http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_water.cfm?task=Commu09).
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551. คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมัน จากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับบ้านเรือน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ทีคิวพี.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2559. มาตรฐานคุณภาพน้ำ. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2559). Available : [http://pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_std\\_water04.html#s14](http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s14).
- กัณฑ์พัฒน์ กลีบบุตร. 2558. “การเตรียมการดูดซับจากเปลือกสับประรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี วิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 99 หน้า.
- โกวิทย์ ปิยะมังคลา. 2554. “การดูดซับน้ำมันหล่อเย็นจากกระบวนการตัดกลึงโลหะโดยใช้ขานอ้อยดัดแปรเป็นตัวดูดซับ.” คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 50 หน้า.
- จรรยา ชื่นอารมณ. 2559. โปรแกรม Image J คืออะไร. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2559). Available : <http://comdigest.blogspot.com/2015/10/imagej.html>.
- ฉัตรศิริ ปิยะพิมพ์ลสิทธิ์. 2559. ตารางความแปรปรวน CoCharn. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2559). Available : [www.watpon.com/spss23/spss5.pdf](http://www.watpon.com/spss23/spss5.pdf).
- ช่อทิพย์ ทองอ่อน, นราทิพย์ เจตติลการากร และนิชนันท์ อ่างกชกร. 2552. “การศึกษาการดูดซับและคายซับแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 48 หน้า.
- ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ. 2554. วิสัณฑ์ สิ้นธนนท์กับการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ 1 ไร่ ให้ผลตอบแทนมากกว่าปลูก 3 ไร่ (ตอนที่ 1). [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2559). Available : [http://www.matichon.co.th/news\\_detail.php?newsid=1300680836](http://www.matichon.co.th/news_detail.php?newsid=1300680836).
- ธนาปาล์ม. 2559. ผลิตภัณฑ์ของเรา. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2559). Available : <http://www.thana-pp.com/our-product>.
- จิตรรัตน์ เพรศแก้ว. 2555. “ผลของตัวแปรในกระบวนการโซลเจลต่อสมบัติของฟิล์ม TEOS-SiO<sub>2</sub>-PDMS.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเซรามิก, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นิภาวรรณ แป้นสุวรรณ และสมฤดี รุ่งเรือง. 2554. “การดูดซับน้ำมันออกจากน้ำของเส้นใยมะพร้าวเส้นใยนุ่ม และเส้นใยสังเคราะห์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 43 หน้า.
- นรินาม. 2559. ความแตกต่างระหว่างน้ำมันกับไขมัน. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2559). Available : <http://www.thaieditorial.com>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปิยะพงษ์ อะสะนินิ. วิทยาศาสตร์ของธรรมชาติ: ใบบัวกับการทำความสะอาดตัวเอง. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2559). Available : [http://www.physics.kmutt.ac.th/version2558/information2558/interested\\_topic\\_group/self\\_cleaning\\_leaf.htm](http://www.physics.kmutt.ac.th/version2558/information2558/interested_topic_group/self_cleaning_leaf.htm).
- พอใจ ถาฆาการ. 2555. “การปรับปรุงน้ำมันใช้แล้วโดยกระบวนการดูดซับ และคุณภาพของน้ำมันที่ปรับปรุงเมื่อใช้ทอดและผลิตภัณฑ์จากการทอด” คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 72 หน้า.
- พรชวรารณ ศรีนาค. 2558. ปฏิบัติการเครื่องมือสำหรับงานวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 51-68.
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559. ไขมันและน้ำมัน. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2559). Available : [http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/519+\(Fat+and+Oil\)groupid=160](http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/519+(Fat+and+Oil)groupid=160).
- มหาวิทยาลัยบูรพา. 2559. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM). [Online]. ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2559). Available : <http://www.microscopic.center.sci.buu.ac.th/service-SEM.html>.
- มันสิน และมันรัช ตันทุลเวศม์. 2547. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้าไม่เรียงลำดับ.
- ลดา พันธุ์สุขุมนานา. 2559. เครื่องทดสอบมุมสัมผัส. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2559). Available : <http://ceramic.dss.go.th/index.php/th/service/testing-service/237-contact-angle-measurement>.
- ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2559. การแปรรูปปาล์มน้ำมัน. [Online]. ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2559). Available : [http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical /oil%20palm%20processing.html](http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html).
- สุกิจ อติพันธ์. 2559. เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator). [Online]. ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2559). Available : <http://share.psu.ac.th/blog/sci-discus/18437>.
- สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2559. เทคโนโลยีการสร้างระดับนาโน. [Online]. ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2559). Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>.
- สันทิต ศิริยนันต์ไพบูลย์. 2557. ระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : ท้อป. ๖26 หน้า.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. 2559. ปาล์มน้ำมัน. [Online]. ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2559). Available : <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/controller/index.php>.
- สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2556. ปาล์มน้ำมัน : การปรับปรุงขยายพันธุ์ การปลูกและการจัดการสวน. กรุงเทพฯ : โอ เอส พรินติ้ง เฮาส์. 97 หน้า.
- สำเนียง อภิสันติยาคม, สุธาสินี นิลแสง, พิทยา ถกถักดี และรัตนชล อ่างมณี. 2553. “การบำบัดและการใช้ประโยชน์จากน้ำเสีย” คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์. 236 หน้า.

- เซลลูโลสเพื่อการกำจัดน้ำมัน.” มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 55 หน้า.
- อรรวรรณ รัตนวนงษ์. 2549 “การปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยจากทะเลลายปาล์มเปล่าเพื่อเพิ่มการดูดซับสารไม่มีขั้ว.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 73 หน้า.
- Al Zubaidi, A.H. Isam, Al Tamimi, K. Adil, Ahmed, Hussain. 2016. “Remediation of water from crude oil spill using a fibrous sorbent.” *Environmental Technology & Innovation*. 6 : 105-114.
- John Fuchs. 2011. **Oil and Hydrophobic Films**. [Online]. ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2559). Available : <http://www.ctgclean.com/tech-blog/2011/08/is-it-clean-oil-and-hydrophobic-films-contact-angle-and-beyond>.
- Lean Sigma. 2559. **Chi-Square Table**. [Online]. ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2559). Available : <http://www.keywordsuggestions.com/Y2hplXNxdWFyZSBjaGFydA/>.
- Petch Janto. 2016. **kapok on tree**. [Online]. ]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2559). Available : [http://www.123rf.com/stockphoto/kapok\\_tree.html-mediapopup=39947101](http://www.123rf.com/stockphoto/kapok_tree.html-mediapopup=39947101).
- Sitibadriah11. 2015. **Mencari tau manfaat kelapa sawit**. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2559). Available : <http://obatlukadiabetes.gov7.net/mencari-tau-manfaat-kelapa-sawit>.
- Wang, Jintao, Zheng, Yian, Zhu, Wang, Aiqin, 2013. “Coated kapok fiber for removal of spilled oil.” *Marine Pollution Bulletin*. 69 : 91-96.
- Zheng, Yian, Cao, Enjuan, Zhu, Yongfeng, Wang, Aiqin, Hu, Huimin. 2016. “Perfluoro-silane treated Calotropis gigantea fiber: Instant hydrophobicoleophilic surface with efficient oil-adsorbing performance.” *Chemical Engineering Journal*. 295 : 477-483.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### 1. วิธีการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใย

#### 1.1 เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared : FT-IR)

##### หลักการ

เทคนิคการวิเคราะห์สารด้วยเครื่อง FT-IR เป็นวิธีทางสเปกโตรสโคปีชนิดหนึ่ง que ศึกษาหุม่ ฟังก์ชันของสาร โดยใช้การดูดกลืนแสงของโมเลกุลของสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงรังสี อินฟราเรด (Infrared, IR) ที่มีความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) 0.8-200  $\mu\text{m}$  ซึ่งเป็นรังสีที่มีเลขคลื่นหรือจำนวนคลื่น (Wave number,) 12500-50  $\text{cm}^{-1}$  เมื่อโมเลกุลดูดกลืนแสงอินฟราเรด พันธะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละโมเลกุลจะมีการดูดกลืนแสงในแต่ละช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน

##### ส่วนประกอบของเครื่อง FT-IR



รูปที่ ก.1 ส่วนประกอบของเครื่อง FT-IR

(สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2559)

##### การเตรียมสารตัวอย่าง

สารตัวอย่างที่เป็นของแข็งสามารถเตรียมได้ในรูปของสารละลาย สารแขวนลอย และการอัดเม็ด ส่วนของเหลวสามารถเตรียมได้ทั้งในสภาพของสารบริสุทธิ์ และสารละลาย จากการทดลอง ได้เตรียมสารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง โดยใช้วิธีการบดผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) และอัดเป็นแผ่นบาง (KBr disc) โดยการนำสารตัวอย่าง 2-3 มิลลิกรัม ผสมกับผงโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) หรือ เฮไลต์ตัวอื่น ที่อบแห้ง จำนวน 0.2-0.3 กรัม บดให้เข้ากันแล้วเทใส่ลงในแม่พิมพ์ อัดให้แน่นด้วยความดัน  $10^4$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 15 นาทีจะได้แผ่น KBr ที่มีสารตัวอย่างบรรจุอยู่ (KBr disc) มีลักษณะบางและโปร่งใส ถอดออกจากแม่พิมพ์ด้วยเครื่องมือสำหรับถอดแผ่น KBr ข้อเสียของวิธีนี้คือ แผ่น KBr เปราะ แตกง่าย และดูดความชื้น พีคของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ของน้ำอาจรบกวนการวิเคราะห์

##### วิธีใช้เครื่อง FT-IR รุ่น Spectrum Gx

เครื่อง FT-IR จะต้องเปิดเครื่องอยู่ตลอดเวลาซึ่งจะปรากฏไฟสีเขียวสว่างที่ Power On และ Laser On ที่แผงหน้าปัดของเครื่อง การปฏิบัติงานกับเครื่องสามารถทำได้ดังนี้

1. เปิดเครื่อง UPS ,เครื่อง printer และเครื่อง Computer ใช้ระบบปฏิบัติการ Window 98 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เข้าโปรแกรมควบคุมการ Run คือ Spectrum

3. เมื่อเข้าสู่โปรแกรมควบคุมจะปรากฏหน้าจอขึ้น Please enter your login details ให้คลิก OK

4. คลิกแถบ Instrument ด้านบน เลือก Scan Background เครื่องจะขึ้นว่า Instrument Initialization is require Initailize? ให้คลิก Yes แล้วรอนจนกระทั่งหน้าต่าง Scan Background ปรากฏออกมา (ห้ามกดที่ Halt เด็ดขาด เพราะเป็นการสั่งหยุด (stop))

5. เมื่อหน้าต่าง Scan Background ปรากฏออกมา ให้ตั้งสัญญาณที่จะ Scan เป็น Single Beam (เป็นวงกลมสีดำหน้าข้อความ) พร้อมทั้งตั้งชื่อไฟล์ (File) ที่จะเก็บข้อมูลของการ Scan และให้ตั้งค่าในพารามิเตอร์ (Parameters) ต่างๆ ได้แก่

- Range คือช่วงความยาวคลื่นของการ Scan ตั้งเป็น  $4000-400\text{ cm}^{-1}$

- number of Scan คือจำนวนรอบของการ Scan ตั้งเป็น 6

- Resolution คือ ความละเอียดของสัญญาณการ Scan เป็น 4

เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว ให้ตรวจสอบดูภายในช่องที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample) ต้องไม่มีสารตัวอย่างหรือสิ่งใด ๆ วางอยู่ ให้คลิกที่ OK เครื่องจะทำการ Scan Background

การ Scan Background เป็นการ Scan เพื่อที่จะวัดการดูดกลืนแสง IR ขององค์ประกอบของก๊าซต่าง ๆ และไอในน้ำในส่วนที่แสงเดินทาง

6. ให้ Calibration เครื่อง ก่อนโดยใช้ฟิล์ม Polystyrene เป็น Standard โดยใส่ลงไปในช่อง Sample Compartment ปิดฝาเครื่อง FT-IR ให้เรียบร้อย แล้วคลิกที่แถบ Instrument ด้านบน เลือก Scan Sample หน้าต่าง Scan Sample ปรากฏออกมา ให้ตั้งค่าสัญญาณที่จะ Scan เป็น Ratio (เป็นวงกลมสีดำหน้าข้อความ) คือเป็นการหักค่า Background ออก พร้อมทั้งตั้งชื่อไฟล์ (File) ที่จะเก็บข้อมูลของการ Scan และให้ตั้งค่าในพารามิเตอร์ (Parameters) ต่างๆ ได้แก่

- Range คือช่วงความยาวคลื่นของการ Scan ตั้งเป็น  $4000-400\text{ cm}^{-1}$

- number of Scan คือจำนวนรอบของการ Scan ตั้งเป็น 6

- Resolution คือ ความละเอียดของสัญญาณการ Scan เป็น 4

เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว ให้ตรวจสอบดูภายในช่องที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample) ต้องไม่มีสารตัวอย่างหรือสิ่งใด ๆ วางอยู่ ให้กดที่ OK เครื่องจะทำการ Scan Sample

7. เตรียมสารตัวอย่างที่ต้องการจะวัดจากวิธีการเตรียมตัวอย่างข้างต้น แล้วใส่สารตัวอย่างลงในช่องใส่สารตัวอย่าง (Sample)

8. คลิกแถบ Instrument ด้านบน เลือก Scan Sample เครื่องจะทำการ scan ดังที่ตั้งค่าไว้ จากนั้นเครื่องจะปรากฏ spectrum ออกมา

9. ถ้าต้องการให้แสดงตัวเลขเพิ่มในยอดพีค (Peak) อื่น กดที่ V-Cursor ปรากฏเส้นสีเขียวยาวแนวตั้ง เลื่อนไปในตำแหน่งยอดพีค (Peak) ที่ต้องการแล้ว double click ตัวเลขแสดงตรงยอดพีค (Peak)

10. ถ้าต้องการปรับเปลี่ยนแกน X แกน Y กด Format เติมตัวเลขตามที่ต้องการ คลิก OK ในกรณีที่ไม่สามารถเปลี่ยนตัวเลขใน top กับ bottom ได้ ให้ไปที่ View แล้วคลิกเครื่องหมายถูกที่หน้า Overlay แล้วกลับไปใช้คำสั่ง Format ก็จะสามารถเติมตัวเลขใหม่ได้

11. ต้องการพิมพ์ (Print) เลือกแถบ File -> Print เครื่องจะฟ้องติดตั้งตลับหมึกไม่ถูกต้อง ไม่ต้องกดหรือกระทำการใด ๆ ปล่อยให้เครื่องพิมพ์งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

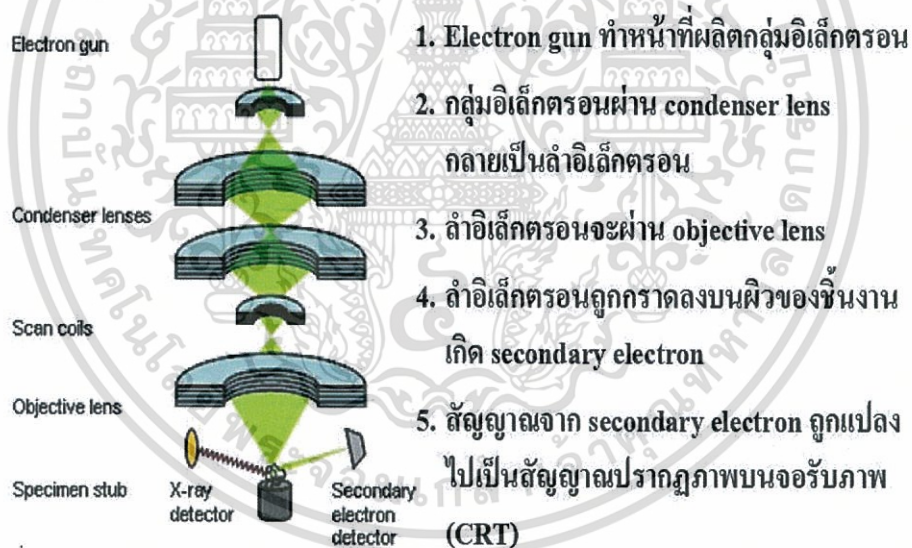
12. เมื่อเสร็จสิ้นการวัดแล้ว ให้นำตัวอย่างออกจากช่อง Sample Compament ของเครื่อง แล้วปิดหน้าต่าง Computer แต่ละหน้า และ Shut Down ปิดเครื่อง Print และเครื่อง UPS ไม่ต้อง ปิดเครื่อง FT-IR

## 1.2 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

### หลักการ

เกิดจากการที่ Primary electron วิ่งไปกระทบพื้นผิวของวัตถุ ทำให้มีการสะท้อนกลับของพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น back-scatter electron รังสีเอ็กซ์ (X-ray) หรือ secondary electron เป็นต้น และในลำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จะมีตัวรับสัญญาณที่ทำหน้าที่รับและเปลี่ยน secondary electron ให้เป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (electrical signal) แล้วส่งสัญญาณไปยังจอภาพ (Cathode ray tube) เพื่อทำให้เกิดภาพที่ตามองเห็นได้ โดยภาพที่ออกมา นั้นจะมีลักษณะ 3 มิติ จากนั้นจะบันทึกภาพลง Photographic

### ส่วนประกอบของเครื่อง SEM



รูปที่ ก.2 หลักการและส่วนประกอบของเครื่อง SEM (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกซ์ (Thermogravimetric analyzer : TGA)

หลักการ

TGA เป็นเทคนิคหนึ่งของการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักความร้อน (Thermal Analysis, TA) นำมาใช้ประโยชน์มากโดยเฉพาะการหาความทนทานต่อความร้อน (thermal stability) และหาองค์ประกอบทางเคมีของสาร

เครื่อง TGA (Thermogravimetric Analyzer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนเทียบกับเวลาหรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ TGA Thermogram

การใช้เครื่อง TGA เพื่อการวิเคราะห์ทดสอบมีอยู่ 2 ประการ ดังนี้

1. ใช้เพื่อศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของปฏิกิริยาทาง kinetics เช่น ปฏิกิริยา decomposition, evaporation และ dehydration
2. ใช้ในการศึกษาหาปริมาณของส่วนประกอบต่าง ๆ ในของผสม ดังต่อไปนี้
  - 2.1 ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของ plasticizers, antioxidants หรือ organic accelerations
  - 2.2 ใช้ในการวิเคราะห์ polymer blends
  - 2.3 ใช้วิเคราะห์ปริมาณของคาร์บอนแบล็ค (carbon black) และตัวเติมอนินทรีย์ (inorganic fillers)

ส่วนประกอบของเครื่อง TGA

1. ส่วนของตัวเครื่อง TGA (the TGA unit itself) ซึ่งประกอบด้วย
  - 1.1 Thermal system หรือ Furnance system เป็นระบบที่ให้ความร้อนกับสารตัวอย่าง โดยอาศัยลวด Platinum ที่ทนต่อความร้อน (Platinum resistance wire heating element) เป็นตัวให้ความร้อน ซึ่งใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง (ambient) ถึง 1200°C อัตราการให้ความร้อน (heating rate) และอุณหภูมิของเตา (furnance) จะถูกควบคุมโดยส่วน Temperature programming
  - 1.2 Sample pan คือภาชนะใส่สารตัวอย่างทำด้วย Platinum ช่วงน้ำหนักใช้ได้ตั้งแต่ 0.02-500 mg full scale.
  - 1.3 Thermocouple คือ เครื่องตรวจวัดความร้อนในเครื่อง TGA มี thermocouple 2 อัน ดังนี้
    - Control Thermocouple ทำด้วยลวด Platinel II. อยู่ในเตาจะเป็นตัววัดอุณหภูมิในเตาเพื่อให้เป็นตามที่ตั้งโปรแกรมไว้
    - Sample Thermocouple ทำด้วยลวด Chromel-Alumel อยู่ชิดกับสารตัวอย่าง จะวัดอุณหภูมิของสารตัวอย่างขณะได้รับความร้อนและปรากฏผลที่ recorder หรือค่าอุณหภูมิที่อยู่บนแกน y ของกราฟ TGA

1.4 Balance system หรือ gravimetric part คือ เครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งอาจจัดว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเครื่อง TGA ได้ ในที่นี้เราใช้เครื่อง TGA ที่มีระบบการชั่งเป็นแบบ Null point balance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนควบคุมหรือโปรแกรมอุณหภูมิพร้อมจอแสดงผล (the temperature programming unit or control unit with screen) ส่วนนี้จะเชื่อมโดยตรงกับส่วนที่ 1 อุณหภูมิหรือความร้อนที่เตาได้รับจะถูกควบคุมด้วย temperature programming โดยทั่วไปจะทำได้ 2 แบบ คือ

2.1 Isothermal Programme เป็นการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนที่คงที่ตลอด เช่น  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  หรือ  $15^{\circ}\text{C}/\text{min}$  เป็นต้น วิธีนี้เหมาะกับการใช้ศึกษาความทนทานต่อความร้อน หรือต่อการถูกออกซิไดส์ของสาร

2.2 Multi-stage Temperature Programme เป็นการใช้โปรแกรมให้ความร้อนเป็นช่วง ๆ (segment)

3. ส่วนบันทึกข้อมูล หรือแสดงผล (the digital plotter, printer) เป็นตัวบันทึกน้ำหนักของสารเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิจะได้ TGA thermogram อุณหภูมิของสารตัวอย่าง และแกน เป็นร้อยละ โดยน้ำหนักของสารตัวอย่าง



รูปที่ ก.3 ส่วนประกอบของเครื่อง TGA

(สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2559)

วิธีการใช้เครื่อง TGA Pyris I

1. เปิดถังวาล์วที่ถังแก๊สไนโตรเจน และถัง Air Zero หมุนวาล์วไปที่ลูกศร open ตรงตัวถัง
2. เปิดวาล์วสีดำ (อยู่บนโต๊ะคอมพิวเตอร์ของเครื่อง TGA มุมซ้ายมือ) สำหรับให้ถังแก๊ส  $\text{N}_2$  เข้าเครื่อง TGA โดยใช้มือดึงฝาวาล์วสีดำออก แล้วหมุนปรับสเกลไปที่ความดัน 20 Psi สำหรับ purge ตัวอย่าง และ 40 Psi สำหรับ purge ระบบ เสร็จแล้วใช้มือดันปิดฝาวาล์วเหมือนเดิม (ที่ตัววาล์วจะมีบอกไว้ว่าตัวไหน purge ตัวอย่างจะเขียนว่า sample และตัวไหนสำหรับ purge ระบบจะเขียนว่า system)
3. เปิดตัวเครื่อง TGA โดยกดปุ่ม On ที่อยู่ข้างหลังเครื่องตรงขวามือด้านล่าง
4. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเปิด stabilization เคส และจอคอมพิวเตอร์ ตามลำดับ
5. ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ดับเบิลคลิกเลือก Pyris Manager
6. ที่มุมบนซ้ายมือจะปรากฏ off line ให้ดับเบิลคลิก offline รอสักครู่จนเป็น online
7. จะปรากฏ 2 หน้า คือ หน้า Method Editor-United และ Instrument Viewer
8. ที่หน้า Method Editor-United มี 4 หัวข้อ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Sample Info 2. Initial State 3.Program 4.View program

9. คลิกเลือก Sample Info ใส่ข้อมูลดังนี้

- Sample ID : ใส่ข้อมูลวันเดือนปี-ตัวอย่างที่
- Operator ID : .ใส่ข้อมูลชื่อผู้ทำการทดลอง
- Comment : ใส่ข้อสารตัวอย่าง

ตรงที่ Enter Sample Weight ให้ใส่ Weight เป็น 0.00 mg และ Zero เป็น 0.00 mW  
 เสมอ ใส่ข้อมูลเสร็จแล้วคลิกเลือก Browse ตั้งชื่อไฟล์พิมพ์ลงใน File name เสร็จแล้วคลิก Save

10. คลิกเลือก Initial State ใส่ข้อมูลดังนี้

- Set Initial Values
- Temperature : ให้ใส่อุณหภูมิเริ่มต้น คือ 50°C
- ตรงที่บล็อก Program จะปรากฏ Initial Temp : 50°C (คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ใส่ใน

หน้า Initial)

- Temperature Program จะเป็น Heat from 50°C to ... °C at ... °C/min

\*\*\* ให้ใส่ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการทำการทดลองลงในช่อง To : ... °C และ heating rate ลงในช่อง Rate : ... °C/min

11. คลิก Add a step (มุมขวามือ) เลือก Temperature scan จะปรากฏ Cool from 900.00°C to ...°C at ...°C/min

\*\*\*ให้ใส่อุณหภูมิลงถึง Initial Temp ในช่อง To : ...°C และ heating rate ลงในช่อง Rate : ...°C/min

12. แขนง Platinum pan (Pl. pan) โดยเกี่ยวตะขอกระเช้า Pl.pan ลงในตะขอเส้น Platinum wire ที่ตัวเครื่อง TGA

13. ยกเตาเผาขึ้น โดยคลิกที่รูป Raise Furnance (ด้านขวามือจอคอมพิวเตอร์)

14. รอจนน้ำหนัก Weight คงที่ คลิกที่รูป Get sample weight zero เพื่อทำให้น้ำหนักเป็นศูนย์

15. ยกเตาเผาลง โดยคลิกที่รูป Low Furnance (ด้านขวามือจอคอมพิวเตอร์)

16. คลิกที่รูป Low Furnance (ด้านขวามือจอคอมพิวเตอร์) เพื่อให้เตาเผาเข้าที่ช่องเก็บ

17. ใช้มือจับแป้นดำผลึกเบา ๆ มารอง Pl.pan จากนั้นใช้ช้อนตักสาร ตักสารตัวอย่างใส่ลงใน Pl.pan (ใส่น้ำหนักสาร 2-5 mg หรือไม่เกิน 100 mg) คูณน้ำหนักสารที่ด้านบนตัวเครื่อง TGA หรือจอคอมพิวเตอร์ ตรงคำว่า weight

18. ยกเตาเผาขึ้น โดยคลิกที่รูป Raise Furnance (ด้านขวามือจอคอมพิวเตอร์)

19. คลิกที่รูป go to temp (ด้านขวามือ) โดยใส่ตัวเลขให้สูงกว่า Initial Temp 5°C เสมอ เช่นอุณหภูมิ Initial Temp. ที่ตั้งไว้ 50°C ต้องใส่ 55°C

20. รอจนอุณหภูมิ Sample Temp. (ดูที่ Menu bar ด้านบน) ขึ้นถึง 50°C

21. คลิก Start ที่รูป Start/Stop (ด้านขวามือรูปบนสุด) เพื่อที่จะสั่งให้อุณหภูมิขึ้น

#### 1.4 เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle analyzer : CTA)

##### หลักการ

การวัดมุมสัมผัสน้ำ (Water contact angles; WCTAs) จะเกิดจากแรงเกาะติดระหว่างโมเลกุลระหว่างของเหลวและของแข็ง (Adhesion force) ซึ่งจะทำให้ของเหลวกระจายตัวไปทั่วพื้นผิว ส่วนแรงยึดติดระหว่างโมเลกุลภายในของเหลวชนิดเดียวกัน (Cohesion force) ซึ่งแรงนี้สามารถรับแรงเค้นดึงได้เล็กน้อย (Tensile stress) จะทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลมและไม่สัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง

##### ส่วนประกอบของเครื่อง CTA



รูปที่ ก.4 ส่วนประกอบของเครื่อง CTA (ลดา, 2559)

##### วิธีการวัดมุมสัมผัส

1. หยดของเหลวจะถูกหยดออกจากหลอดฉีดขนาดเล็กลงบนพื้นผิวของวัสดุที่ต้องการทดสอบ โดยการนำพื้นผิวขึ้นไปสัมผัสกับหยดของของเหลวที่แขวนอยู่ที่ปลายเข็มฉีดเพื่อให้ได้ของเหลวเพียงหยดเดียวที่สัมผัสกับผิววัสดุ แสงจะถูกส่องผ่านด้านหน้าของเหลว
2. ภาพของหยดของเหลวจะตกลงบนฉากรับภาพซึ่งอยู่ด้านหลังหยดของเหลว
3. มุมสัมผัสจะถูกวัดโดยใช้แกนวัดมุม (Protractor) ที่ติดอยู่กับฉากรับภาพ

#### 1.5 เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator)

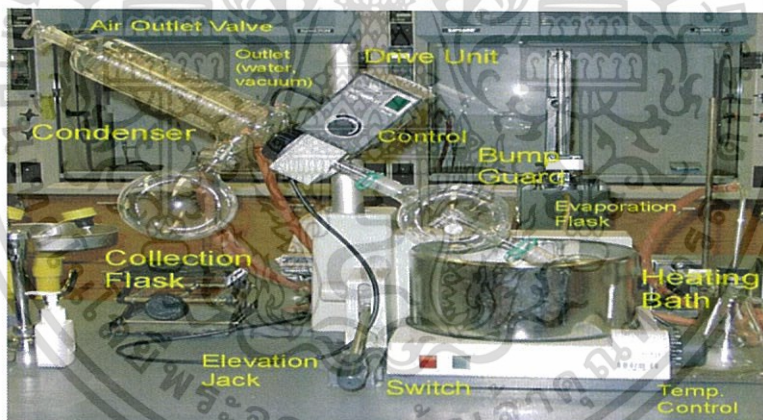
##### หลักการ

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระเหยสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวโดยการกลั่นเพื่อแยกตัวทำละลายที่ผสมอยู่ออกจากสารที่ต้องการ ทำให้สารที่ต้องการเข้มข้นขึ้น โดยตัวทำละลายที่ละลายสารที่ต้องการจะถูกทำให้กลายเป็นไอ ด้วยระบบสุญญากาศจาก pump และให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง เพื่อให้การกลายเป็นไอดีง่ายขึ้น จากนั้นไอสารละลายจะผ่าน condenser ที่มีระบบหล่อเย็น ทำให้ไอสารควบแน่นกลายเป็นของเหลวไหลลงสู่ receiving flask

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่อง Rotary Evaporator

1. ส่วนให้ความร้อนและกลั่นแยกสาร (Rotary Evaporator)
  - 1.1 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระเหยสารตัวอย่าง โดยกลั่นเพื่อแยกตัวทำละลายที่ผสมอยู่
  - 1.2 สามารถควบคุมความเร็วในการหมุนได้
  - 1.3 มีอ่างให้ความร้อนที่สามารถใช้กับของเหลวที่เป็นน้ำหรือน้ำมัน ในกรณีน้ำช่วงที่เหมาะสมตั้งแต่ 20°C ถึง 85°C และใช้ได้ถึง 250°C ในกรณีน้ำมัน
2. ส่วนทำสุญญากาศภายในระบบ
  - 2.1 เป็นส่วนทำสุญญากาศภายในระบบส่วนใหญ่เป็นแบบ Pump สุญญากาศ
  - 2.2 เครื่องในปัจจุบันควบคุมความดันแบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถควบคุมความดันได้ตั้งแต่ความดันบรรยากาศถึง 0 mbar
  - 2.3 เครื่องรุ่นใหม่ จะมีระบบ condenser ชุดที่สอง ในการควบคุมตัวทำละลายที่ระเหยผ่าน condenser ชุดที่หนึ่งออกมา
3. ส่วนควบคุมอุณหภูมิภายในระบบ
  - 3.1 เป็นอ่างน้ำหมุนเวียนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง
  - 3.2 ช่วงปรับอุณหภูมิที่เหมาะสม ควรอยู่ในช่วงที่น้ำอยู่ในสถานะของเหลว (มากกว่า 0°C แต่ไม่เกิน 10°C)



รูปที่ ก.5 ส่วนประกอบของเครื่อง Rotary Evaporator (สุกิจ, 2559)

วิธีการใช้เครื่อง Rotary Evaporator

1. เติมน้ำลงไปให้อ่างให้ความร้อน
2. เปิดสวิตช์ ส่วนให้ความร้อน ในส่วนของอ่างให้ความร้อน ตั้งค่าอุณหภูมิตามต้องการ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดตัวทำละลายที่ต้องการระเหยออก
3. เปิดสวิตช์ ส่วนควบคุมอุณหภูมิภายในระบบ ตั้งค่าอุณหภูมิหล่อเย็นตามต้องการ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดตัวทำละลายที่ต้องการระเหยออก
4. เมื่อได้อุณหภูมิตามต้องการให้ใส่ตัวอย่างลงไปใน Evaporating flask ซึ่งจะอยู่ในส่วนให้ความร้อน โดยปากขวดจะต่อกับส่วนหมุน ส่วนก้นขวดจมอยู่ในอ่างให้ความร้อน
5. เปิดสวิตช์ ส่วนหมุน จากนั้นปรับอัตราการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

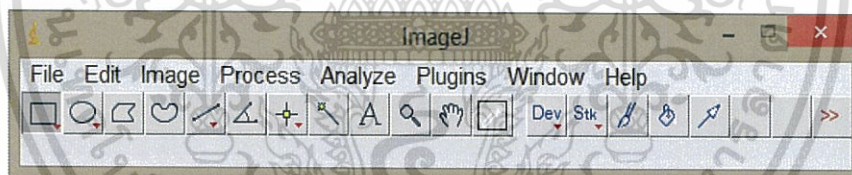
6. เปิดสวิตช์ ส่วนทำสุญญากาศ pump เริ่มทำงาน
7. เปิดสวิตช์ ชุดควบคุมความดันแบบอิเล็กทรอนิกส์ ตั้งค่าความดัน โดย set ค่าได้จากหน้าจอที่ปรากฏ โดยการตั้งค่าความดันจะขึ้นอยู่กับชนิดตัวทำละลายที่ต้องการระเหยออก จากนั้นสั่ง start จากปุ่มหน้าจอ
8. เมื่อตัวทำละลายระเหยได้ตามที่ต้องการ ให้เอาสารออกจาก Evaporating flask และทำตัวทำละลายที่ระเหยออกมาได้ใน Receiving flask ไปทิ้งใน waste ที่เหมาะสมตามชนิดตัวทำละลาย เหนือในอ่างให้ความร้อนทิ้ง
9. ปิดระบบ โดยปิดระบบย้อนศรกลับจากวิธีการเปิดระบบ

## 1.6 การวิเคราะห์ขนาดของรูพรุนด้วยโปรแกรม Image J

หลักการ

เป็นการวัดระยะหรือพื้นที่ของวัตถุบนภาพที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ทั่วไป (microscope) หรือกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) โดยสามารถคำนวณสัดส่วนพื้นที่และพื้นที่ของวัตถุบนภาพในหน่วยพิกเซล (pixel) หรือหน่วยพื้นที่ตามมาตรฐาน เช่น ตารางมิลลิเมตร ตารางไมโครเมตร ตารางนาโนเมตร เป็นต้น วัดระยะความยาวของวัตถุบนภาพ วัดความหนาแน่นของรูปภาพ แล้วแสดงในรูปแบบแผนภูมิแท่ง จัดทำค่าต่าง ๆ ในรูปแบบทางสถิติได้

หน้าต่างของโปรแกรม Image J



รูปที่ ก.6 โปรแกรม Image J (จรรยา, 2559)

วิธีใช้โปรแกรม Image J

1. เปิด File -> Open...(เลือกภาพที่ต้องการ) การวัดจะต้องเปลี่ยนภาพให้เป็นสีขาว-ดำ (B & W) ก่อน ในกรณีที่ภาพถ่ายเป็นภาพสี (RGB) แต่ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นภาพสีขาว-ดำ ต้องทำการ Calibrate ภาพเสียก่อน
2. การ Calibrate ภาพ ทำได้โดย คลิกแถบ Analyze -> Set Scale จะปรากฏหน้าต่าง ดังนี้
  - Distance in pixels : ..... (ใส่เลข 1024)
  - Known distance : ..... (ใส่เลข 175)
  - Pixel aspect ratio : ..... (ใส่เลข 1)
  - Unit of length : ..... (ใส่หน่วย เช่น  $\mu\text{m}$ )
 แล้วคลิกที่ OK ภาพ Calibrate เรียบร้อย
3. คลิกแถบ Image -> Duplicate..... -> OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หลังจากทำการ Calibrate ภาพ เรียบร้อยแล้ว ในกรณีภาพสี (RGB) สามารถเปลี่ยนเป็น ภาพขาว-ดำ (B & W) ได้โดยคลิกแถบ Image -> Type -> 8 bit จะได้ภาพขาว-ดำ (B & W) ออกมา

5. ใช้วิธีการปรับ Filter ภาพประยุกต์กับการทำ Threshold ภาพ คือ

5.1 ทำการปรับ Filter ภาพ โดยคลิกแถบ Process -> FFT -> Bandpass Filter.....จะปรากฏหน้าต่าง ดังนี้

- Filter large structures down to : ..... pixel (ใส่ 160)
- Filter small structures down to : ..... pixel (ใส่ 3)
- Suppress stripes : ..... (เลือก None)
- Tolerance of direction : ..... % (ใส่ 5)
- ทำเครื่อง  ลงในช่อง  หน้าข้อความ Autoscale after filtering และหน้า

ข้อความ Saturate image when autoscaling แล้วคลิก OK

5.2 ประยุกต์ใช้กับการทำ Threshold คลิกแถบ Image -> Adjust -> Threshold จะปรากฏหน้าต่าง เลือกแถบช่องซ้ายที่คำว่า Huang และแถบช่องขวาที่คำว่า Over/Under จากนั้นเลื่อนแถบยาวแถบล่างไปตรงตำแหน่งที่ต้องการ คลิกปุ่ม Apply ต่อมาเลือกแถบขวาเป็น B & W คลิก Apply ปิดหน้าต่าง Threshold

6. คลิกแถบ Analyze -> Set Measurements -> ทำเครื่องหมาย  ลงในช่อง  หน้าข้อความ Area คลิก OK

7. คลิกแถบ Analyze -> Analyze Particles จะปรากฏหน้าต่าง ดังนี้

- Size ( $\mu\text{m}^2$ ) : ..... (ใส่ 5-infinity)
- Pixel units
- Circularity : ..... (ใส่ 0.00-1.00)
- Show : ..... (เลือก Overlay Outline)

จากนั้นทำเครื่องหมาย  ลงในช่อง  หน้าข้อความ Display results, ข้อความ Clear results และข้อความ Add to manage แล้วคลิก OK

### 1.7 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมัน

1. สำหรับไม่สามารถทดสอบตัวอย่างน้ำได้ทันทีให้เก็บรักษาภาชนะตัวอย่างด้วยกรดกำมะถัน ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 2 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่าง น้ำ 1 ลิตร pH < 2 แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $4 \pm 2$  °C ซึ่งเก็บรักษาไว้ได้นาน 28 วัน

2. นำขามระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาตั้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desiccator Auto Dry Box) ชั่งน้ำหนักและบันทึก (E) แล้วนำไปเก็บไว้ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติตามเดิม

3. นำตัวอย่างออกมาตั้งไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

4. ตรวจสอบ pH ของตัวอย่างด้วยกระดาษทดสอบ pH ซึ่งต้องน้อยกว่า 2 หาก pH มากกว่า 2 ให้ปรับ pH โดยให้ใช้กรดกำมะถันเข้มข้น ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) จน pH ได้น้อยกว่า 2

5. เขย่าขวดตัวอย่างออกมาตั้งให้น้ำเข้ากัน เทน้ำลงในกระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 1000 มิลลิลิตร บันทึกปริมาตรที่ใช้ (ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ไม่เกิน 1000 มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เทตัวอย่างลงในกรวยแยก (Separatory funnel) ขนาด 2000 มิลลิลิตร เติมเฮกเซน ( $C_6H_{14}$ ) 40 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยก
7. เขย่ากรวยแยก (Separatory funnel) ด้วยเครื่องเขย่าสารละลาย (Shaker) ประมาณ 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น
8. พักกระดาษกรองวางลงบนกรวยกรอง (Funnel) เทโซเดียมซัลเฟต ( $Na_2SO_4$ ) ลงบนกระดาษกรองประมาณครึ่งหนึ่งของความจุกรวย
9. โข้นน้ำลงในขวดตัวอย่างเดิมแล้วโข้นเฮกเซน ( $C_6H_{14}$ ) ผ่านลงบนกรวยกรอง (Funnel) ที่มีโซเดียมซัลเฟต ( $Na_2SO_4$ ) ลงในชามระเหย
10. ทำซ้ำตามขั้นตอน 6-9 อีก 2 ครั้ง เก็บชั้นเฮกเซน ( $C_6H_{14}$ ) ที่สกัดได้รวมกันในชามระเหยเดิม
11. นำไประเหยให้แห้งบนเครื่องอังน้ำ (Water bath) ที่อุณหภูมิ  $80 \pm 5$  °C ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นอีโนมัต
12. ชั่งน้ำหนัก โดยชั่งน้ำหนัก 2 ครั้งให้ค่าต่างกันไม่เกิน 0.0005 g ถ้ามากกว่านี้ให้ชั่งครั้งที่ 3 เพื่อหาค่าที่ใกล้เคียงกัน 2 ค่า แล้วนำค่าที่น้อยกว่ามาใช้ในการคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## ผลการทดลอง

## 1. ลักษณะของเส้นใย

## 1.1 เส้นใยของผลปาล์ม



(ก)

(ข)

รูปที่ ข.1 เส้นใยของผลปาล์มก่อน และหลังปรับสภาพ ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

## 1.2 เส้นใยนุ่น



(ก)

(ข)

รูปที่ ข.2 เส้นใยนุ่นก่อน และหลังปรับสภาพ ((ก) ก่อนปรับสภาพ, (ข) หลังปรับสภาพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย

### 2.1 การดูคลื่นรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ

ตารางที่ ข.1 การดูคลื่นรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ

	Type of vibration	Frequency (cm <sup>-1</sup> )	Wavelength (μ)	Intensity	
C-H	Alkanes (stretch)	3000-2850	3.33-3.51	s	
	-CH <sub>3</sub> (bend)	1450 and 1375	6.90 and 7.27	m	
	-CH <sub>2</sub> - (bend)	1465	6.83	m	
	Alkene (stretch)	3100-3000	3.23-3.33	m	
	(out of plane bend)	1000-650	10.0-15.3	s	
	Aromatics	(stretch)	3150-3.50	3.17-3.28	s
		(out of plane bend)	500-650	11.1-14.5	s
	Alkyne (stretch)	ca. 3300	ca. 3.03	s	
	Aldehyde		2900-2800	3.45-3.57	w
			2600-2700	3.67-3.70	w
C-C	Alkane	not interpretatively useful			
C=C	Alkene	1680-1600	5.95-6.25	m-w	
	Aromatic	1600 and 1475	6.25 and 6.78	m-w	
C≡C	Alkyne	2250-2100	4.44-4.76	m-w	
C=O	Aldehyde	1740-1720	5.75-5.81	s	
	Ketone	1725-1705	5.80-5.87	s	
	Carboxylic acid	1725-1700	5.80-5.88	s	
	Ester	1750-1730	5.71-5.78	s	
	Amide	1670-1640	6.00-6.10	s	
	Anhydride	1810 and 1760	5.52 and 5.68	s	
	Acid Chloride	1800	5.56	s	
C-O	Alcohols, Ethers, Esters	1300-1000	7.69-10.0	s	
	Carboxylic Acids, Anhydrides				
O-H	Alcohols, Phenols				
	Free	3650-3600	2.74-2.78	m	
	H-Bonded	3500-3200	2.85-3.13	m	
	Carboxylic Acids	3400-2400	2.94-1.17	m	
N-H	Primary and Secondary Amines	3500-3100	2.85-3.23	m	
	and Amides (stretch)				
	(bend)	1640-1550	6.10-6.45	m-s	
C-N	Amines	1350-1000	7.4-10.0	m-s	
C=N	Imines and Oximes	1680-1640	5.92-6.10	w-s	
C≡N	Nitriles	2260-2240	4.42-4.46	m	
N=O	Nitro (R-NO <sub>2</sub> )	1550 and 1350	6.45 and 7.40	s	
S-H	Mercaptans	2550	3.92	w	
C-X	Fluoride	1400-1000	7.14-10.0	s	
	Chloride	600-500	12.5-18.0	s	
	Bromide, Iodide	<667	>15.0	s	

ที่มา : พรชวรรณ (2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. การดูดซับน้ำของเส้นใย

ตารางที่ ข.2 การดูดซับน้ำของเส้นใย

ชนิดของเส้นใย	น้ำหนักเส้นใยเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ร้อยละน้ำหนักของน้ำที่หายไป	น้ำหนักเส้นใยสุดท้าย (มิลลิกรัม)	น้ำหนักของน้ำที่เส้นใยดูดซับได้ (มิลลิกรัม)	ปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใย (มิลลิกรัมน้ำต่อมิลลิกรัมเส้นใย)
ผลปาล์มก่อนปรับสภาพ	10.2320	40.1326	4.1064	6.1256	1.4917
ผลปาล์มหลังปรับสภาพ	8.3290	67.1023	5.5890	2.7400	0.4903
นุ่นก่อนปรับสภาพ	5.0030	69.3250	3.4683	1.5347	0.4425
นุ่นหลังปรับสภาพ	30.6850	77.4379	23.7618	6.9232	0.2914

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. การวัดมุมสัมพัทธ์ของเส้นใย

ตารางที่ ข.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของเส้นใย

ชนิดของเส้นใย		มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
		ซ้าย	ขวา	เฉลี่ย
ผลปาล์ม ก่อนปรับสภาพ	ครั้งที่ 1	97.41	93.98	95.70
	ครั้งที่ 2	97.35	93.92	95.63
	ครั้งที่ 3	97.32	93.83	95.57
	เฉลี่ย	97.36	93.91	95.57±0.06
ผลปาล์ม หลังปรับสภาพ	ครั้งที่ 1	102.29	102.29	102.29
	ครั้งที่ 2	102.37	102.37	102.37
	ครั้งที่ 3	103.18	103.18	103.18
	เฉลี่ย	102.61	102.61	102.61±0.49
นุ่นก่อนปรับสภาพ	ครั้งที่ 1	137.85	138.01	137.93
	ครั้งที่ 2	137.93	138.09	138.01
	ครั้งที่ 3	137.89	138.05	137.97
	เฉลี่ย	137.89	138.05	137.97±0.04
นุ่นหลังปรับสภาพ	ครั้งที่ 1	168.17	168.16	168.16
	ครั้งที่ 2	168.20	168.19	168.19
	ครั้งที่ 3	168.15	168.13	168.14
	เฉลี่ย	168.17	168.16	168.17±0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย

### 5.1 เส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ

ตารางที่ ข.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้งของเส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเปียกของเส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเส้นใยหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมไขมัน/กรัมเส้นใย)	เฉลี่ย	ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ	เฉลี่ย
1	1	2.0003	2.0004	5.7389	5.8464	4.8574	4.9760	3.7386	3.8460	1.8690	1.9226	23.5783	22.6430
	2	2.0004		5.8737		5.0201		3.8733		1.9363		22.0375	
	3	2.0005		5.9267		5.0506		3.9262		1.9626		22.3131	
2	1	4.8574	4.9760	5.8737	5.9531	5.2520	5.2875	1.0163	0.9771	0.2092	0.1965	16.0505	16.8359
	2	5.0201		5.8792		5.2021		0.8591		0.1711		17.4560	
	3	5.0506		6.1065		5.4084		1.0559		0.2091		17.0011	
3	1	5.2520	5.2875	5.9291	6.0405	5.3847	5.4522	0.6771	0.7530	0.1289	0.1425	13.8566	14.5489
	2	5.2021		6.0339		5.4407		0.8318		0.1599		14.7065	
	3	5.4084		6.1585		5.5313		0.7501		0.1387		15.0834	
4	1	5.3847	5.4522	5.4166	5.6912	4.8430	5.1170	0.0319	0.2390	0.0059	0.0437	16.7901	15.6049
	2	5.4407		5.8562		5.3061		0.4155		0.0764		14.2664	
	3	5.5313		5.8009		5.2020		0.2696		0.0487		15.7580	
5	1	4.8430	5.1170	5.5437	5.6683	4.9431	5.0954	0.7007	0.5513	0.1447	0.1087	16.9498	15.6351
	2	5.3061		5.7739		5.1713		0.4678		0.0882		15.9688	
	3	5.2020		5.6874		5.1717		0.4854		0.0933		13.9866	

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนัก แห้งของ เส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนัก เปียกของ เส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเส้นใย หลังการคาย ซึบ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนัก ของน้ำมัน ที่ถูกดูดซึบ (กรัม)	เฉลี่ย	ความสามารถในการ ดูดซึบน้ำมัน (กรัมไขมัน/กรัมเส้นใย)	เฉลี่ย	ร้อยละการนำ กลับมาใช้ซ้ำ	เฉลี่ย
6	1	4.9431	5.0954	5.6931	5.8626	5.1268	5.3218	0.7500	0.7672	0.1517	0.1506	15.3352	14.1036
	2	5.1713		6.2394		5.7303		1.0681		0.2065		12.0096	
	3	5.1717		5.6553		5.1083		0.4836		0.0935		14.9658	
7	1	5.1268	5.3218	5.6161	5.7929	5.0847	5.2837	0.4893	0.4711	0.0954	0.0909	14.6966	13.4560
	2	5.7303		5.9061		5.3982		0.1758		0.0307		13.0037	
	3	5.1083		5.8566		5.3681		0.7483		0.1465		12.6676	
8	1	5.0847	5.2837	5.7097	5.7798	5.1482	5.1736	0.6250	0.4961	0.1229	0.0945	15.1372	16.0370
	2	5.3982		5.6625		5.0493		0.2643		0.0490		16.7440	
	3	5.3681		5.9671		5.3233		0.5990		0.1116		16.2297	
9	1	5.1482	5.1736	5.5566	5.6296	4.9190	5.0392	0.4084	0.4560	0.0793	0.0889	17.9287	16.2912
	2	5.0493		5.7339		5.1724		0.6846		0.1356		15.0391	
	3	5.3233		5.5984		5.0261		0.2751		0.0517		15.9056	
10	1	4.9190	5.0392	5.5321	5.5632	4.8638	4.9410	0.6131	0.5240	0.1246	0.1041	18.9224	17.4246
	2	5.1724		5.7393		5.0617		0.5669		0.1096		18.1225	
	3	5.0261		5.4181		4.8976		0.3920		0.0780		15.2291	

## 5.2 เส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ

ตารางที่ ข.5 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใยของผลปาล์มหลังปรับสภาพ

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้งของเส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเปียกของเส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเส้นใยหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมไขมัน/กรัมเส้นใย)	เฉลี่ย	ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ	เฉลี่ย
1	1	2.0004	2.0005	6.7928	6.5308	5.6357	5.3937	4.7924	4.5302	2.3957	2.2645	24.1445	25.1325
	2	2.0008		6.3469		5.2083		4.3461		2.1722		26.1958	
	3	2.0004		6.4526		5.3370		4.4522		2.2257		25.0573	
2	1	5.6357	5.3937	6.752	6.5959	5.6568	5.5630	1.1163	1.2022	0.1981	0.2240	23.0491	22.5046
	2	5.2083		6.8147		5.7869		1.6064		0.3084		21.3489	
	3	5.3370		6.2209		5.2453		0.8839		0.1656		23.1157	
3	1	5.6568	5.5630	6.8908	6.9239	5.6777	5.7548	1.234	1.3609	0.2181	0.2462	24.8057	23.7540
	2	5.7869		7.0545		5.8951		1.2676		0.2190		22.9398	
	3	5.2453		6.8264		5.6915		1.5811		0.3014		23.5164	
4	1	5.6777	5.7548	6.8913	6.7524	5.6434	5.5360	1.2136	0.9977	0.2137	0.1733	25.5147	25.6150
	2	5.8951		6.9820		5.7217		1.0869		0.1844		25.2991	
	3	5.6915		6.3840		5.2429		0.6925		0.1217		26.0311	
5	1	5.6434	5.5360	7.0098	6.7098	5.661	5.4111	1.3664	1.1738	0.2421	0.2133	26.9254	27.5978
	2	5.7217		6.5564		5.2711		0.8347		0.1459		28.2112	
	3	5.2429		6.5631		5.3012		1.3202		0.2518		27.6569	

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนัก แห้งของ เส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนัก เปียกของ เส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเส้นใย หลังการคาย ซึบ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนัก ของน้ำมัน ที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	ความสามารถในการ ดูดซับน้ำมัน (กรัมไขมัน/กรัมเส้นใย)	เฉลี่ย	ร้อยละการนำ กลับมาใช้ซ้ำ	เฉลี่ย
6	1	5.6610	5.4111	6.3372	6.3637	4.9368	5.0029	0.6762	0.9526	0.1194	0.1774	32.2911	31.1619
	2	5.2711		6.3013		5.0903		1.0302		0.1954		28.1569	
	3	5.3012		6.4526		4.9817		1.1514		0.2172		33.0376	
7	1	4.9368	5.0029	6.0319	5.9603	4.8414	4.7752	1.0951	0.9574	0.2218	0.1919	29.5300	29.9896
	2	5.0903		5.7642		4.546		0.6739		0.1324		32.3662	
	3	4.9817		6.0848		4.9382		1.1031		0.2214		28.0727	
8	1	4.8414	4.7752	6.0198	5.7983	4.8421	4.6744	1.1784	1.0231	0.2434	0.2155	29.3004	29.6028
	2	4.546		5.6989		4.6117		1.1529		0.2536		29.3957	
	3	4.9382		5.6763		4.5694		0.7381		0.1495		30.1124	
9	1	4.8421	4.6744	5.9018	5.6454	4.7682	4.5681	1.0597	0.9710	0.2189	0.2075	29.0562	29.6081
	2	4.6117		5.6023		4.6012		0.9906		0.2148		27.7937	
	3	4.5694		5.4322		4.3349		0.8628		0.1888		31.9745	
10	1	4.7682	4.5681	5.7954	5.5479	4.6799	4.4649	1.0272	0.9798	0.2154	0.2146	29.3939	30.6220
	2	4.6012		5.5625		4.5171		0.9613		0.2089		29.3479	
	3	4.3349		5.2859		4.1976		0.951		0.2194		33.1243	

## 5.3 เส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ

ตารางที่ ข.6 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใยนุ่นก่อนปรับสภาพ

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้งของเส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเปียกของเส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเส้นใยหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมไขมัน/กรัมเส้นใย)	เฉลี่ย	ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ	เฉลี่ย
1	1*	2.0009*	2.0011	67.0784*	68.0563	24.7125*	25.0964	65.0775*	65.0553	32.5241*	33.0103	65.1007*	65.0390
	2	2.0014		68.0368		25.1941		66.0354		32.9946		64.8779	
	3	2.0007		68.0758		24.9951		66.0751		33.0260		65.1998	
2	1	24.7125	24.9672	60.409	61.6354	25.1801	24.9807	35.6965	36.6682	1.4445	1.4686	60.3151	61.4508
	2	25.1941		61.623		24.918		36.4289		1.4459		61.5627	
	3	24.9951		62.8743		24.8439		37.8792		1.5155		62.4746	
3	1	25.1801	24.9807	60.7458	60.9914	30.8958	31.0284	35.5657	36.0108	1.4125	1.4417	50.8129	50.7879
	2	24.918		60.6028		31.3671		35.6848		1.4321		49.8887	
	3	24.8439		61.6257		30.8223		36.7818		1.4805		51.6621	
4	1	30.8958	31.0284	61.2785	60.6829	28.4468	27.9025	30.3827	29.6545	0.9834	0.9558	55.3864	55.8655
	2	31.3671		60.8553		28.064		29.4882		0.9401		55.7160	
	3	30.8223		59.9148		27.1968		29.0925		0.9439		56.4942	
5	1	28.4468	27.9025	60.0315	60.4992	30.1233	31.2446	31.5847	32.5967	1.1103	1.1693	51.5387	50.0265
	2	28.064		60.3567		30.0938		32.2927		1.1507		51.8593	
	3	27.1968		61.1094		33.5166		33.9126		1.2469		46.6816	

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนัก แห้งของ เส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนัก เปียกของ เส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเส้น ใยหลังการ คายซึบ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนัก ของน้ำมันที่ ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	ความสามารถในการ ดูดซับน้ำมัน (กรัมไขมัน/กรัมเส้นใย)	เฉลี่ย	ร้อยละการนำ กลับมาใช้ซ้ำ	เฉลี่ย
6	1	30.1233	31.2446	60.33979	59.8760	28.2462	27.5709	30.2165	28.6314	1.0031	0.9211	55.0123	55.8150
	2	30.0938		59.2932		28.0616		29.1994		0.9703		54.5127	
	3	33.5166		59.9949		26.4049		26.4783		0.7900		57.9198	
7	1	28.2462	27.5709	58.2864	58.7088	29.2625	29.8357	30.0402	31.1379	1.0635	1.1317	51.5655	50.9217
	2	28.0616		58.6622		29.2671		30.6006		1.0905		51.8786	
	3	26.4049		59.1777		30.9776		32.7728		1.2412		49.3209	
8	1	29.2625	29.8357	57.099	57.1379	28.681	28.4070	27.8365	27.3022	0.9513	0.9163	51.5771	52.1060
	2	29.2671		56.8986		28.4959		27.6315		0.9441		51.7375	
	3	30.9776		57.4162		28.0442		26.4386		0.8535		53.0034	
9	1	28.681	28.4070	56.8897	56.4370	29.3507	29.1929	28.2087	28.0299	0.9835	0.9869	50.1723	50.0505
	2	28.4959		55.7805		28.5667		27.2846		0.9575		50.6025	
	3	28.0442		56.6407		29.6614		28.5965		1.0197		49.3766	
10	1	29.3507	29.1929	58.7051	58.4966	32.241	32.1155	29.3544	29.3036	1.0001	1.0042	46.6704	46.6940
	2	28.5667		58.223		32.4526		29.6563		1.0381		45.8368	
	3	29.6614		58.5616		31.653		28.9002		0.9743		47.5747	

หมายเหตุ : \* ไม่คำนวณค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และค่าเฉลี่ยร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ

## 5.4 เส้นใยนุ่นหลังปรับสภาพ

ตารางที่ ข.7 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใยนุ่นหลังปรับสภาพ

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้งของเส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเปียกของเส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเส้นใยหลังการคายซับ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)	เฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมไขมัน/กรัมเส้นใย)	เฉลี่ย	ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ	เฉลี่ย
1	1	2.0015	2.0013	9.8764	9.7458	7.8643	7.7475	7.8749	7.7445	3.9345	3.8698	25.5508	25.8090
	2	2.0006		9.7383		7.785		7.7377		3.8677		25.2469	
	3	2.0018		9.6228		7.5933		7.6210		3.8071		26.6293	
2	1	7.8643	7.7475	9.7010	9.6809	7.4702	7.4199	1.8367	1.9334	0.2335	0.2494	28.9733	29.3515
	2	7.7850		10.0127		7.4006		2.2277		0.2862		32.6056	
	3	7.5933		9.3290		7.389		1.7357		0.2286		26.4756	
3	1	7.4702	7.4199	9.7999	9.5731	8.0993	7.7093	2.3297	2.1531	0.3119	0.2901	21.8070	24.6535
	2	7.4006		9.5054		7.457		2.1048		0.2844		27.2978	
	3	7.3890		9.4139		7.5715		2.0249		0.2740		24.8556	
4	1	8.0993	7.7093	9.9962	9.7545	7.838	7.4484	1.8969	2.0452	0.2342	0.2664	26.9954	29.8062
	2	7.4570		9.9800		7.5393		2.5230		0.3383		30.5910	
	3	7.5715		9.2872		6.968		1.7157		0.2266		31.8322	
5	1	7.8380	7.4484	9.5576	9.1578	7.4137	7.1524	1.7196	1.7094	0.2194	0.2300	28.3731	28.0922
	2	7.5393		9.2589		7.4312		1.7196		0.2281		25.1840	
	3	6.9680		8.6569		6.6124		1.6889		0.2424		30.7194	

ครั้งที่	ซ้ำที่	น้ำหนักแห้งของเส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเปียกของเส้นใย (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักเส้นใยหลังการคายซึบ (กรัม)	เฉลี่ย	น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซึบ (กรัม)	เฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซึบน้ำมัน (กรัมไขมัน/กรัมเส้นใย)	เฉลี่ย	ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ	เฉลี่ย
6	1	7.4137	7.1524	8.8830	8.5685	6.8707	6.8252	1.4693	1.4161	0.1982	0.1998	29.2422	26.4571
	2	7.4312		8.5756		6.8352		1.1444		0.1540		26.4736	
	3	6.6124		8.2470		6.7696		1.6346		0.2472		23.6554	
7	1	6.8707	6.8252	8.7087	8.5585	6.9805	6.8196	1.8380	1.7333	0.2675	0.2538	25.7663	26.6449
	2	6.8352		8.8062		7.2037		1.9710		0.2884		23.5499	
	3	6.7696		8.1605		6.2747		1.3909		0.2055		30.6186	
8	1	6.9805	6.8196	8.5358	8.3542	6.7255	6.7567	1.5553	1.5346	0.2228	0.2295	27.7046	25.1203
	2	7.2037		8.1826		6.6295		0.9789		0.1359		25.1266	
	3	6.2747		8.3442		6.9152		2.0695		0.3298		22.5298	
9	1	6.7255	6.7567	8.4013	8.5578	6.4362	6.7170	1.6758	1.8011	0.2492	0.2671	30.7056	28.1027
	2	6.6295		8.7232		6.8828		2.0937		0.3158		27.3800	
	3	6.9152		8.5489		6.832		1.6337		0.2362		26.2226	
10	1	6.4362	6.7170	7.7972	8.3093	6.31	6.7415	1.3610	1.5923	0.2115	0.2364	25.6604	24.8413
	2	6.8828		9.0893		7.2964		2.2065		0.3206		25.2956	
	3	6.8320		8.0415		6.618		1.2095		0.1770		23.5679	

## 5.5 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย

ตารางที่ ข.8 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของเส้นใย	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมไขมัน/กรัมเส้นใย)									
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10
ผลปาล์ม ก่อนปรับสภาพ	1.9226	0.1965	0.1425	0.0437	0.1087	0.1506	0.0909	0.0945	0.0889	0.1041
ผลปาล์ม หลังปรับสภาพ	2.2645	0.2240	0.2462	0.1733	0.2133	0.1591	0.1919	0.2155	0.2075	0.2146
นุ่นก่อนปรับสภาพ	32.8482	1.4686	1.4417	0.9558	1.1693	0.9211	1.1317	0.9163	0.9869	1.0042
นุ่นหลังปรับสภาพ	3.8698	0.2494	0.2901	0.2664	0.2300	0.1998	0.2538	0.2295	0.2671	0.2364

## 5.6 เปรียบเทียบร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใย

ตารางที่ ข.9 การเปรียบเทียบร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำของเส้นใยทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของเส้นใย	ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ									
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10
ผลปาล์ม ก่อนปรับสภาพ	22.6435	16.8363	14.5492	15.6053	15.6355	14.1039	13.4563	16.0374	16.2916	17.4251
ผลปาล์ม หลังปรับสภาพ	25.1333	22.5052	23.7546	25.6157	27.5986	29.6093	29.9908	29.6039	29.6092	30.6231
นุ่นก่อนปรับสภาพ	65.0596	61.4509	50.7880	55.8656	50.0266	55.8150	50.9218	52.1061	50.0506	46.6941
นุ่นหลังปรับสภาพ	25.8084	29.3506	24.6527	29.8055	28.0916	26.4562	26.6444	25.1195	28.1019	24.8406

## 6. การดูดซับน้ำมันในน้ำเสียดังเคราะห์

ตารางที่ ข.10 ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด

ชนิด ของ เส้นใย	ครั้งที่	น้ำหนัก น้ำมัน เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนัก ขามระเหย (กรัม)	น้ำหนัก ขามระเหย + น้ำมัน (กรัม)	น้ำหนัก น้ำมัน ที่เหลือ (กรัม)	น้ำหนัก น้ำมัน ที่ถูกดูดซับ (กรัม)	ร้อยละ ประสิทธิภาพ การกำจัด
ผล ปาล์ม ก่อน ปรับ สภาพ	1	0.1252	47.1374	47.2021	0.0647	0.0605	48.3227
	2	0.1255	49.5505	49.6142	0.0637	0.0618	49.2430
	3	0.1252	73.0748	73.1387	0.0639	0.0613	48.9617
	เฉลี่ย	0.1253	-	-	0.0641	0.0612 ± 0.00	48.8425
ผล ปาล์ม หลัง ปรับ สภาพ	1	0.1255	71.3850	71.4365	0.0515	0.0740	58.9641
	2	0.1250	70.4703	70.5490	0.0787	0.0463	37.0400
	3	0.1250	46.6127	46.6732	0.0605	0.0645	51.6000
	เฉลี่ย	0.1252	-	-	0.0636	0.0616 + 0.01	49.2014
นุ่น ก่อน ปรับ สภาพ	1	0.1258	64.0950	64.1262	0.0312	0.0946	75.1987
	2	0.1258	63.6130	63.6464	0.0334	0.0924	73.4499
	3	0.1253	45.6141	45.6590	0.0449	0.0804	64.1660
	เฉลี่ย	0.1256	-	-	0.0365	0.0891 ± 0.01	70.9382
นุ่น หลัง ปรับ สภาพ	1	0.1250	48.7834	48.8262	0.0428	0.0822	65.7600
	2	0.1250	60.8793	60.9200	0.0407	0.0843	67.4400
	3	0.1251	62.6754	62.7162	0.0408	0.0843	67.3861
	เฉลี่ย	0.1250	-	-	0.0414	0.0836 ± 0.00	66.8620
ชุด ควบคุม	1	0.1251	59.6288	59.6402	0.0114	-	-
	2	0.1250	62.5461	62.5572	0.0111	-	-
	3	0.1250	67.3215	67.3304	0.0089	-	-
	เฉลี่ย	0.1250	-	-	0.0105	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### การคำนวณ

#### 1. การคำนวณหาปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใย

สามารถคำนวณได้จากกราฟ TGA thermogram

ยกตัวอย่างการหาปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ ดังนี้

น้ำหนักเส้นใยเริ่มต้น ประมาณ	10	มิลลิกรัม
น้ำหนักเส้นใยสุดท้าย ประมาณ	4	มิลลิกรัม
น้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซับได้ ประมาณ	6	มิลลิกรัม

จากสูตร

$$\text{ปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใย} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซับได้ (มิลลิกรัม น้ำ)}}{\text{น้ำหนักเส้นใยสุดท้าย (มิลลิกรัม เส้นใย)}}$$

แทนค่าลงในสูตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใย} &= \frac{6 \text{ (มิลลิกรัม น้ำ)}}{4 \text{ (มิลลิกรัม เส้นใย)}} \\ &= 1.5 \text{ มิลลิกรัม น้ำ ต่อ มิลลิกรัม เส้นใย} \end{aligned}$$

#### 2. การคำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย

จากสูตร

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใย} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักแห้งของเส้นใย (กรัม)}}$$

#### 3. การคำนวณร้อยละการนำกลีเมอรีนมาใช้ซ้ำของเส้นใย

จากสูตร

$$\begin{aligned} &\text{ร้อยละการนำกลับมาใช้ซ้ำ} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักเปียกของเส้นใย (กรัม)} - \text{น้ำหนักเส้นใยหลังการคายซับ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเปียกของเส้นใย (กรัม)} - \text{น้ำหนักแห้งของเส้นใยซ้ำที่ 1 (กรัม)}} \times 100 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การคำนวณปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย

จากสูตร

$$\text{ปริมาณน้ำมันและไขมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักขามระเหยที่มีน้ำมัน (กรัม)} - \text{น้ำหนักขามระเหย (กรัม)}}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} \times 10^6$$

#### 5. การคำนวณร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด

จากสูตร

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่ถูกดูดซับ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

ยกตัวอย่างการคำนวณร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดของเส้นใยของผลปาล์มก่อนปรับสภาพ ดังนี้

น้ำหนักน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำมันเริ่มต้น) 0.1253 กรัม

น้ำหนักน้ำมันที่ถูกเส้นใยดูดซับ 0.0612 กรัม

แทนค่าลงในสูตร

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด} &= \frac{0.0612 \text{ กรัม}}{0.1253 \text{ กรัม}} \times 100 \\ &= 48.84 \end{aligned}$$

#### 6. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการทดสอบทางสถิติ

##### 6.1 การทดสอบความแปรปรวนด้วยวิธี Cochran

ทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างหลายกลุ่ม ซึ่งกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มจะมีจำนวนตัวอย่างเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้

ลักษณะการตั้งสมมติฐาน

$$H_0: S_1^2 = S_2^2 = \dots = S_k^2$$

$H_1$ : มี  $S^2$  อย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

มีสูตรการคำนวณ

$$C = \frac{S_{\max}^2}{\sum S_i^2} \quad ; \quad \text{d.f.} = n - 1$$

ถ้าค่า  $C$  ที่ได้จากการคำนวณมากกว่าค่า  $C$  ที่เปิดจากตาราง ( $C_{\alpha, k, v}$  โดยที่  $v = n - 1$ ) จะปฏิเสธ  $H_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 การทดสอบของครัสคาล และวัลลิส (The Kruskal-Wallis One-Way Analysis of Variance By Rank Test)

เป็นวิธีการทดสอบว่าประชากร  $k$  กลุ่ม มีค่ามัธยฐานเท่ากันหรือไม่ โดยมีวิธีการที่สำคัญคือ ค่าคาดหวังของลำดับที่ของข้อมูลตัวอย่างแต่ละกลุ่ม ควรเป็นค่าเป็นแบบอันตรภาคชั้นที่ใกล้เคียงกัน ข้อมูลที่นำมาทดสอบประกอบด้วยข้อมูลจากตัวอย่างสุ่ม  $k$  ชุด แต่ละชุดอาจมีขนาดตัวอย่างแตกต่างกัน ข้อมูลที่จะใช้วิเคราะห์ต้องมีมาตราวัดอย่างน้อยแบบเรียงลำดับ (Ordinal Scale) และมีการแจกแจงแบบต่อเนื่อง

การทดสอบนี้นิยมใช้แทนการทดสอบแบบเอฟ (F-test) ในทางสถิติที่ใช้พารามิเตอร์ ในกรณีที่ข้อกำหนดเบื้องต้นของการทดสอบแบบเอฟไม่เป็นจริง (F-test) ซึ่งข้อกำหนดเบื้องต้นดังกล่าวมาคือ มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ, ข้อมูลแต่ละชนิดเป็นอิสระต่อกัน และมีความแปรปรวนเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด

ลักษณะของการตั้งสมมติฐาน

$H_0$ : ค่ามัธยฐานของประชากร  $k$  กลุ่มไม่แตกต่างกัน

$H_1$ : ค่ามัธยฐานของประชากรอย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

ขั้นตอนการทดสอบ มีดังนี้

1. จัดลำดับของข้อมูลทั้งหมดร่วมกัน เรียงจากน้อยไปหามาก โดยให้ค่าต่ำสุดมีลำดับที่ 1 และค่ามากที่สุดเป็นลำดับที่  $n$  เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนของข้อมูลทั้งหมด

2. หาผลรวมของลำดับที่ในข้อมูลแต่ละกลุ่ม ( $k$ ) คือ  $R_i$  เมื่อ  $i = 1, 2, \dots, k$

3. คำนวณค่าทางสถิติ

จากสูตร

$$H = \left[ \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right] - 3(n+1)$$

เมื่อ  $k =$  จำนวนกลุ่มประชากรตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไปที่เป็นอิสระต่อกัน

$R_i =$  ผลรวมของลำดับที่ในตัวอย่างที่  $i = 1, 2, \dots, k$

$n_i =$  ขนาดตัวอย่างกลุ่มที่  $i, i = 1, 2, \dots, k$

$$n = \sum_{i=1}^k n_i$$

ตามทฤษฎีจะพบว่า  $H_0$  เป็นจริง เมื่อค่า  $H$  จะมีการแจกแจงประมาณได้ด้วยไคสแควร์ ( $\chi^2$ ) ที่  $d.f. = k-1$  ถ้า  $n_i$  มีค่าใหญ่พอสมควร

4. การหาอาณาเขตวิกฤตและสรุปผล สามารถแยกได้ตามขนาดตัวอย่าง คือ

4.1 เมื่อ  $n_i > 5$  การแจกแจงของค่าสถิติ  $H$  ประมาณด้วย  $\chi^2$  ที่  $d.f. = k-1$  เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ  $\alpha$  หาอาณาเขตวิกฤตจากตาราง  $\chi^2$  ที่  $d.f. = k-1$  จะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อค่าของ  $H$  มากกว่าหรือเท่ากับ  $\chi^2$  จากตาราง ( $\chi^2_{d.f.=k-1}$ )

4.2 เมื่อ  $k = 3$  และ  $n_i \leq 5$  ในแต่ละ  $k$  ใช้ตารางที่ Kruskal-Wallis สร้างไว้ โดยแสดงค่าเอกสารวิกฤตของ  $H$  พร้อมทั้งความน่าจะเป็นที่จะเกิดค่า  $H$  นั้น สามารถทำการเปรียบเทียบค่า  $H$  หรือ  $p$ -ค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

value ก็ได้ คือ จะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อค่า  $H$  จากตัวอย่างมากกว่าหรือเท่ากับ  $H$  จากตารางที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ  $\alpha$

ตารางที่ ค.1 ความแปรปรวนวิธี Kruskal-Wallis

Level of significance  $\alpha = 0.05$

k	$V_x$													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	$\infty$
2	0.9985	0.9750	0.9392	0.9057	0.8772	0.8534	0.8332	0.8159	0.8010	0.7880	0.7341	0.6602	0.5813	0.5000
3	0.9669	0.8709	0.7977	0.7457	0.7071	0.6771	0.6530	0.6333	0.6167	0.6025	0.5466	0.4748	0.4031	0.3333
4	0.9065	0.7679	0.6841	0.6287	0.5895	0.5598	0.5365	0.5175	0.5017	0.4884	0.4366	0.3720	0.3093	0.2500
5	0.8412	0.6838	0.5981	0.5441	0.5065	0.4783	0.4564	0.4387	0.4241	0.4118	0.3645	0.3066	0.2513	0.2000
6	0.7808	0.6161	0.5321	0.4803	0.4447	0.4184	0.3980	0.3817	0.3682	0.3568	0.3135	0.2612	0.2119	0.1667
7	0.7271	0.5612	0.4800	0.4307	0.3974	0.3726	0.3535	0.3394	0.3259	0.3154	0.2756	0.2278	0.1833	0.1429
8	0.6798	0.5157	0.4377	0.3910	0.3595	0.3362	0.3185	0.3043	0.2926	0.2828	0.2462	0.2022	0.1616	0.1250
9	0.6385	0.4775	0.4027	0.3584	0.3286	0.3067	0.2901	0.2788	0.2689	0.2588	0.2226	0.1820	0.1446	0.1111
10	0.6020	0.4450	0.3733	0.3311	0.3029	0.2823	0.2668	0.2541	0.2439	0.2353	0.2032	0.1655	0.1308	0.1000
12	0.5410	0.3924	0.3264	0.2880	0.2624	0.2439	0.2299	0.2187	0.2098	0.2020	0.1737	0.1403	0.1100	0.0833
15	0.4709	0.3346	0.2758	0.2419	0.2195	0.2034	0.1911	0.1815	0.1736	0.1671	0.1429	0.1144	0.0889	0.0667
20	0.3894	0.2705	0.2205	0.1921	0.1735	0.1602	0.1501	0.1422	0.1357	0.1303	0.1108	0.0879	0.0675	0.0500
24	0.3434	0.2354	0.1907	0.1656	0.1493	0.1374	0.1286	0.1216	0.1160	0.1113	0.0942	0.0743	0.0567	0.0417
30	0.2929	0.1980	0.1593	0.1377	0.1237	0.1137	0.1061	0.1002	0.0958	0.0921	0.0771	0.0604	0.0457	0.0333
40	0.2370	0.1576	0.1259	0.1082	0.0968	0.0887	0.0827	0.0780	0.0745	0.0713	0.0595	0.0462	0.0347	0.0250
60	0.1737	0.1131	0.0895	0.0765	0.0682	0.0623	0.0583	0.0562	0.0520	0.0497	0.0411	0.0316	0.0234	0.0167
120	0.0998	0.0632	0.0495	0.0419	0.0371	0.0337	0.0312	0.0292	0.0279	0.0266	0.0218	0.0165	0.0120	0.0083
$\infty$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ที่มา : ฉัตรศิริ (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ ค.2 การแจกแจงแบบไคสแควร์ (Chi-Square)

## Table of Probabilities for the Chi-Squared Distribution

Alpha Risk														
df	0.995	0.990	0.975	0.95	0.9	0.75	0.5	0.25	0.1	0.05	0.25	0.01	0.005	0.001
1	0.000039	0.000157	0.000982	0.00393	0.0158	0.102	0.455	1.323	2.706	3.841	1.323	6.635	7.879	10.828
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	0.575	1.386	2.773	4.605	5.991	2.773	9.210	10.597	13.816
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	1.213	2.366	4.108	6.251	7.815	4.108	11.345	12.838	16.266
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	1.923	3.357	5.385	7.779	9.488	5.385	13.277	14.860	18.467
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	2.675	4.351	6.626	9.236	11.070	6.626	15.086	16.750	20.515
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	3.455	5.348	7.841	10.645	12.592	7.841	16.812	18.548	22.458
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	4.255	6.346	9.037	12.017	14.067	9.037	18.475	20.278	24.322
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	5.071	7.344	10.219	13.362	15.507	10.219	20.090	21.955	26.124
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	5.899	8.343	11.389	14.684	16.919	11.389	21.666	23.589	27.877
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	6.737	9.342	12.549	15.987	18.307	12.549	23.209	25.188	29.588
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	7.584	10.341	13.701	17.275	19.675	13.701	24.725	26.757	31.264
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	8.438	11.340	14.845	18.549	21.026	14.845	26.217	28.300	32.909
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	9.299	12.340	15.984	19.812	22.362	15.984	27.688	29.819	34.528
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	10.165	13.339	17.117	21.064	23.685	17.117	29.141	31.319	36.123
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	11.037	14.339	18.245	22.307	24.996	18.245	30.578	32.801	37.697
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	11.912	15.338	19.369	23.542	26.296	19.369	32.000	34.267	39.252
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.085	12.792	16.338	20.489	24.769	27.587	20.489	33.409	35.718	40.790
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.865	13.675	17.338	21.605	25.989	28.869	21.605	34.805	37.156	42.312
19	6.844	7.633	8.907	10.117	11.651	14.562	18.338	22.718	27.204	30.144	22.718	36.191	38.582	43.820
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	15.452	19.337	23.828	28.412	31.410	23.828	37.566	39.997	45.315
21	8.034	8.897	10.283	11.591	13.240	16.344	20.337	24.935	29.615	32.671	24.935	38.932	41.401	46.797
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.041	17.240	21.337	26.039	30.813	33.924	26.039	40.289	42.796	48.268
23	9.260	10.196	11.689	13.091	14.848	18.137	22.337	27.141	32.007	35.172	27.141	41.638	44.181	49.728
24	9.886	10.856	12.401	13.848	15.659	19.037	23.337	28.241	33.196	36.415	28.241	42.980	45.559	51.179
25	10.520	11.524	13.120	14.611	16.473	19.939	24.337	29.339	34.382	37.652	29.339	44.314	46.928	52.620
26	11.160	12.198	13.844	15.379	17.292	20.843	25.336	30.435	35.563	38.885	30.435	45.642	48.290	54.052
27	11.808	12.879	14.573	16.151	18.114	21.749	26.336	31.528	36.741	40.113	31.528	46.963	49.645	55.476
28	12.461	13.565	15.308	16.928	18.939	22.657	27.336	32.620	37.916	41.337	32.620	48.278	50.993	56.892
29	13.121	14.256	16.047	17.708	19.768	23.567	28.336	33.711	39.087	42.557	33.711	49.588	52.336	58.301
30	13.787	14.953	16.791	18.493	20.599	24.478	29.336	34.800	40.256	43.773	34.800	50.892	53.672	59.703
40	20.707	22.164	24.433	26.509	29.051	33.660	39.335	45.616	51.805	55.758	45.616	63.691	66.766	73.402
50	27.991	29.707	32.357	34.764	37.689	42.942	49.335	56.334	63.167	67.505	56.334	76.154	79.490	86.661
60	35.534	37.485	40.482	43.188	46.459	52.294	59.335	66.981	74.397	79.082	66.981	88.379	91.952	99.607
70	43.275	45.442	48.758	51.739	55.329	61.698	69.334	77.577	85.527	90.531	77.577	100.425	104.215	112.317
80	51.172	53.540	57.153	60.391	64.278	71.145	79.334	88.130	96.578	101.879	88.130	112.329	116.321	124.839
90	59.196	61.754	65.647	69.126	73.291	80.625	89.334	98.650	107.565	113.145	98.650	124.116	128.299	137.208
100	67.328	70.065	74.222	77.929	82.358	90.133	99.334	109.141	118.498	124.342	109.141	135.807	140.169	149.449

Right Tailed Distribution, df = degrees of freedom = (#Rows - 1) x (#Columns - 1)  
Chi Square Table of Probabilities:

©Copyright Lean Sigma Corporation 2013

ที่มา : Lean Sigma (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	
พารามิเตอร์	มาตรฐาน
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5 – 9.0
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) *	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) **	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil, Grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

หมายเหตุ : \* กรณีหน่วยบำบัดสุดท้ายเป็นบ่อเสถียร (Stabilization Pond) หรือบ่อฝุ้ง (Oxidation Pond) ให้ใช้ค่าบีโอดี ของน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว (Filtrate BOD) การกรองตัวอย่างน้ำเพื่อหาค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disk) ที่ใช้ในกระบวนการกรองเพื่อหาค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ก่อนทำการวิเคราะห์หาค่าบีโอดีที่กำหนดไว้ใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ฉบับล่าสุด

\*\* กรณีหน่วยบำบัดสุดท้ายเป็นบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) หรือบ่อฝุ้ง (Oxidation Pond) ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

- การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนให้เป็นไปตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ฉบับล่าสุด ซึ่ง American Public Health Association, American Water Work Association และ Water Environment Federation ร่วมกันกำหนดไว้ หรือตามวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา ทั้งนี้ให้เลือกใช้วิธีวิเคราะห์ตามความเหมาะสมกับลักษณะและสภาพของตัวอย่างน้ำ