

ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของฟองน้ำเซลลูโลส  
จากกาบหมาก

OIL ADSORPTION EFFICIENCY OF CELLULOSE SPONGE  
FROM ARECA NUT LEAF SHEATH



ปรมิตตา  
ภรณ์รวี  
ภูริพัฒน์  
ภูวเดช  
ตุนโรตง  
หิรัญเจริญ  
จันทานวน  
ศาสนปัทมภ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# OIL ADSORPTION EFFICIENCY OF CELLULOSE SPONGE FROM ARECA NUT LEAF SHEATH

PORAMITTA

TUNTHAISONG

PORNRAWEE

HIRANCHAROEN

PHURIPHAT

JANTANUAN

PUWADECH

SASANOPATUM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของฟองน้ำเซลลูโลสจากกาบหมาก  
Oil Adsorption Efficiency of Cellulose Sponge from  
Areca Nut Leaf Sheath

ชื่อนักศึกษา นางสาวปรมิตตา ตุ่นไธสง รหัสนักศึกษา 62050410  
นางสาวภรณ์รวี หิรัญเจริญ รหัสนักศึกษา 62050423  
นายภูริพัฒน์ จันทานวน รหัสนักศึกษา 62050427  
นายภูวเดช ศาสโนปถัมภ์ รหัสนักศึกษา 62050428

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี  
สิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
รศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของฟองน้ำเซลลูโลสจากกากหมาก		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปรมิตตา	ตุนไธสง	รหัสนักศึกษา 62050410
	นางสาวภรณ์รวี	หิรัญเจริญ	รหัสนักศึกษา 62050423
	นายภูริพัฒน์	จันทานวน	รหัสนักศึกษา 62050427
	นายภูวเดช	ศาสโนปถัมภ์	รหัสนักศึกษา 62050428
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2565		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สุวรรณิ จรรย์ยาพูน		

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการผลิตฟองน้ำจากกากหมาก และประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันด้วยฟองน้ำจากกากหมาก โดยนำกากหมากไปบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 35 เมช แขนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยมวล ให้ความร้อนที่ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชม. กรองด้วยเครื่องกรองสูญญากาศ แล้วนำส่วนกากที่เป็นเซลลูโลสไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นเติมคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยมวล 15 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน จะได้สารละลายหนืด แปรค่าอัตราส่วนสารละลายหนืดต่อโซเดียมซัลเฟต 1:0.5, 1:1, 1:2 และ 1:3 โดยน้ำหนักเปียกต่อปริมาตร จากนั้นขึ้นรูปด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของฟองน้ำเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ดูดซับและปริมาตรรูพรุน และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน โดยใช้ไขมันพืชเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของฟองน้ำเซลลูโลสพบว่า มีพื้นผิวขรุขระ มีลักษณะรูพรุนแบบ Microporous หรือ Mesoporous ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 4.093 นาโนเมตร ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด 0.1288 มิลลิลิตรต่อกรัม และพื้นที่ผิว 42.3961 ตารางเมตรต่อกรัม การดูดซับเป็นแบบไอโซเทอร์ม Type-V ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันพบว่า ฟองน้ำเซลลูโลสมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ อัตราส่วนสารละลายหนืดต่อโซเดียมซัลเฟตที่ 1:2, 1:0.5, 1:3, 1:1 สามารถดูดซับน้ำมันที่ค่าเฉลี่ย 2,442.67 (72.88±13.42 %), 1,722.38 (52.40±7.93 %), 1,096.90 (34.31±45.00 %) และ 732.60 มิลลิลิตรต่อลิตร (22.32±8.41 %) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 คำสำคัญ : กากหมาก, ฟองน้ำเซลลูโลส, การดูดซับน้ำมัน

<b>Title</b>	Oil Adsorption Efficiency of Cellulose Sponge from Areca Nut Leaf Sheath
<b>Students</b>	Poramitta Tunthaisong Student ID 62050410 Pornrawee Hirancharoen Student ID 62050423 Phuriphat Jantanuan Student ID 62050427 Puwadech Sasanopatum Student ID 62050428
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
<b>Department</b>	Chemistry
<b>School</b>	Science
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
<b>Academic Year</b>	2022
<b>Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

### Abstract

This special project studied a preparation of cellulose sponge from Areca nut leaf sheath and its adsorption efficiency of oil. The leaf sheath was crushed and sieved with a 35 mesh screen. Then, the crushed leaf sheath was soaked with NaOH 18% w/v, heated at 80-90 °C for 1.5 h and then filtered using vacuum filtration. The prepared cellulose was incubated at room temperature for 1 h. Carbon disulfide was added into the cellulose to form cellulose xanthate. Subsequently, cellulose xanthate was reacted with 15 mL of NaOH solution (18% w/v) overnight to produce Viscous Rayon. Viscous Rayon was added with sodium sulfate in a ratio of 1:0.5, 1:1, 1:2, 1:3 by w/v. Then, the mixture was added into HCl 10% v/v to form cellulose sponge. Physical and chemical properties were characterized using SEM and BET analyzer. Adsorption efficiency of the prepared sponge was also examined. The characterization results showed that the sponge had rough surface and contained microporous and mesoporous pore size, average pore diameter of 4.093 nm, total pore volume of 0.1288 mL/g and surface area of 42.3961 m<sup>2</sup>/g. The adsorption isotherm was Type-V isotherm. The experimental results indicated that oil adsorption efficiencies of the ratio of viscous solution to sodium sulfate ranged in descending was 1:2 followed by 1:0.5, 1:3 and 1:1 which could remove oil 2,442.67 (72.88±13.42 %), 1,722.38 (52.40±7.93 %), 1,096.90 (34.31±45.00 %) and 732.60 mg/L (22.32±8.41 %), respectively.

**Keywords:** Areca nut leaf sheath, Cellulose sponge, Oil Adsorption

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ช่วยชี้แนะข้อเสนอดังกล่าว ในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และ ดร.กลั่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เป็นคณะกรรมการโครงการพิเศษ ที่ช่วยตรวจทานและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทดลองและเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ การเบิกสารเคมี และได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดเวลาในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ให้บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการช่วยเหลือวิเคราะห์โครงสร้างผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. วิษณุ เพชรภา อาจารย์ประจำวิทยาลัยเทคโนโลยีและนวัตกรรมวัสดุ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุน (Surface Area and Pore Size Analyzer, BET)

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา รุ่นพี่และเพื่อนๆ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษาและกำลังใจในการทำโครงการพิเศษตลอดระยะเวลาการดำเนินการ

ปรมิตตา ตุ่นไธสง

ภรณ์รวี หิรัญเจริญ

ภูริพัฒน์ จันทานวน

ภูวเดช ศาสโนปถัมภ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .....	ก
Abstract .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์ .....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>3</b>
2.1 ต้นหมาก .....	3
2.2 ส่วนประกอบของต้นหมาก .....	3
2.2.1 ลำต้น .....	3
2.2.2 ผล .....	4
2.2.3 ใบ .....	5
2.2.4 เมล็ดหมาก .....	5
2.2.5 กาบหมาก .....	6
2.3 องค์ประกอบของเนื้อเยื่อไม้ .....	6
2.3.1 เซลลูโลส (Cellulose) .....	6
2.3.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) .....	8
2.3.3 ลิกนิน (Lignin) .....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ทางธุรกิจ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ประเภทของโมโนเมอร์.....	11
2.4 องค์ประกอบของกาบหมาก.....	12
2.4.1 องค์ประกอบทางเคมี.....	12
2.4.2 ดัชนีความเป็นผลึกและมุมไมโครไฟบริลลา.....	12
2.4.3 ปริมาณความชื้นของเส้นใย.....	12
2.4.4 ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง.....	12
2.4.5 ความแข็งแรงของเส้นใย.....	12
2.5 การย่อยสลายเซลลูโลส.....	13
2.6 ฟองน้ำเซลลูโลสสังเคราะห์.....	14
2.7 ไขมันและน้ำมัน (Oil and Grease).....	16
2.7.1 สมบัติของไขมันและน้ำมัน.....	17
2.7.2 น้ำเสียที่เกิดจากไขมันและน้ำมัน.....	18
2.7.3 วิธีการกำจัดน้ำมันและไขมัน.....	18
2.8 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process).....	19
2.8.1 ประเภทของการดูดซับ.....	19
2.8.2 วัสดุดูดซับ.....	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>24</b>
3.1 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.2 วัตถุประสงค์.....	25
3.3 การเตรียมวัตถุประสงค์.....	25

3.4 การเตรียมสารละลายหนืดต่อเกลือโซเดียมซัลเฟตในการเตรียมฟองน้ำเซลลูโลส..... 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 การเตรียมสารละลายหนืด (Viscous solution).....	25
3.4.2 การผลิตฟองน้ำ.....	27
3.5 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ .....	29
3.6 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำ (Fat, Oil and Grease, FOG) .....	30
3.7 การคำนวณ.....	30
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>32</b>
4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี .....	33
4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะฟองน้ำด้วยสายตา.....	33
4.1.2 ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด.....	34
4.1.2 ผลการศึกษาหาพื้นที่ผิวดูดซับและปริมาตรรูพรุน .....	35
4.2 ผลการศึกษ้อัตราส่วนเกลือโซเดียมซัลเฟตที่เหมาะสมในการผลิตฟองน้ำเซลลูโลส เพื่อใช้ในการดูดซับน้ำมัน .....	36
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>39</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
เอกสารอ้างอิง .....	41
เอกสารอ้างอิง (ต่อ).....	42
ภาคผนวก .....	43
ภาคผนวก ก .....	44
น้ำหนักที่เปลี่ยนไปก่อนและหลังการดูดซับ .....	44
ความสามารถในการดูดซับ.....	44
ปริมาณไขมันและน้ำมันที่เหลือ.....	45
ร้อยละการดูดซับ (%Removal).....	45
ปริมาณไขมันและน้ำมันที่ดูดซับได้ต่อน้ำหนักแห้งฟองน้ำ .....	46
ภาคผนวก ข .....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับบุคลากรเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าการใด ๆ ล้วนแต่จะผิดให้คัดแปลงเมื่อขอและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไป

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ANOVA One way .....	60
Factor Information.....	60
Analysis of Variance .....	61
Model Summary .....	61
Means.....	61
Fisher Pairwise Comparisons .....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส .....	11
2.2 คุณสมบัติของกาบหมากและการเปรียบเทียบเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ .....	13
2.3 ตารางค่าไขมันและน้ำมันในแหล่งน้ำต่างๆ .....	18
2.4 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี .....	20
3.1 สภาวะของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด .....	29
3.2 สภาวะการวิเคราะห์ .....	29
4.1 Single Point Surface Area .....	35
4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน .....	37
ก.1 น้ำหนักฟองน้ำก่อนและหลังการดูดซับ .....	44
ก.2 ความสามารถในการดูดซับ .....	44
ก.3 ปริมาณไขมันและน้ำมันที่เหลือ .....	45
ก.4 ร้อยละการดูดซับ (%Removal) .....	45
ก.5 ปริมาณไขมันและน้ำมันที่ดูดซับได้น้ำหนักแห้งฟองน้ำ .....	46
ข.1 Method .....	60
ข.2 Factor Information .....	60
ข.3 Analysis of Variance .....	61
ข.4 Model Summary .....	61
ข.5 Means .....	61
ข.6 ค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนเกลือในการผลิตฟองน้ำที่ อัตราส่วน 1:0.5, 1:1, 1:2 และ 1:3 .....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
2.1 ลำต้นของต้นหมาก.....	4
2.2 ผลของต้นหมาก.....	4
2.3 ใบของต้นหมาก.....	5
2.4 เมล็ดของต้นหมาก.....	5
2.5 กาบหมากของต้นหมาก.....	6
2.6 โครงสร้างของเซลลูโลส.....	7
2.7 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	9
2.8 โครงสร้างของลิกนิน.....	10
2.9 ปฏิกิริยาการเตรียมไขมันและน้ำมัน.....	17
3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายชนิด.....	26
3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูป.....	28
4.1 ตัวอย่างชิ้นงานฟองน้ำเซลลูโลสจากกาบหมากที่ผลิตได้ อัตราส่วน (ก) 1:0.5, (ข) 1:1, (ค) 1:2, (ง) 1:3.....	33
4.2 ภาพถ่ายลักษณะฟองน้ำเซลลูโลสด้วย SEM ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า (ก) อัตราส่วน 1:0.5, (ข) อัตราส่วน 1:1, (ค) อัตราส่วน 1:2, (ง) อัตราส่วน 1:3.....	34
4.3 BET Nitrogen adsorption isotherm plot.....	35
4.4 ปริมาณไขมันและน้ำมันที่ดูดซับต่อน้ำหนักแห้งฟองน้ำ.....	38
ข.1 Fisher Individual 95% CIs.....	62
ข.2 Interval Plot of C2 vs C1.....	63
ข.3 Residual Plots for C2.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	กรดซัลฟิวริก
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	โซเดียมซัลเฟต
CS <sub>2</sub>	คาร์บอนไดซัลไฟด์
SEM	Scanning Electron Microscope



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปี 2564 ประเทศไทยมีประชากร 71.6 ล้านคน ซึ่งปัญหามลพิษในประเทศไทยของเรานั้นยังมีอยู่มากอันเนื่องมาจากการเติบโตและพัฒนาในด้านต่างๆในประเทศอย่างรวดเร็วรวมถึงการปริมาณประชากรที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรที่มากขึ้น โดยเฉพาะด้านการอุปโภคและบริโภค ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมเป็นปัญหาอันดับต้นๆ ของปัญหามลพิษไม่ว่าจะเป็น มลพิษทางดิน มลพิษทางน้ำ และมลพิษทางอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาแก่สิ่งแวดล้อมต่อการดำเนินชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยปัญหามลพิษที่พบบ่อยและอยู่ใกล้ตัวเรามากที่สุด คือ มลพิษทางน้ำ ที่เกิดจากการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ไม่ว่าจะในกระบวนการทางอุตสาหกรรมในขั้นตอนการดำเนินงานผลิตต่างๆ และใช้ในงานครัวเรือนเพื่อการประกอบอาหารในการอุปโภค-บริโภค ซึ่งทำให้น้ำเกิดการปนเปื้อนอย่างมากส่งกลิ่นเหม็น ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ไขมันและน้ำมันเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่ละลายในน้ำ และวิธีการกำจัดที่ยุ่งยาก ซึ่งหากปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำจะทำให้เกิดปัญหามากมาย เช่น น้ำเกิดการเน่าส่งกลิ่นเหม็น การอุดตันภายในท่อระบายน้ำเสีย ไม่สามารถนำน้ำมาใช้ประโยชน์ในการทำกิจกรรมต่างๆได้ ก่อให้เกิดการขาดออกซิเจนส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตของสัตว์และพืชที่ใช้ประโยชน์จากน้ำในการดำรงชีวิตและอาจทำให้สัตว์น้ำล้มตายเป็นแหล่งก่อโรคตามมา จากการค้นคว้าหาข้อมูลไขมันและน้ำมันส่วนใหญ่พบว่าเกิดจากการใช้ประกอบอาหารในร้านอาหารหรือครัวเรือนชุมชน มีการปล่อยน้ำลงสู่แม่น้ำมีปริมาณไขมันและน้ำมันอยู่ที่ 14-38,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานอยู่ที่ 90-63,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งบางแหล่งเกินกว่าที่ค่ามาตรฐาน โดยก่อนการปล่อยน้ำเสียออกสู่ธรรมชาติตามกรมควบคุมมลพิษกำหนดเฉลี่ยอยู่ที่ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซึ่งคณะผู้จัดทำได้สังเกตเห็นถึงปัญหาที่เกิดจากไขมันและน้ำมันนี้ จึงมีแนวคิดที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติมาผลิตฟองน้ำเซลลูโลสเพื่อนำมาดูดซับน้ำมัน โดยใช้วัตถุดิบเป็นกากหมากเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการนำเปลือกหมากส่งออกขายเพื่อนำไปบริโภคและการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงทดแทน

กากหมากมีความเหนียวสูงสามารถทนแรงดึงได้มากถึง 400 MPa ซึ่งเหนียวเทียบเท่าแผ่นเหล็ก นิยมนำกากหมากมาสานเป็นเคหะสิ่งทอที่เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่น แต่ในเชิงธุรกิจกากหมากไม่เป็นที่นิยมมากนัก มักถูกนำไปทำเป็นปุ๋ยหรือเผาทำลายโดยไม่มี การนำไปใช้ประโยชน์อื่นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งการนำกากหมากมาใช้ประโยชน์ที่หลากหลายมากขึ้นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการช่วยลดปัญหาขยะเหลือทิ้งจากธรรมชาติและลดการเผาทำลายซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลถึงภาวะโลกร้อน คณะผู้จัดทำนำมาต่อยอดผลิตเป็นฟองน้ำเซลลูโลสเพื่อเป็นอีกแนวทางในการเพิ่มคุณค่าให้แก่กากหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของฟองน้ำที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติซึ่งคือ กาบหมาก โดยนำคุณสมบัติความเป็นเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการ

ทำฟองน้ำเซลลูโลสจากกาบหมาก และหาประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันของฟองน้ำเซลลูโลสจากกาบหมาก เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากไขมันและน้ำมันและคาดหวังให้นำไปใช้ประโยชน์ในกรณีเรือน้ำมันรั่วไหลสู่ทะเล ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการเก็บน้ำมันที่รั่วไหลเป็นพอลิเมอร์ เมื่อทำการใช้งานแล้วครั้งหนึ่งจะไม่สามารถนำมาใช้ซ้ำได้อีกเป็นปัญหาต่อการนำไปกำจัดและส่งผลให้เกิดขยะใหม่เกิดขึ้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำฟองน้ำเซลลูโลสจากกาบหมาก
- 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันของฟองน้ำเซลลูโลสจากกาบหมาก

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) เตรียมกาบหมากโดยนำกาบหมากไปตากให้แห้งและบดให้มีขนาดเล็ก เก็บใส่เดซีเคเตอร์
- 2) นำกาบหมากไปชั่งน้ำหนักแล้วแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปกรองจากนั้นใส่คาร์บอนไดออกไซด์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้ของเหลวเหนียวนำไปแช่เย็นข้ามคืน
- 3) นำสารเหนียวมาผสมเกลือโซเดียมซัลเฟตในอัตราส่วนกาบหมาก : โซเดียมซัลเฟต เท่ากับ 1:0.5, 1:1, 1:2 และ 1:3 จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริก ลงเพรสแก้วทำให้ขึ้นรูปเป็นฟองน้ำ
- 4) วิเคราะห์ลักษณะศึกษาสัณฐานวิทยาของฟองน้ำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวความเป็นรูพรุนด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นผิวและรูพรุน (Surface Area and Pore Size Analyzer)
- 5) นำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันด้วยฟองน้ำจากกาบหมากต่อเกลือโซเดียมซัลเฟต 1:0.5, 1:1, 1:2 และ 1:3 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
- 2) ลดปัญหามลพิษทางน้ำ
- 3) ลดปัญหามลพิษทางอากาศจากการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ต้นหมาก

ต้นหมากมีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียเขตร้อน จัดเป็นไม้ยืนต้นจำพวกปาล์ม ในวงศ์ Palmae ชนิด *Areca catechu* Linn. มีความสูงของต้นประมาณ 10-15 เมตร ลำต้นตั้งตรงเป็นต้นเดี่ยวไม่แตกกิ่งก้าน ลักษณะของลำต้นเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-12 เซนติเมตร เปลือกลำต้นเป็นรอยขรุขระๆ ขึ้นไปตลอดลำต้น ในระยะแรกจะเจริญเติบโตด้านกว้างและด้านสูง แต่หลังจากหยุดการเจริญเติบโตจะเจริญเติบโตด้านความสูง ต้นหมากมีตายอดส่วนปลายสุดของลำต้น ถ้าตายอดตายหมากจะตาย ตายอดจะเป็นที่เกิดของใบหลังจากใบร่วงหล่นจะทิ้งรอยติดของใบไว้ เรียกว่าข้อ ข้อของต้นหมากสามารถคำนวณหาอายุหมากได้ 1 ปี โดยหมากจะมีใบหรือข้อเพิ่มขึ้น 5 ใบ หรือ 5 ข้อ ต้นหมากจะมีเนื้อเป็นเส้นยาวจับตัวกันแน่นบริเวณเปลือกนอกลึกเข้าไปประมาณ 2 เซนติเมตร แต่ส่วนกลางของลำต้นเป็นเส้นไม่อัดแน่น และมีเนื้อไม่อ่อนนุ่มคล้ายกับฟองน้ำ จึงทำให้ต้นหมากเหนียวและสามารถโยกเอนได้มาก ขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเพาะเมล็ด เจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลสูงกว่า 700 เมตร มักปลูกตามแคมร่อน และปลูกสลับกับต้นไม้หลัก ยอดหมากจะกลมพองใหญ่กว่าลำต้น เรียกว่า “หมากท้อ” ยอดหมากนี้จะมีกาบใบหุ้มอยู่ เมื่อกาบแก่จะมีสีเหลืองถึงสีน้ำตาล เมื่อร่วงหล่นลงมาจะเรียกว่า “กาบหมาก” (นิตยสารศิลปวัฒนธรรม, 2554)

### 2.2 ส่วนประกอบของต้นหมาก (<http://www.chulapedia.chula.ac.th>)

#### 2.2.1 ลำต้น

ใช้ทำเสาดม่อ ฟากสับ แม่ขันโต ลูกบันได โคนแกใช้ทำชั้นพะองเพื่อทอดทำสะพานข้ามลำกระโดง ท้องร่อน และเมื่อทะเลลงเอาใส่ในอก สามารถใช้ทำเป็นท่อระบายน้ำ ทำไม้คานใช้แบกของ ทำคร่าวสำหรับยึดฝาฟากสับ ในการปลูกห่างเฝ้าสวน ใช้กั้นคันดิน และเป็นดม่อป้องกันคันดินที่กั้นน้ำเข้าสวน (รูปที่ 2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 ลำต้นของต้นหมาก

ที่มา : <https://www.kasettambon.com/%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%>

### 2.2.2 ผล

ผลของหมากจะมีรสฝาด เมื่ออ่อน เรียกว่า “หมากอ่อน” ผลที่ยังไม่แก่ ซึ่งนิยมกิน เรียกว่า “หมากดิบ” ผลที่แก่จัดเนื้อแข็ง เรียกว่า “หมากสง” ส่วนผลที่แก่มากจะหล่นลงยังท้องร่อง หรือขึ้นนำลงมาทิ้งทะเลสาบ ชาวสวนจะนำมาแช่หรือหมักกับน้ำในตุ่ม เพื่อไม่ให้เนื้อแห้ง และจะเก็บไว้ได้นาน เปลือกจะเน่ามีกลิ่นเหม็น เรียกว่า “หมากยับ” นิยมแปรรูปหมาก ซึ่งเป็นการถนอมหมาก โดยวิธีที่นิยมที่สุดคือ การทำหมากแห้ง (รูปที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 ผลของต้นหมาก

ที่มา : <https://medthai.com/%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%81/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2.2.5 กาบหมาก

หรือเรียกว่า กากปุเล (รูปที่ 2.5) หมายถึง ส่วนล่างของทางใบที่หุ้มรอบลำต้นหมาก เมื่อแก่จัดแล้วหลุดลงมา มีลักษณะเป็นแผ่นแข็งเหนียว ความกว้างประมาณ 12 นิ้ว ความยาวประมาณ 20 นิ้ว หรือตามขนาดของลำต้น กาบสดจะเป็นสีเขียวอ่อน กาบที่นำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เป็นกาบหมากแห้งที่หลุดลงมาจากลำต้น มี 2 สี ด้านในเป็นสีขาวนวล ด้านนอกเป็นสีน้ำตาล



ภาพที่ 2.5 กาบหมากของต้นหมาก

ที่มา : <https://www.nanagarden.com/product/308695>

## 2.3 องค์ประกอบของเนื้อเยื่อไม้

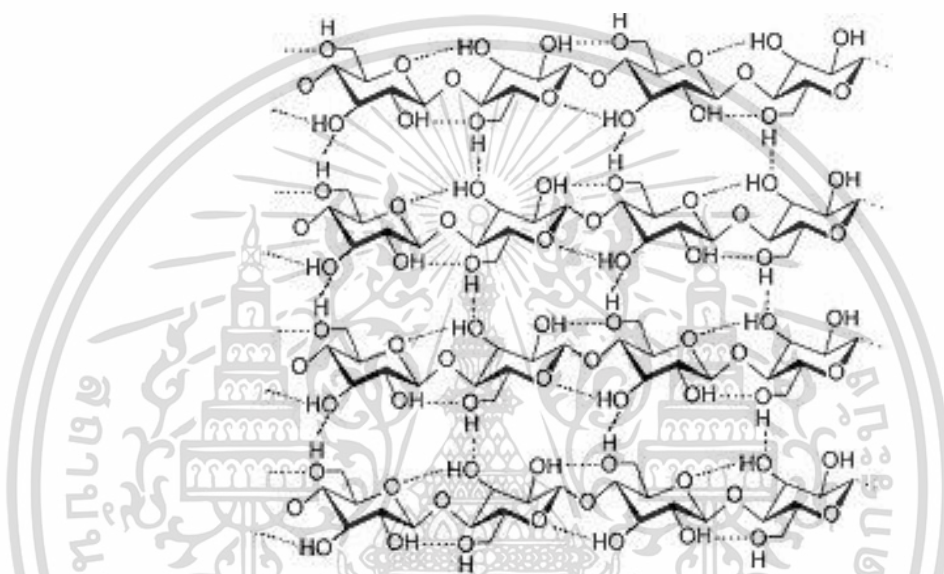
### 2.3.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (Cell wall) ในพืชและเป็นสารคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) เกิดจากกลูโคสประมาณ 50,000 โมเลกุล เชื่อมต่อกันเป็นสายยาว แต่ละสายเรียงขนานกันและมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสาย ทำให้มีลักษณะเป็นเส้นใยสะสมในพืช ไม่พบในเซลล์สัตว์ นอกจากเซลลูโลส จะพบองค์ประกอบของลิกนิน และสารประกอบอื่นๆ ในโครงสร้าง เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจัดเป็นเซลลูโลส (Cellulose fiber) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 44.4 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.2 และออกซิเจนร้อยละ 49.4 ไม่เคยพบว่ามีเซลลูโลสบริสุทธิ์ในธรรมชาติ แต่มักจะพบปะปนไปกับสารประเภทลิกนิน (Lignin) เพคติน (Pectin) หรือขี้ผึ้ง (Wax)

เซลลูโลสแบ่งตามความสามารถในการละลายในสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ได้เป็น 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) แอลฟา-เซลลูโลส ( $\alpha$ -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ไม่ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5%
- 2) เบต้า-เซลลูโลส ( $\beta$ -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% ที่อุณหภูมิห้อง แต่สามารถตกตะกอนได้ง่ายในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด
- 3) แกมมา-เซลลูโลส ( $\gamma$ -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% และสารละลายกรด แต่สามารถตกตะกอนโดยใช้แอลกอฮอล์



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา : [http://www.digitalschool.club/digitalschool/science1\\_2\\_2/science2\\_1/more/image/pic1\\_1.jpg](http://www.digitalschool.club/digitalschool/science1_2_2/science2_1/more/image/pic1_1.jpg)

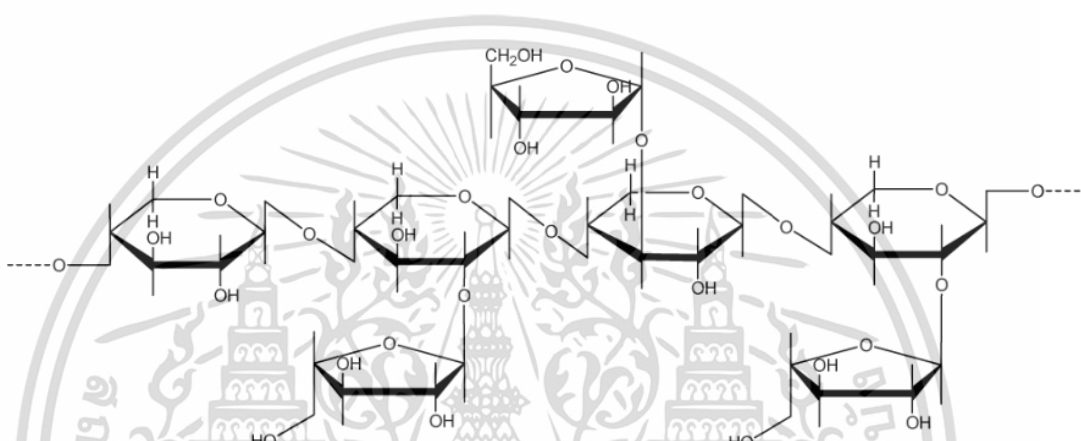
โครงสร้างของเซลลูโลสเป็นไปได้ทั้งเรียงตัวเป็นระเบียบ (Crystalline) และแบบไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) มีผลทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการดูดซึม (Absorption) การพองตัว (Swelling) และการยืดหยุ่น (Stress-strain) สูตรทางเคมีทั่วไปของเซลลูโลส คือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  โดย  $n$  คือ ค่าระดับขั้นของการเกิดพอลิเมอร์ ค่า  $n$  ยิ่งมากน้ำหนักโมเลกุลยิ่งสูง (โสธรญา, 2557)

### 2.3.1.1 สมบัติของเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นของแข็งไม่มีสี มีการดูด การคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆจนกระทั่งถึงสมดุล ซึ่งสมดุลของปริมาณความชื้นจะเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบๆ เซลลูโลสจะเกิดการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) อย่างรวดเร็วในสารละลายกรดแก่ที่อุณหภูมิห้อง สารละลายเกลือบางชนิดเข้มข้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride) เข้มข้นร้อยละ 72 และสารละลายอัลคาไลน์ไฮดรอกไซด์ (Alkali hydroxide) เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้เซลลูโลสบวมและเซลลูโลสที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำละลายได้ เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำและในตัวทำ



องค์ประกอบส่วนใหญ่ที่เชื่อมด้วยพันธะเบต้า (1,4) ( $\beta$ -1,4 bond) (รูปที่ 2.7) พบในไม้เนื้อแข็งมากกว่าไม้เนื้ออ่อน โดยปกติจะไม่พบเฮมิเซลลูโลสที่มีไซโลสเพียงชนิดเดียวในธรรมชาติ มักพบอยู่ร่วมกับน้ำตาลชนิดอื่นๆ และมีลิกนินจับตัวอยู่อย่างหนาแน่นด้วยพันธะโควาเลนต์ โดยทั่วไปเฮมิเซลลูโลสจะมีความเป็นกรด เพราะมีหมู่ 4-เมทิล-แอลฟา-ดี-กลูโคส (4-methyl-  $\alpha$ -D-glucose) จับกับออกซิเจนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งการแทนที่ในตำแหน่งที่ 2 และ 3 ส่งผลให้สามารถสกัดเฮมิเซลลูโลสออกได้ง่ายด้วยสารละลายเบส แต่ในขั้นตอนการสกัดเฮมิเซลลูโลสออก อาจต้องมีการกำจัดลิกนิน (Delignification) ร่วมด้วย (ชีวานันท์, 2559)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/VESTSU/article/download/35649/29930/81917>

### 2.3.2.2 สมบัติของเฮมิเซลลูโลส

ส่วนใหญ่จะพบในผนังเซลล์ชั้นนอกสุดของผนังเซลล์ชั้นที่ 2 โดยจะถูกย่อยสลาย และสกัดออกจากผนังเซลล์พืชได้ในภาวะที่ไม่รุนแรง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลมีไซกิงเป็นจำนวนมาก โมเลกุลเฮมิเซลลูโลสจะชอบน้ำทำให้เกิดการรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นเจล ขณะที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์จะไม่สามารถสกัดออกได้ด้วยน้ำแต่สามารถละลายได้ในเบส (ชีวานันท์, 2559) ความแตกต่างระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส แสดงดังตารางที่ 2.1

### 2.3.3 ลิกนิน (Lignin)

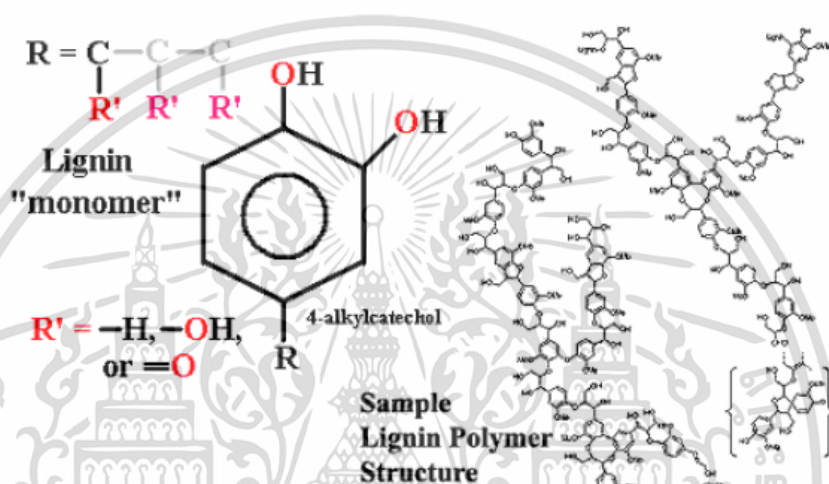
เป็นสารประกอบเชิงซ้อน พบในผนังเซลล์พืช มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างร่วมกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นๆ ลิกนินประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน รวมกันเป็นหน่วยย่อย (โสธญา, 2557) ต่อกันแบบสุ่ม เป็นโครงสร้าง 3 มิติ ภายในโครงสร้างจะเชื่อม

กันด้วยพันธะอีเธอร์ (Ether) หรือคาร์บอนระหว่าง 2 โมเลกุล จึงทำให้ลิกนินมีความแข็งแรงทนต่อ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้ในเชิงวิชาการเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย่อยสลายด้วยสารเคมีและเอนไซม์มากกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ จึงต้องใช้สารเคมีช่วยในการแยก ลิกนินออกจากพอลิแซ็กคาไรด์ (ซีวานันท์, 2559)

### 2.3.3.1 โครงสร้างของลิกนิน

ลิกนินมีโครงสร้างที่เกิดจากฟีนิลโพรพานอยด์ (Phenylpropanoids) เป็นหมู่ย่อยของ ลิกนินประกอบกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ที่มีหมู่เมทิล (Methyl group, R-CH<sub>3</sub>) อยู่บนโมเลกุลลิกนินจาก เนื้อไม้อ่อน หล้าและไม้เนื้อแข็ง มีองค์ประกอบของหมู่แทนที่พวกเมธอกซี (Methoxy) และการเกิด พันธะระหว่างหมู่ฟีนิลที่แตกต่างกัน (รูปที่ 2.8)



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของลิกนิน

ที่มา : <https://gunillaofsweden.com/wp-content/uploads/2019/09/Lignin.gif>

### 2.3.3.2 สมบัติของลิกนิน

สมบัติที่สำคัญคือ ไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว จึงต้องสกัดลิกนินในตัวทำละลาย อินทรีย์ที่มีขั้วสูง แต่บางส่วนในกลุ่มของอัลคาไลน์ลิกนิน (Alkaline lignin) สามารถละลายได้ในตัว ทำละลายพวกไดออกเซน (Dioxane), ไพริดีน (Pyridine) และสารละลายเบสเจือจาง นอกจากนี้เมื่อ เติมหมู่เมทิล (Methyl group, R-CH<sub>3</sub>) และหมู่อะซิติก (Acetyl group, R-COCH<sub>3</sub>) จะเกิดการแทนที่ ที่ตำแหน่งต่างๆบนวงแหวนเบนซีน (Benzene) ของโครงสร้างลิกนิน ทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสง และเมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงเป็นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, R-OH) ให้กับ โครงสร้างของลิกนิน จึงทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 280 นาโน เมตรได้ ลิกนินจะอยู่ร่วมกับเซลลูโลสในเนื้อไม้ มีพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างลิกนินและ เซมิเซลลูโลส จึงทำให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรงตามธรรมชาติ และทำให้จุลินทรีย์กับเอนไซม์ ไม่สามารถทำลายโครงสร้างพืชได้ (ซีวานันท์, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส
คำนิยาม	เซลลูโลสหมายถึงคาร์โบไฮเดรตเดี่ยวซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์พืช	เฮมิเซลลูโลสหมายถึงส่วนประกอบของผนังเซลล์ของพืชซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างที่ง่ายกว่าเซลลูโลส
ความสำคัญ	- เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์โซ่ยาวในผนังเซลล์ของพืช - เซลลูโลสสามารถใช้ในการผลิตกระดาษสิ่งทอเวชภัณฑ์และวัตถุระเบิด	- เฮมิเซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์เชื่อมโยงของผนังเซลล์พืช - เฮมิเซลลูโลสสามารถใช้ในการผลิตกระดาษเฟอร์พิวรีลและเอทานอล
ประเภทของโมโนเมอร์	เซลลูโลสทำโดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของ Glucose- กลูโคส	เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยไซโลสกาแลคโตสแมนโนสแรมแฮมโนสและอาราบินอส
ความยาวของพอลิเมอร์	เซลลูโลสประกอบด้วยโซ่ยาว (7,000 – 15,000 หน่วยน้ำตาล)	เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยโซ่สั้น (500–3,000 หน่วยน้ำตาล)
คุณสมบัติทางกายภาพ	เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์แบบผลึกและโพลิเมอร์ที่แข็งแรง	เฮมิเซลลูโลสมีพอลิเมอร์อสัณฐานมีความแข็งแรงน้อย
ความอุดมสมบูรณ์	เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบโครงสร้างหลักของผนังเซลล์หลักของพืช	เฮมิเซลลูโลสมีอยู่พร้อมกับเซลลูโลส
การแตกแขนง	เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีการเติม	เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์แบบแขนง
การสังเคราะห์	เซลลูโลสถูกสังเคราะห์โดยคอมเพล็กซ์เทอร์มินัล Rosette (RTCs) ที่พลาสมาเมมเบรน	เฮมิเซลลูโลสสังเคราะห์จากนิวคลีโอไทด์น้ำตาลใน Golgi body
การย่อย	เซลลูโลสสามารถย่อยได้โดยสัตว์เคี้ยวเอื้อง	เฮมิเซลลูโลสสามารถย่อยได้ง่ายทั้งจากมนุษย์และสัตว์เคี้ยวเอื้อง
การย่อยสลาย	เซลลูโลสสามารถทนต่อการไฮโดรไลซิส	เฮมิเซลลูโลสสามารถย่อยสลายได้ง่ายโดยกรดหรือเบสเจือจาง

ที่มา : <https://th.strephonsays.com/difference-between-cellulose-and-hemicellulose>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 องค์ประกอบของกาบหมาก

### 2.4.1 องค์ประกอบทางเคมี

เส้นใยประกอบด้วยส่วนประกอบทางเคมีพื้นฐาน 3 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) เส้นใยของกาบหมากมีเซลลูโลสร้อยละ 56.8 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 22.4 และลิกนินร้อยละ 6.3 ตามลำดับ

### 2.4.2 ดัชนีความเป็นผลึกและมุมไมโครไฟบริลลา

แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงและความชันโมดูลัส (อัตราส่วนความเค้นต่อความเครียด) ของเส้นใยขึ้นอยู่กับดัชนีความเป็นผลึกและมุมไมโครไฟบริลลา ดัชนีความเป็นผลึกที่สูงขึ้นและมุมของไมโครไฟบริลลาที่ลดลงจะเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยเซลลูโลส ดัชนีความเป็นผลึกและมุมไมโครไฟบริลลาของเส้นใยกาบหมากอยู่ที่ร้อยละ 56.5 และ 35.2 ตามลำดับ

### 2.4.3 ปริมาณความชื้นของเส้นใย

เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติของกาบหมากมีกลุ่มไฮดรอกซิลิก -OH ในโมเลกุล โมเลกุลน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศจะดึงโมเลกุลที่ชอบน้ำและสร้างพันธะไฮโดรเจน พบว่าความชื้นเส้นใยกาบหมากอยู่ที่ร้อยละ 11.9

### 2.4.4 ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง

ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมคุณภาพของเส้นใย ประสิทธิภาพการประมวลผล และคุณสมบัติของสิ่งทอ ฯลฯ กาบหมากมีความยาวประมาณ 1-1.5 เมตร เส้นใยแต่ละเส้นจะยาวต่อเนื่องกันไปตามความยาวของฝัก ความยาวเส้นใยที่สกัดได้ขึ้นอยู่กับความยาวจากการตัดกาบหมากในระหว่างกระบวนการสกัดเส้นใย ความยาวเส้นใยสูงสุดจะเท่ากับ ความยาวของกาบใบ สังเกตได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแตกต่างกันไปตั้งแต่ 14-392  $\mu\text{m}$  โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 55  $\mu\text{m}$

### 2.4.5 ความแข็งแรงของเส้นใย

สมบัติที่สำคัญที่สุดประการหนึ่ง คือ คุณสมบัติการดึงของเส้นด้าย ขึ้นอยู่กับทั้งการจัดเรียงเส้นใยที่ซับซ้อนภายในโครงสร้าง รวมถึงคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของเส้นใย โดยความแข็งแรงของกาบหมาก คือ 18.8 g/tex (1 g/tex หมายความว่า 1 กรัม มีความยาว 1,000 เมตร) ที่ระยะพิกัด 5 เซนติเมตร ความต้านทานแรงดึงของเส้นใยเดี่ยว โมดูลัสเริ่มต้น และการยืดตัวที่จุดขาด คือ 400 MPa, 11.8 GPa และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คุณสมบัติของกาบหมากและการเปรียบเทียบเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของกาบหมากและการเปรียบเทียบเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ

ชื่อเส้นใย	เส้นผ่านศูนย์กลาง ( $\mu\text{m}$ )	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณเซลลูโลส (%)	ความเป็นผลึก (%)	ความแข็งแรงต่อแรงดึง (MPa)	ความชันโมดูลัส (GPa)
กาบหมาก	14-392	11.9	56.8	56.5	400	8.3
ใยฝ้าย	16-21	7.0-8.5	94	68.0	287-597	5.5-12.6
ปอกระเจา	30-140	12.6	61.5	55.0	393-773	26.5
กาบมะพร้าว	100-450	10.8	43	-	175	4.0-6.0
ใยป่านศรนารายณ์	100-300	10-22	65.8	71.7	511-635	9.4-22.0

ที่มา : <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/9032/properties-of-arecanut-leaf-sheath-fibre>

## 2.5 การย่อยสลายเซลลูโลส

การย่อยสลายเซลลูโลสทำได้ 2 วิธี คือวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ

**1) การย่อยสลายเซลลูโลสโดยวิธีทางเคมี** เป็นการย่อยสลายเซลลูโลสโดยใช้กรดหรือด่าง

การใช้กรด ปฏิบัติการย่อยสลายเกิดเป็น 2 ขั้นตอน

1.1) ย่อยสลายเซลลูโลสเป็นน้ำตาล

1.2) ใช้กรดย่อยสลายน้ำตาลให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์อื่น เช่น กรดลิวูลินิก (Levulinic acid) กับกรดฟอร์มิก (Formic acid) เป็นการย่อยสลายน้ำตาลให้เป็นผลิตภัณฑ์อื่น โดยกรดที่นิยมใช้ในการย่อยสลายเซลลูโลส ได้แก่ กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 15-20 นาที

การใช้ด่างในการย่อยสลายเซลลูโลส จะทำให้โครงสร้างผลึก (Crystalline) เกิดการบวมตัว (Swelling) และอาจมีน้ำตาลบางส่วนหลุดออกจากสายโพลีแซคคาไรด์ เมื่อนำพืชที่ผ่านการใช้ด่างไปย่อยสลายต่อโดยใช้เอนไซม์เซลลูโลส (Cellulase Enzyme) จึงทำให้เอนไซม์เซลลูโลสเข้าไปย่อยสลายพืชได้มากขึ้น ต่างที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) และแอมโมเนีย ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )

**2) การย่อยสลายเซลลูโลสโดยวิธีทางชีวภาพ** เป็นการย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์เซลลูโลส ข้อดีคือ ปฏิบัติการย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า ๆ และน้ำตาลที่ได้จะไม่ถูกย่อยสลายต่อ ทำได้ 2 วิธี

2.1) การย่อยสลายเซลลูโลสโดยเอนไซม์เซลลูโลสที่สกัดจากจุลินทรีย์พวกที่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสร้างเอนไซม์ตัวนี้ได้ ส่วนมากจะมีขายกันในทางการค้า มีกราคาแพง เช่น Meicelase และไม่ว่ากรณีใดๆ CFP-233 ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) การย่อยสลายเซลลูโลสโดยการเลี้ยงจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูโลสบนวัสดุที่ต้องการย่อยสลาย วิธีนี้จะประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าวิธีแรก

## 2.6 ฟองน้ำเซลลูโลสสังเคราะห์

กระบวนการเตรียมฟองน้ำสังเคราะห์ผ่านกระบวนการของเหลวหนืด มีใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมสิ่งทอผ่านกระบวนการวิสคอสเรยอน (Viscous Rayon process) มีทั้งหมด 7 ขั้นตอน (ชีวานันท์, 2559)

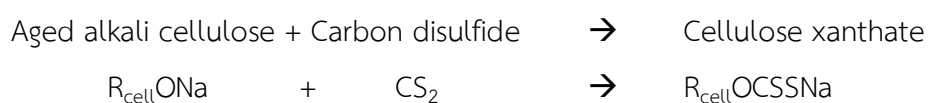
1) การแช่ (Steeping) เป็นการทำให้เยื่อ (Pulp) เป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ โดยการกำจัดเฮมิเซลลูโลสที่ละลายในด่าง (Alkali-Soluble Hemicellulose) ออกโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เพื่อให้เยื่อเซลลูโลสบวมตัว เพราะสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะถูกดูดซึมเข้าสู่เยื่อด้วยแคปิลลารีแอคชัน (Capillary action) แล้วแพร่เข้าสู่เส้นใยเซลลูโลสและจะเปลี่ยนรูปเป็น อัลคาไลน์เซลลูโลส (Alkali cellulose) หรือ ไวท์ครัมป์ (White crumb)



2) การกรอง (Pressing) เป็นการขจัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนเกินออกจาก Alkali Cellulose

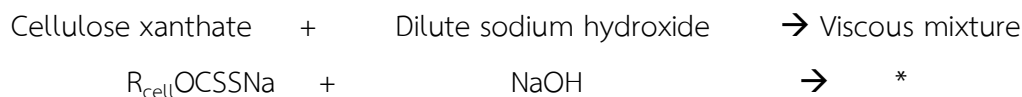


3) การหมัก (Aging) เป็นการควบคุมความหนืด (Viscosity) เป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตและความยาวเฉลี่ยของสายโซ่พอลิเมอร์ (Average chain length of Polymer) หรือจำนวนหน่วยซ้ำในสายพอลิเมอร์ (Degree of Polymerization, DP) ทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของเรยอน เป็นการรักษา Alkali Cellulose Crumb ภายใต้การควบคุมสภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลงและมี DP ก่อนที่จะทำปฏิกิริยาแซนเทชัน (Xanthation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้สายโซ่เซลลูโลสสั้นลง เมื่อสายโซ่สั้นลง DP และความหนืดลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) **ปฏิกิริยาแซนเทชัน (Xanthation)** เป็นการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นเซลลูโลสแซนเทต (Cellulose xanthate) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่ละลายน้ำได้ หลังจากนั้นใส่สารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon disulfide, CS<sub>2</sub>) เพื่อเปลี่ยน Cellulose เป็น Cellulose xanthate



5) **การละลาย (Dissolving)** เป็นการเปลี่ยน Xanthate crume มีลักษณะเป็นสีเหลืองส้ม ให้เป็นสารละลายข้นหนืด เรียกว่า วิสโคส (Viscous) โดยละลาย Xanthate crume ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาแซนเทชัน เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง ในอุณหภูมิต่ำเพื่อลดการสลายตัวของแซนเทตและลดการเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง

6) **การบ่ม (Ripening)** เพื่อให้เส้นใยมีคุณภาพและมีสมบัติตามต้องการ

7) **การขึ้นรูป (Forming)** เป็นการเปลี่ยนจากเซลลูโลสแซนเทตเป็นฟองน้ำเซลลูโลส โดยการเติมโซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) และขึ้นรูปด้วยกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ทำให้บริเวณที่ไม่มีโซเดียมซัลเฟตกลายเป็นรูพรุน



**ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของฟองน้ำ**

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของฟองน้ำ สามารถแบ่งออกได้ 5 ข้อ ดังต่อไปนี้ (ชีวพันธ์, 2559)

1) **ขนาดของอนุภาคของวัสดุ** ขนาดของอนุภาคส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่ผิวก่อน หากวัสดุมีพื้นที่ผิวมาก ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าวัสดุชนิดเดียวกันที่มีพื้นที่ผิวดำหว่า

2) **ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์** การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้เซลลูโลสย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลได้ง่าย จึงทำให้มีผลต่อการขึ้นรูปของฟองน้ำและความเป็นรูพรุนในโครงสร้างของเซลลูโลส

3) **ปริมาณคาร์บอนไดซัลไฟด์** โดยทั่วไปความสามารถในการดูดซึมของเหลวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณคาร์บอนไดซัลไฟด์ที่เพิ่มขึ้น พบว่าการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดซัลไฟด์ส่งผลให้การดูดซึมน้ำสูงขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดที่คาร์บอนไดซัลไฟด์ปริมาณ 20 มิลลิลิตร

4) **เวลาการบ่ม และอุณหภูมิ** เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่ม ค่าความหนืดจะลดลงในช่วงแรก (ประมาณชั่วโมงที่ 20) และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับค่าความหนืดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) เพราะมีการแทนที่ในปฏิกิริยาและเกิดการผันกลับของปฏิกิริยาของหมู่แซนเทต ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

(Xanthate group) และการบ่มโดยธาตุอัลคาไลน์ (Alkali) ความเข้มข้นของคาร์บอนไดซัลไฟด์ ระยะเวลาในการบ่มในขั้นตอน Xanthogenate และอุณหภูมิการบ่มโดยอัลคาไลน์ (Alkali) ในขั้นตอน Viscous process มีผลต่อองค์ประกอบความเป็นพอลิเมอร์ โดยการบ่มจะทำให้องค์ประกอบความเป็นพอลิเมอร์มีค่าลดลง และองค์ประกอบความเป็นพอลิเมอร์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความหนืดของสารละลายหนืด คือหากองค์ประกอบความเป็นพอลิเมอร์มีค่าต่ำ ค่าความหนืดของของผสมก็จะต่ำ หรือถ้าองค์ประกอบความเป็นพอลิเมอร์มีค่าสูง ค่าความหนืดของของผสมก็จะสูง

5) ปริมาณโซเดียมซัลเฟต ปริมาณโซเดียมซัลเฟตถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดการรวมตัวของโซเดียมซัลเฟต ส่งผลให้ฟองน้ำมีรูพรุนขนาดใหญ่ ทำให้ดูดซึมของเหลวได้น้อยกว่าฟองน้ำที่มีขนาดรูพรุนที่เล็กกว่า แต่มีการกระจายตัวของรูพรุนที่สม่ำเสมอกว่า

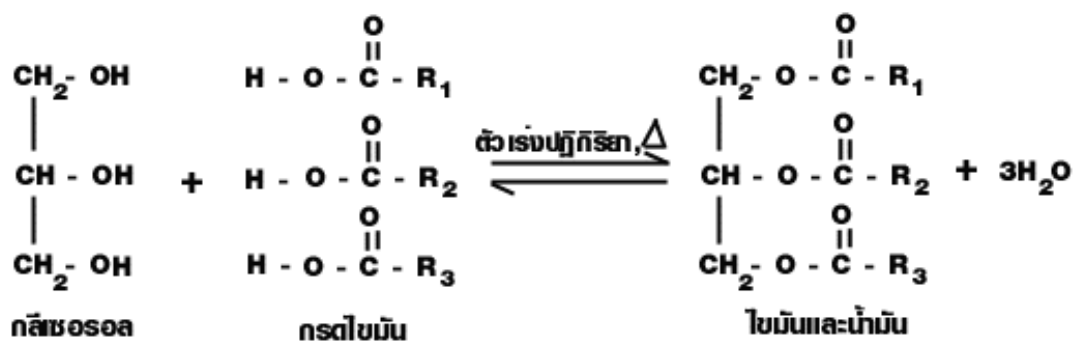
## 2.7 ไขมันและน้ำมัน (Oil and Grease)

ไขมันและน้ำมันมีอยู่ในธรรมชาติ สามารถพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ โดยในพืชมักพบอยู่ในเมล็ดและผล เช่น มะพร้าว ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มะกอก ปาล์ม เมล็ดฝ้าย เมล็ดทานตะวัน เป็นต้น และในสัตว์จะพบในไขมันสัตว์ ซึ่งสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน เช่น ไขมันหมู วัว เป็นต้น

ไขมันและน้ำมันเป็นเอสเทอร์และจัดเป็นสารอินทรีย์ประเภทเดียวกับไข (Wax) เรียกว่า ลิพิด (Lipid) และเป็นเอสเทอร์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ไม่มีขั้ว ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในตัวทำละลายไม่มีขั้ว โดยตัวทำละลายไม่มีขั้ว คือ ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ โพรพานอน เบนซีน เป็นต้น

ลิพิดแบ่งไขมันและน้ำมันโดยใช้สถานะเป็นเกณฑ์ โดยไขมันมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและน้ำมันมีสถานะเป็นของเหลว ทั้ง 2 อย่างมีโครงสร้างแบบเดียวกัน คือ เอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน โดยกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นสารประเภทแอลกอฮอล์ กรดไขมัน (Fatty acid) เป็นสารประเภทกรดอินทรีย์ เอสเทอร์ที่เป็นไขมันและน้ำมันเรียกทั่วไปว่า กลีเซอไรด์ (Glyceride) หรือกลีเซอริล เอสเทอร์ (Glyceryl Ester) (อนุสิษฐ์ เกื้อกุล, 2560) หมู่อัลคิล (R) ทั้ง 3 หมู่ในไขมันหรือน้ำมัน อาจเป็นชนิดเดียวกัน ต่างชนิดกันหรือเป็นสารประเภทอิมัลชันหรือไม่อิมัลชันก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 ปฏิกิริยาการเตรียมไขมันและน้ำมัน

ที่มา : [https://sites.google.com/site/bbmm2553/\\_/rsrc/1283959131442/khi-man-laea-naman/fat3.gif](https://sites.google.com/site/bbmm2553/_/rsrc/1283959131442/khi-man-laea-naman/fat3.gif)

### 2.7.1 สมบัติของไขมันและน้ำมัน

- 1) ไขมันและน้ำมันละลายได้ดีในเฮกเซน เพราะเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว
- 2) ไขมันหรือน้ำมัน 1 โมเลกุล เกิดจากกลีเซอรอล 1 โมเลกุล รวมตัวกับกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid, R-COOH) หรือกรดไขมัน 3 โมเลกุล ไขมันที่พบส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์
- 3) กรดไขมันอิ่มตัวมีพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนอะตอมเท่านั้น กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่อย่างน้อย 1 พันธะ
- 4) กรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดเพิ่มขึ้น ตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น
- 5) กรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนเท่ากัน แต่มีจำนวนพันธะคู่แตกต่างกัน จำนวนพันธะคู่ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้จุดหลอมเหลวลดลง ยิ่งพันธะคู่มากจุดหลอมเหลวยิ่งต่ำ
- 6) กรดไขมันอิ่มตัว ได้แก่ ลอริก (Lauric acid), ไมริสติก (Myristic acid), ปาล์มิติก (Palmitic acid), สเตียริก (Stearic acid) กรดไขมันอิ่มตัวมีสูตรทั่วไป คือ  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$
- 7) กรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ ปาล์มิตอเลอิก (Palmitoleic acid), โอลอิก (Oleic acid), ไลโนเลอิก (Linoleic acid), ไลโนเลนิก (Linolenic acid) กรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 1 พันธะ มีสูตรทั่วไป คือ  $\text{C}_n\text{H}_{(2n-2)}\text{O}_2$  กรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่ 2 พันธะ มีสูตรทั่วไป คือ  $\text{C}_n\text{H}_{(2n-4)}\text{O}_2$
- 8) การบริโภคอาหารประเภทไขมันหรือน้ำมัน จะถูกน้ำดีเปลี่ยนเป็นอิมัลชันก่อน จากนั้น เอนไซม์ไลเปส (Lipases) จะเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้กรดไขมันและกลีเซอรอล ซึ่งจะถูกร่างกายดูดซึมไปใช้ ถ้าใช้ไม่หมดจะเปลี่ยนเป็นไขมันสะสมไว้ในเนื้อเยื่อ และตามอวัยวะต่างๆ ทำให้เป็นโรคอ้วน
- 9) ไขมันและน้ำมันเมื่อทิ้งไว้นานๆ จะเกิดการเหม็นหืน ซึ่งสามารถป้องกันได้โดย เก็บที่อุณหภูมิต่ำ ปิดภาชนะให้สนิท เพื่อไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนและไอน้ำในอากาศ รวมถึงเติมสารป้องกันการเหม็นหืน เช่น BHA BHT หรือ วิตามินอี เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10) ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน เรียกว่าปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) จะเปลี่ยนน้ำมันที่มีสถานะเป็นของเหลวให้เป็นของแข็ง ใช้ในกระบวนการทำเนยเทียม (มาร์การีน, Margarine)

11) เมื่อต้มไขมันหรือน้ำมันกับสารละลายเบส จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้เกลือของกรดไขมันหรือสบู่ และกลีเซอรอล ปฏิกิริยานี้เรียกว่า สะaponification)

### 2.7.2 น้ำเสียที่เกิดจากไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมัน มักพบในรูปของน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง มีปริมาณร้อยละ 10 ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด ซึ่งเกิดจากการใช้ชีวิตประจำวัน การประกอบอาหารในครัวเรือนหรือจากสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีสารไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ หากไขมันและน้ำมันเหล่านี้ไม่ถูกกำจัดหรือบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและถูกปล่อยออกมาเป็นจำนวนมาก อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ผิวดิน ทำให้มีสภาพไม่น่าดูและขวางการซึมผ่านของออกซิเจนจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำ จึงทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งพืชและสัตว์ และอาจส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์บำบัดน้ำเสียที่มีอยู่ในน้ำตามธรรมชาติอีกด้วย ค่าไขมันและน้ำมันในแหล่งน้ำต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางค่าไขมันและน้ำมันในแหล่งน้ำต่างๆ

แหล่งน้ำ	ค่าไขมันและน้ำมันตามแหล่งน้ำ	ค่าไขมันและน้ำมันตามมาตรฐานน้ำทิ้ง
น้ำเสียชุมชน	14-38,000 mg/L โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 500 mg/L	ไม่เกิน 20 mg/L
น้ำเสียจากร้านอาหาร	14-38,000 mg/L โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 500 mg/L	ไม่เกิน 20 mg/L (ไม่เกิน 100 mg/L สำหรับอาคาร ประเภท จ.)
น้ำเสียจากบิมน้ำมันและโรงงาน	90-63,000 mg/L แล้วแต่สถานีและขนาดพื้นที่	ไม่เกิน 20 mg/L

ที่มา : คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับชุมชน, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

### 2.7.3 วิธีการกำจัดน้ำมันและไขมัน

การกำจัดน้ำมันและไขมันมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี

- 1) เติมน้ำมัน ประมาณ 2-5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำร่วมกับการเป่าอากาศ
- 2) การทำให้ลอย (Flotation) แล้วเก็บกวาดออกจากผิวน้ำ

3) การเพิ่มอุณหภูมิ เพื่อช่วยลดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันหรือไขมันทำให้ลอยขึ้นมา

4) การขุดดู ใช้สำหรับพวกน้ำมันหรือไขมันเกาะตามถังหรือเครื่องมือต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) การเป่าอากาศ เพื่อให้ฟองอากาศจำนวนพบน้ำมันหรือไขมันลอยขึ้น
- 6) วิธีการของ US EPA Method 1664 ที่ใช้ n-hexane เป็นตัวทำละลายและใช้ในการสกัดน้ำมันหรือ Hydrocarbons
- 7) การติดตั้งบ่อดักไขมัน ก่อนนำน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งหลักการทำงานของบ่อดักไขมัน น้ำเสียจะผ่านเข้ามาที่ตะแกรงดักเศษอาหาร ทำหน้าที่แยกเศษอาหารที่ปะปนมากับน้ำเสียน้ำเสียจะไหลผ่านมายังส่วนดักไขมัน โดยไขมันที่แยกตัวออกจากน้ำเสียจะลอยขึ้นเป็นชั้นเหนือน้ำ น้ำเสียที่อยู่ใต้ชั้นไขมันจะไหลเข้าสู่ถังบำบัดต่อไป ก่อนปล่อยออกสู่ธรรมชาติต่อไป โดยบ่อดักไขมันที่นิยมใช้ มีทั้งหมด 4 ประเภท
  - 1) บ่อดักไขมันแบบสำเร็จรูป
  - 2) บ่อดักไขมันอย่างง่าย
  - 3) บ่อดักไขมันแบบวงขอบซีเมนต์
  - 4) บ่อดักไขมันแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

## 2.8 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)

การดูดซับ เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) เป็นกระบวนการที่พวกสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะ คือสภาวะของเหลวกับของเหลว สภาวะก๊าซกับของเหลว สภาวะก๊าซกับของแข็ง หรือสภาวะของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับ เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent)

ในการดูดซับ ผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นจนถึงจุดสมดุลและหยุด ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะน้อยลงเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ

### 2.8.1 ประเภทของการดูดซับ

#### 1) การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มี

พลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ถือเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับไม่ทำอันตรายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุแต่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุล สารดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารดูดซับ และจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

## 2) การดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกละลายเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมให้เป็นสารประกอบใหม่ โดยมีพันธะเคมีที่เป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายถึงการกำจัดตัวถูกละลายออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง ความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1.ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	มากกว่า 50 กิโลจูลต่อโมล
2.อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3.แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4.การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้โดยลดความดัน	ส่วนใหญ่ไม่ผัน
5.การดูดซับบนก๊าซ-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดได้เฉพาะบางระบบ
6.พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7.รูปแบบชั้นของการดูดซับ	ชั้นเดียวหรือหลายชั้น	ชั้นเดียว

ที่มา : <http://dcms.lib.nu.ac.th/dcms/00021/chapter2.pdf>

### 2.8.2 วัสดุดูดซับ

สารที่สามารถดูดซับสารอื่นไว้ที่ผิวได้ปริมาณมาก มักเป็นสารที่มีพื้นที่ผิวมากหรือสารที่มีรูพรุนภายในมาก สามารถแบ่งได้ 5 ประเภท ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) สารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ, แมกนีเซียมออกไซด์, Activated Silica สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก แต่ข้อเสียคือ การจับโมเลกุลหรือคอลลอยต์ได้เพียงไม่กี่ชนิด
- 2) ถ่านกัมมันต์ อาจจัดเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์ แต่เป็นสารดูดติดผิวที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่นๆ มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตรต่อกรัม
- 3) สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งสารนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม
- 4) วัสดุชีวภาพ (Biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น ชี้อัลเลอคาทิก้าและซาเซียว ฟางข้าว ชิงข้าวโพด เปลือกไม้ เห้าเกลือบด้า
- 5) สารดูดซับชีวภาพ (Biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่างๆและสาหร่าย

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชิวานันท์ (2559) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของฟองน้ำเซลลูโลสจากฟางข้าว โดยมีการศึกษาปัจจัยของขนาดอนุภาคของวัสดุชีวมวล ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และเวลาบ่มหลังเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ที่มีต่อความหนืดของของเหลวหนืด การขึ้นรูปได้ และสมบัติของฟองน้ำเซลลูโลสด้วยชีวมวลจากฟางข้าว ผ่านกระบวนการของเหลวหนืดแล้วขึ้นรูปเป็นฟองน้ำเซลลูโลส พบว่า การเพิ่มขนาดอนุภาคเฉลี่ยความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ความหนืดของของเหลวหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มคาร์บอนไดซัลไฟด์ และเวลาที่ใช้บ่มหลังเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ ทำให้ความหนืดของของเหลวหนืดมีแนวโน้มลดลง แต่ยังไม่สามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างอนุภาคของวัสดุชีวมวล ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณคาร์บอนไดซัลไฟด์ และเวลาบ่มหลังเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ ที่มีความหนาแน่นความสามารถการดูดซึมน้ำ และน้ำมันพืชของฟองน้ำเซลลูโลสจากฟางข้าวได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมฟองน้ำเซลลูโลสด้วยฟางข้าว คือ สภาวะที่ใช้ฟางข้าวขนาดอนุภาคเฉลี่ย 297  $\mu\text{m}$  แซ่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10% wt เติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ปริมาตร 20 mL และใช้เวลาบ่มหลังเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ 60 นาที โดยที่สภาวะนี้ฟองน้ำที่เตรียมได้มีค่าความหนาแน่น 0.55  $\text{g}/\text{cm}^3$  มีความสามารถในการดูดซึมน้ำและน้ำมันพืช เท่ากับ 4.03 และ 1.73 เท่าของน้ำหนักแห้ง ซึ่งงานวิจัยนี้มีความสามารถพัฒนาการดูดซับน้ำและน้ำมันพืชของฟองน้ำเซลลูโลสจากฟางข้าวได้เพิ่มขึ้น

สวรรรยา, เกื้อกุล, กล้าณรงค์ (2561) ศึกษาการผลิตเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลังที่ผ่านการสกัดแป้งแล้ว โดยศึกษาสมบัติทางเคมีทางกายภาพ และพฤติกรรมทางการไหลของเซลลูโลส โดยกากมันสำปะหลังมีปริมาณแป้งสูงร้อยละ 55 (โดยน้ำหนักแห้ง) เมื่อผ่านการสกัดแป้งด้วยเอนไซม์

แอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) มีปริมาณแป้งลดลงเหลือเพียง ร้อยละ 0.39 (โดยน้ำหนักแห้ง) และมีปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 39 โดยน้ำหนัก เรียกว่า กากมันสำปะหลังที่ผ่านการสกัดแป้ง (Destarched Cassava Pulp ; DPC) ทำการแยกเซลลูโลสจากการมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Alkali Treatment) แล้วทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมคลอไรท์ (Bleaching Treatment หรือการฟอกสี) ที่อุณหภูมิสูง 80 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 5 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เซลลูโลสจากกากมันสำปะหลังที่ได้มีค่าความสว่าง (ค่า  $L^*$ ) สูงที่สุด 81.85 พบว่าเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลังมีปริมาณลิกนินและเฮมิเซลลูโลสมีค่าลดลง และมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 81.17 โดยน้ำหนักแห้ง) เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FT-IR Spectroscopy) พบว่าลิกนินถูกกำจัดออกได้เป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ จากการศึกษาผลของค่าพีเอชต่อพฤติกรรมกาวไหลของเซลลูโลส พบว่า เซลลูโลสจากกากมันสำปะหลังแสดงพฤติกรรมคล้ายเจล (Gel like) และมีพฤติกรรมกาวไหลแบบเชียร์ทินนิง (Shear Thinning) คือ ความหนืดลดลงด้วยแรงเฉือนที่สูงขึ้นมีเสถียรภาพที่ดีในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 3, 7 และ 11 ตามลำดับ

**สุวรรณา และคณะ (2553)** ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตฟองน้ำเซลลูโลสจากฟางข้าว โดยมุ่งเน้นไปที่การปรับสภาพฟางข้าว ก่อนนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตฟองน้ำเซลลูโลส ทดลองโดยทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิที่มีผลต่อการปรับสภาพฟางข้าว พบว่า สภาวะที่เหมาะสมกับการปรับสภาพ คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมาผลิตเป็นฟองน้ำเซลลูโลส ผ่านกระบวนการปรับสภาพมาผลิตเป็นฟองน้ำเซลลูโลสผ่านกระบวนการเตรียมวิสคอส (Viscose Process) โดยศึกษาผลของปริมาณเซลลูโลสในสารละลายวิสคอส อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตและปริมาณเส้นใยฝ้ายที่มีต่อการดูดซับน้ำ การพองตัว และการทนต่อแรงดึงของฟองน้ำเซลลูโลส จากผลการทดลองจะพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟองน้ำเซลลูโลส ได้แก่ สภาวะที่มีปริมาณเซลลูโลสในวิสคอสร้อยละ 6 อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2 และใส่เส้นใยฝ้ายร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักวิสคอส และฟองน้ำที่ผลิตได้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูงมากถึง 31 เท่า เมื่อเทียบกับน้ำหนักของฟองน้ำแห้ง จากผลการทดลองนี้ ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ สามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าผลงานวิจัยเดิมถึง 2.14 เท่า พบว่าการเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในสารละลายวิสคอสจะทำให้ปริมาณน้ำที่ดูดซับได้และการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาณเส้นใยฝ้ายจะทำให้ปริมาณที่ดูดซับได้ลดลง แต่จะทำให้ทนต่อแรงดึงมากขึ้น และการเพิ่มปริมาณโซเดียมซัลเฟตทำให้ปริมาณน้ำที่ดูดซับได้เพิ่มมากขึ้น แต่ทำให้การทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลง

**ศิริกัลยา และคณะ (2549)** ทำการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าว เพื่อใช้ดูดซึมไขมันในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมฟองน้ำ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณสารละลายคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิที่ใช้ในการ

บ่ม การผลิตฟองน้ำต้องผ่านการเตรียมสารละลายหนืด (Viscose Preparation) การเตรียมฟองน้ำ เซลลูโลส (Regeneration Cellulose Sponge) ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าวที่ผลิตได้ถูก นำไปทดสอบการดูดซึม พบว่าที่อุณหภูมิห้องสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 18 คาร์บอนไดออกไซด์ 45 มิลลิลิตร อุณหภูมิการบ่ม 35 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่าง สารละลายหนืดกับโซเดียมซัลเฟต 1:2 จะให้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าวที่สามารถดูดซึม ไขมันในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางได้ดีที่สุด โดยสามารถดูดซึมไขมันได้ 14.79 กรัมต่อหนึ่งกรัมของ ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าว ซึ่งคิดเป็นปริมาณเกือบ 2 เท่า เมื่อเทียบกับฟองน้ำมาตรฐาน ทั่วไป

**อรทัย และคณะ (2011)** การดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ชานอ้อยและชานอ้อยที่ ปรับสภาพทางเคมีด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ซึ่งการศึกษาทั้งหมดอยู่ใน รูปแบบการทดลองแบบกะ โดยปัจจัยการดูดซับที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ค่า pH ระยะเวลาสัมผัส และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมัน นอกจากนี้เป็นการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ เพื่อใช้หาค่า ความสามารถในการดูดซับและอธิบายกลไกการดูดซับที่เกิดขึ้น รวมทั้งศึกษาการคายซับของชานอ้อย และชานอ้อยที่ปรับสภาพหลังผ่านกระบวนการดูดซับ จากผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมใน การดูดซับน้ำมันโดยใช้ชานอ้อยและชานอ้อย ที่การปรับสภาพ คือ 6 ระยะเวลาในสัมผัส 120 นาที และความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ สภาวะดังกล่าว ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของ ชานอ้อยและชานอ้อยที่ปรับสภาพเท่ากับร้อยละ 72.03 และ 79.55 สมการไอโซเทอร์มที่เหมาะสม ในการอธิบายกลไกการดูดซับของน้ำมัน คือ Langmuir Isoterm ซึ่งอธิบายว่า กลไกการดูดซับเป็น การดูดซับแบบชั้นเดียวและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นปัจจัยการดูดซับที่สำคัญ สำหรับความสามารถ ในการดูดซับสูงสุดของชานอ้อยและชานอ้อยที่ปรับสภาพมีค่าเท่ากับ 1.15 และ 2.55 มิลลิกรัมต่อ ลิตร และเมื่อศึกษาการคายซับพบว่าประสิทธิภาพการคายซับมีค่าเท่ากับร้อยละ 99.8 และ 99.9 ตามลำดับ จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าชานอ้อยและชานอ้อยที่ปรับสภาพเป็นตัวดูดซับที่มี ประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันและการใช้วัสดุดังกล่าวจัดว่าเป็นการจัดการวัสดุเหลือทิ้ง หรือเป็น วิธีการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น QUANTA 250 บริษัท FEI COMPANY ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องวิเคราะห์พื้นผิวและรูพรุน (Surface Area and Pore Size Analyzer) รุ่น AUTOSORB iQ-C-XR-XR-XR บริษัท ยี่ห้อ QUANTACHROME ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บริษัท METTLER TOLEDO
4. เครื่องบด
5. ตู้อบ (Oven) Memmert UN55
6. ชุดกรองแบบลดความดัน
7. ตะแกรงร่อน 35 เมช
8. เครื่องอ่างไอน้ำ (Water Bath)
9. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
10. ภาชนะกรวยไยแก้ว
11. เพลทแก้ว (Glass Petri dish)
12. อลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum foil)
13. พาราฟิล์ม (Parafilm)
14. ถุงซิปล็อค
15. เครื่องแก้วต่างๆ

##### 3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก เกรดวิเคราะห์ (Analytical grade) บริษัท Loba Chemie PVT.LTD
2. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, Conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) เข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร เกรดวิเคราะห์ (Analytical grade) บริษัท Loba Chemie PVT.LTD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) เกรดวิเคราะห์ (Analytical grade) ยี่ห้อ บริษัท CARLO ERBA Reagents
4. คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon disulfide,  $\text{CS}_2$ ) เกรดวิเคราะห์ (Analytical grade) ยี่ห้อ ExpertQ บริษัท Scharlab S.L.
5. เฮกเซน (n-Hexane) เกรดอุตสาหกรรม (Commercial grade) ยี่ห้อ Labguard บริษัท Mallinckrodt pharmaceuticals

### 3.2 วัตถุดิบ

กาบหมาก จากตำบลเสาเภา อำเภอสีชล จังหวัดนครศรีธรรมราช

### 3.3 การเตรียมวัตถุดิบ

นำเปลือกหมากและกาบหมากไปบดด้วยเครื่องบด ร้อนด้วยตะแกรง 35 เมช จากนั้นอบไล่ความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บใส่เดซิคเคเตอร์เพื่อป้องกันความชื้น

### 3.4 การเตรียมสารละลายหนืดต่อเกลือโซเดียมซัลเฟต (Viscous Solution : $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ในการเตรียมฟองน้ำเซลลูโลส

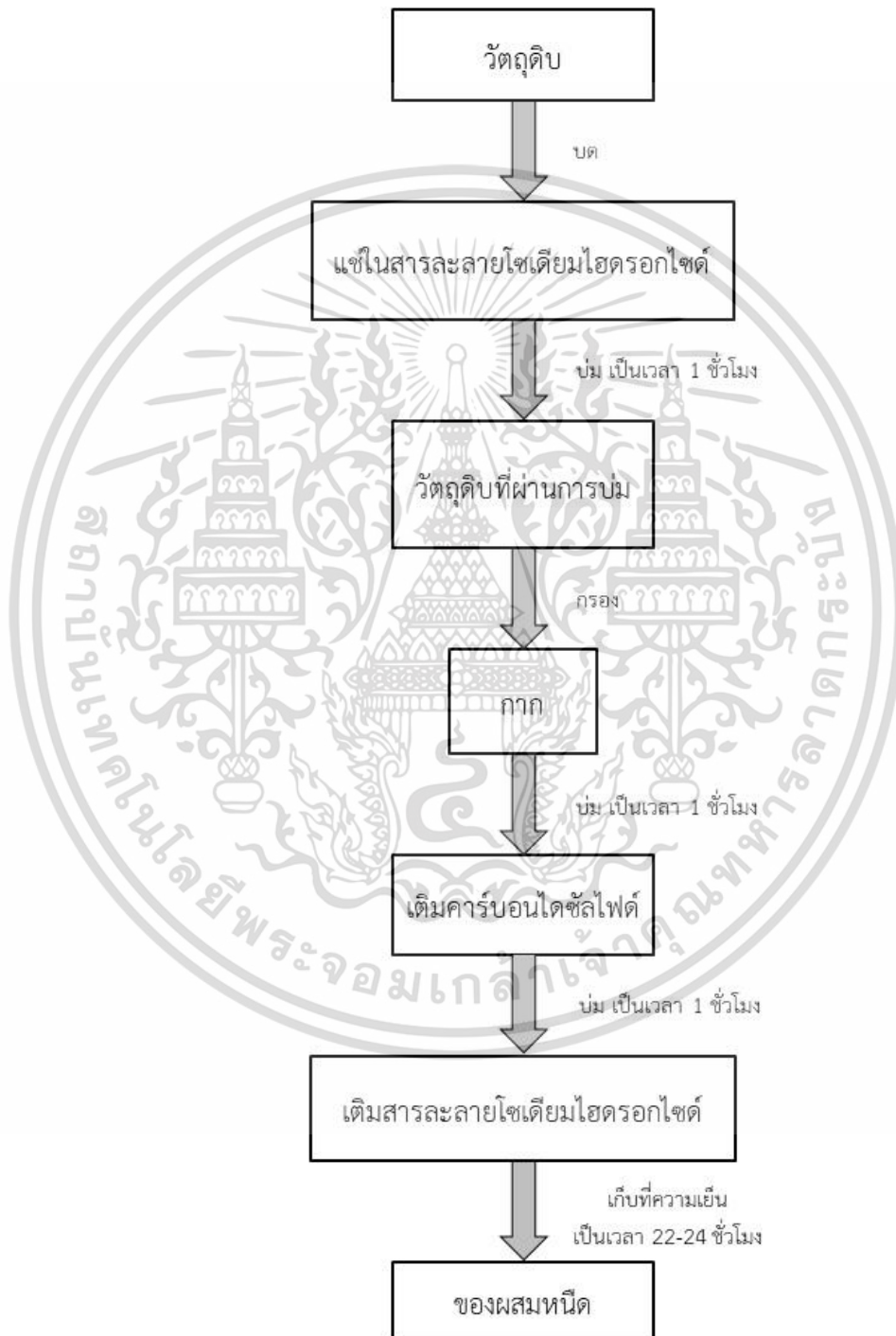
#### 3.4.1 การเตรียมสารละลายหนืด (Viscous solution)

การผลิตสารละลายหนืดจากกาบหมากใช้สภาวะที่เหมาะสม อ้างอิงจากงานวิจัยของ ชีวานันท์ (2559) และ นาวี (2562) ดังแสดงในภาพที่ 3.1

1. นำวัตถุดิบที่ทำการอบไล่ความชื้นเรียบร้อยแล้ว จำนวน 10 กรัม ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก พร้อมให้ความร้อน 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที (สภาวะที่เหมาะสมจากงานวิจัยของ ชีวานันท์. 2559 และ นาวี. 2562)
2. กรองเอากากออกโดยใช้ชุดกรองแบบลดความดัน ใส่กากลงในขวดรูปชมพู่ ปิดด้วยพาราฟิล์ม บ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
3. เติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน จากนั้นปิดพาราฟิล์ม บ่มทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก 15 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน จากนั้นปิดพาราฟิล์ม จากนั้นนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $10 \pm 3$  องศาเซลเซียส บ่มทิ้งไว้ 22-24 ชั่วโมง จะได้สารละลายหนืดคล้ายน้ำผึ้ง



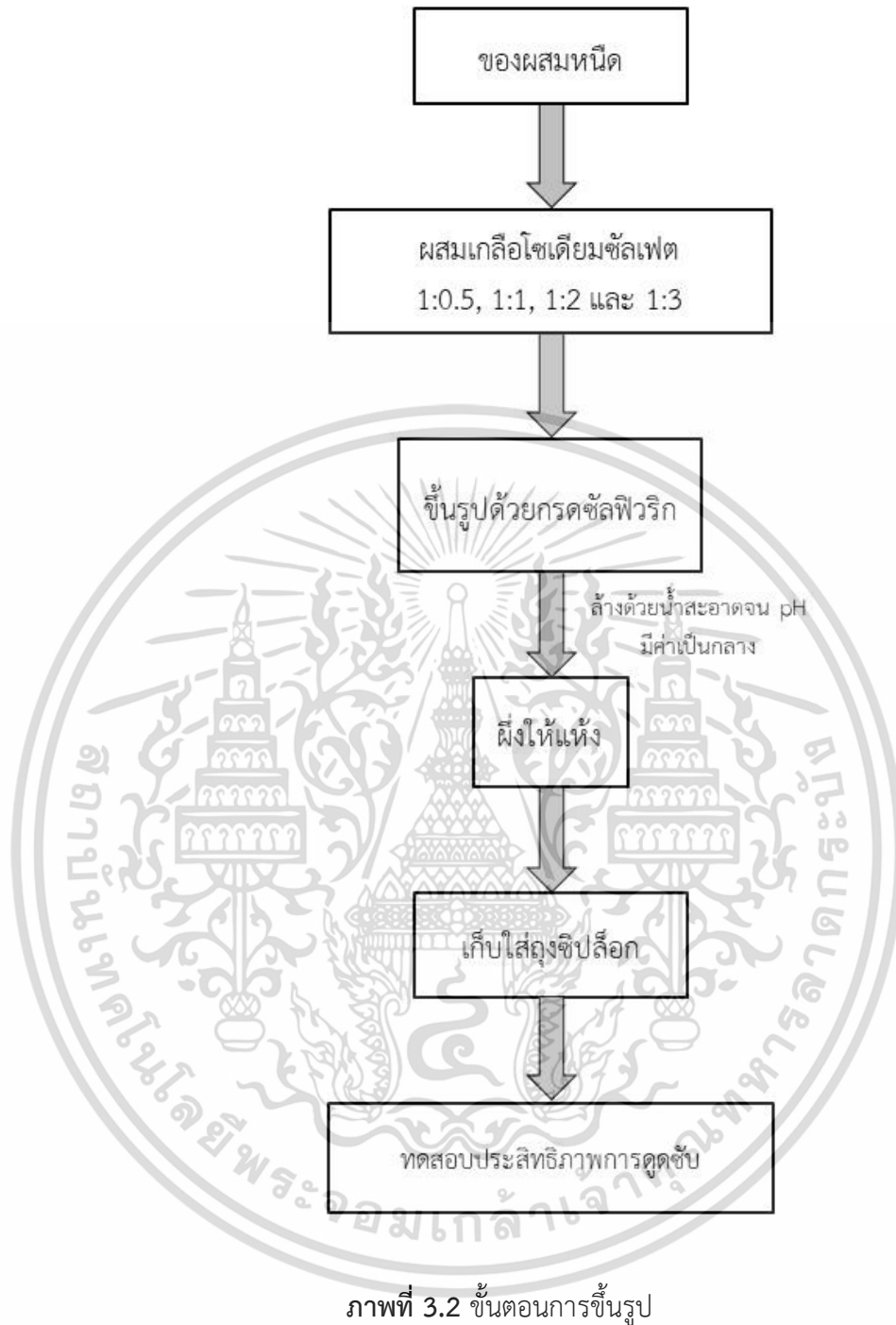
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายหนืด  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การผลิตฟองน้ำ

มีรายละเอียดขั้นตอนการขึ้นรูปฟองน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3.2

1. นำสารละลายหนืดจากข้อ 3.4.1 จำนวน 22.xx กรัม ผสมกับเกลือโซเดียมซัลเฟต ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก
2. เทลงแม่พิมพ์เพลทแก้ว
3. เทกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ทิ้งให้ขึ้นรูปเป็นฟองน้ำ
4. ล้างด้วยน้ำสะอาดจนกว่าจะมีค่า pH เป็นกลาง ผึ่งให้แห้ง เก็บใส่ถุงซิปล็อค เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่แปรค่าสารละลายหนืดกับเกลือโซเดียมซัลเฟต ในอัตราส่วน 1:0.5, 1:2 และ 1:3 โดยน้ำหนัก
6. ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี โดยวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ใช้สภาวะดังแสดงในตารางที่ 3.1 และศึกษาพื้นที่ผิวดูดซับและปริมาตรรูพรุน โดยใช้ Surface Area and Pore Size Analyzer ใช้สภาวะดังแสดงในตารางที่ 3.2
7. ศึกษาความหนาแน่นของฟองน้ำเซลลูโลส โดยคำนวณจากน้ำหนักชิ้นงานหารปริมาตร (กว้าง x ยาว x สูง)
8. สังเกตลักษณะการขึ้นรูปฟองน้ำเซลลูโลสด้วยสายตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สภาวะของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

Mode	Hi-vacuum
HV (kv)	10
WD (mm)	7.1
Mag	1000 x
det	ETD
HFW	414 $\mu$ m

ตารางที่ 3.2 สภาวะการวิเคราะห์ Surface Area and Pore Size Analyzer, BET

Sample Weight	0.0252 g
Analysis Gas	Nitrogen
Analysis Time	3:52 hr:min
Analysis Mode	Standard
Out gas time	2.5 hrs
Out gas temperature	200°C

### 3.5 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ

1. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำมันพืชปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น
3. นำฟองน้ำที่ผลิตได้ซึ่งน้ำหนักประมาณ 1.0xx กรัม โดยทำการตัดเป็นชิ้นขนาด 1 x 1.5 cm
4. นำฟองน้ำลงไปแช่ในน้ำตัวอย่างเป็นเวลา 15 นาที
5. นำฟองน้ำออกแล้วพักไว้บนตะแกรง เพื่อให้น้ำมันส่วนเกินหยดลงบีกเกอร์เป็นเวลา 5 นาที หรือจนกว่าจะไม่หยด
6. นำน้ำตัวอย่างที่เหลือไปวิเคราะห์หาปริมาณไขมันและน้ำมัน (Fat, Oil and Grease, FOG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 7. นำน้ำหนักที่วิเคราะห์ไปคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำ (Fat, Oil and Grease, FOG)

วิธีการมาตรฐานของ US EPA 1664 ใช้ n-hexane เป็นตัวทำละลายในการสกัดไขมันและน้ำมัน n-Hexane ใช้สกัด Hydrocarbons ที่ไม่ระเหยง่าย น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ ไข (Waxes) สบู่ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับน้ำมัน ปิโตรเลียม น้ำมันเชื้อเพลิง ล้วนถูกสกัดด้วย n-hexane แต่ในน้ำมันบางชนิด หรือน้ำมันเชื้อเพลิงหนักอาจมีสารประกอบที่ไม่ละลายใน n-hexane อย่างไรก็ตาม อาจสูญเสียบางส่วนไป เนื่องจาก n-hexane ระเหยได้ต่ำกว่า 85 องศาเซลเซียส ทำให้มีการกู้คืนที่ต่ำ

1. อบอุ่นระเหยให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก
2. เติมนครดซัลฟิวริกเข้มข้นในน้ำตัวอย่างจน pH น้อยกว่า 2
3. เทตัวอย่างน้ำผสมลงในกรวยแยก ล้างขอบบีกเกอร์ด้วยเฮกเซนจำนวน 10-15 มิลลิลิตร ก่อนเติมลงในกรวยแยก
4. เขย่าอย่างแรงประมาณ 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ สารผสมจะแยกชั้น ชั้นเฮกเซนจะอยู่ส่วนบน ส่วนตัวอย่างน้ำผสมจะอยู่ส่วนล่าง
5. ถ่ายชั้นน้ำลงในบีกเกอร์ เพื่อนำมาสกัดอีกครั้ง
6. ถ่ายชั้นของเฮกเซนซึ่งมีไขมันและน้ำมันละลายอยู่ ผ่านกรวยกรองที่มีโซเดียมซัลเฟตบนกระดาษกรองลงในถ้วยระเหย
7. ทำการสกัดซ้ำ ด้วยวิธีเดียวกันนี้ ประมาณ 3-4 ครั้ง (ครั้งสุดท้ายของการสกัดใช้เฮกเซน 5 มิลลิลิตร เพื่อล้างคราบน้ำมันบริเวณขอบกรวยแยก)
8. นำถ้วยระเหยซึ่งมีเฮกเซนและไขมันและน้ำมันละลายอยู่ ตั้งทิ้งไว้จนกว่าเฮกเซนจะระเหยออกไปจนหมด และนำไปอบให้แห้ง
9. ชั่งน้ำหนัก และคำนวณปริมาณไขมันและน้ำมัน, ร้อยละการดูดซับ และประสิทธิภาพการดูดซับต่อน้ำหนักแห้งของน้ำ

### 3.7 การคำนวณ

$$\text{ไขมันและน้ำมัน (mg/L)} = (B - A) \times \frac{10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (mL)}}$$

โดยที่ A = น้ำหนักถ้วยระเหยหลังอบ

B = น้ำหนักถ้วยระเหยหลังรองรับน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (FOG<sub>control</sub> - FOG<sub>after</sub>) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$\% \text{ Removal} = \frac{\text{FOG}_{\text{control}} - \text{FOG}_{\text{after}}}{\text{FOG}_{\text{control}}} \times 100$$
  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะสิ่งใดจากเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำมันที่ดูดซับต่อน้ำหนักแห้งของฟองน้ำ (mg/L ต่อ g)

$$= \frac{(FOG_{control} - FOG_{after})}{\text{น้ำหนักแห้งฟองน้ำ}}$$

โดยที่  $FOG_{control}$  = ปริมาณน้ำมันที่วิเคราะห์ได้ของ Control

$FOG_{after}$  = ปริมาณน้ำมันที่วิเคราะห์ได้ของฟองน้ำที่ใช้ดูดซับ

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{มวล (g)}}{\text{ปริมาตร (cm}^3\text{)}}$$

โดยที่ มวล = น้ำหนักฟองน้ำ 1 ชิ้น ขนาด 1 x 1.5 cm

ปริมาตร = กว้าง x ยาว x สูง ของฟองน้ำ 1 ชิ้น ขนาด 1 x 1.5 cm

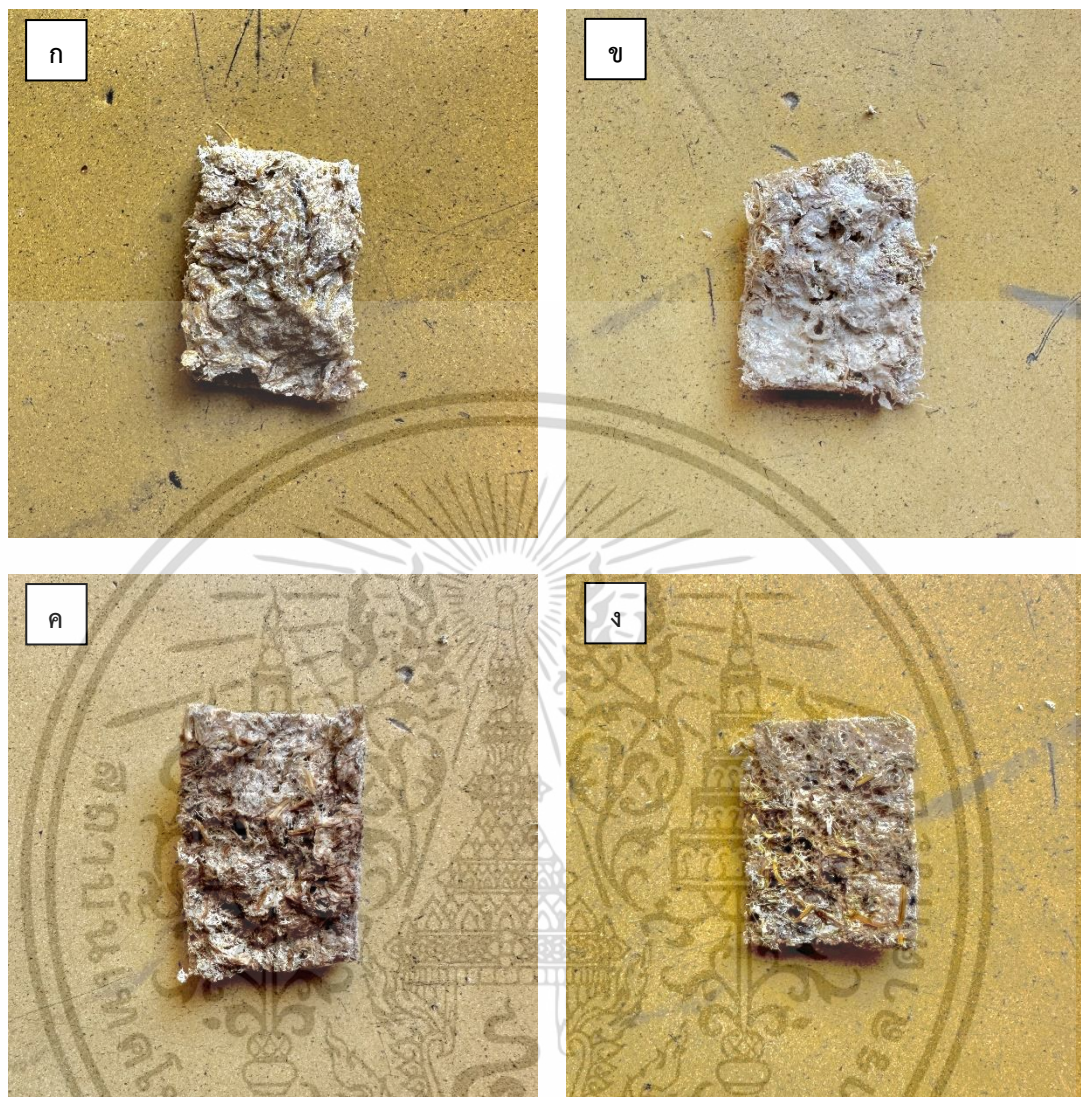
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การศึกษาอัตราส่วนโซเดียมซัลเฟตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตฟองน้ำเซลลูโลสจากกากหมาก เพื่อใช้ในการดูดซับน้ำมัน ในขั้นตอนการผลิตสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถเกิดเป็นสารละลายหนืดอ้างอิง จากงานวิจัยของชิวานันท์ (2559) และนาวิ (2562) ดังนี้ ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อน 70-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชม. บ่มที่อุณหภูมิห้องจะได้อัลคาไลน์ เซลลูโลส (Alkali Cellulose) เติมนคาร์บอนไดออกไซด์ 20 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักแห้ง 10-20 กรัม เพื่อ เปลี่ยนอัลคาไลน์เซลลูโลส (Alkali Cellulose) เป็นเซลลูโลสแซนเทต (Cellulose Xanthate) จากนั้น เจือจางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก จะได้สารละลายหนืด (Viscous Solution) นำไปแช่เย็น เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์ ขึ้นรูปโดยแปรค่าอัตราส่วนสารละลายหนืดต่อ เกลือโซเดียมซัลเฟต 1:0.5, 1:1, 1:2 และ 1:3 แล้วขึ้นรูปฟองน้ำโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร

การผลิตฟองน้ำเซลลูโลสจากกากหมาก โดยใช้อัตราส่วนสารละลายหนืดต่อเกลือโซเดียมซัลเฟต ได้แก่ 1:0.5, 1:1, 1:2 และ 1:3 สังเกตลักษณะภายนอกของฟองน้ำ พบว่า อัตราส่วน 1:0.5 และ 1:1 มีความหนาที่สุด และอัตราส่วน 1:2 และ 1:3 มีความบางที่สุด ทั้งนี้ การขึ้นรูปในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันเนื่องจากขึ้นรูปด้วยมือ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความคลื่อนที่เกิดจากคน (Human error) ความหนาจะลดลงตามปริมาณเกลือที่เติมลงไป ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุวรรณา (2553) ที่พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต ทำให้ปริมาณรูพรุนมีแนวโน้มมากขึ้นและการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง และทำให้พื้นที่ผิวของฟองน้ำมีการยึดเกาะน้อยลง



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างชิ้นงานฟองน้ำเซลลูโลสจากกาบหมากที่ผลิตได้ อัตราส่วน (ก) 1:0.5, (ข) 1:1, (ค) 1:2, (ง) 1:3

#### 4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี

##### 4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะฟองน้ำด้วยสายตา

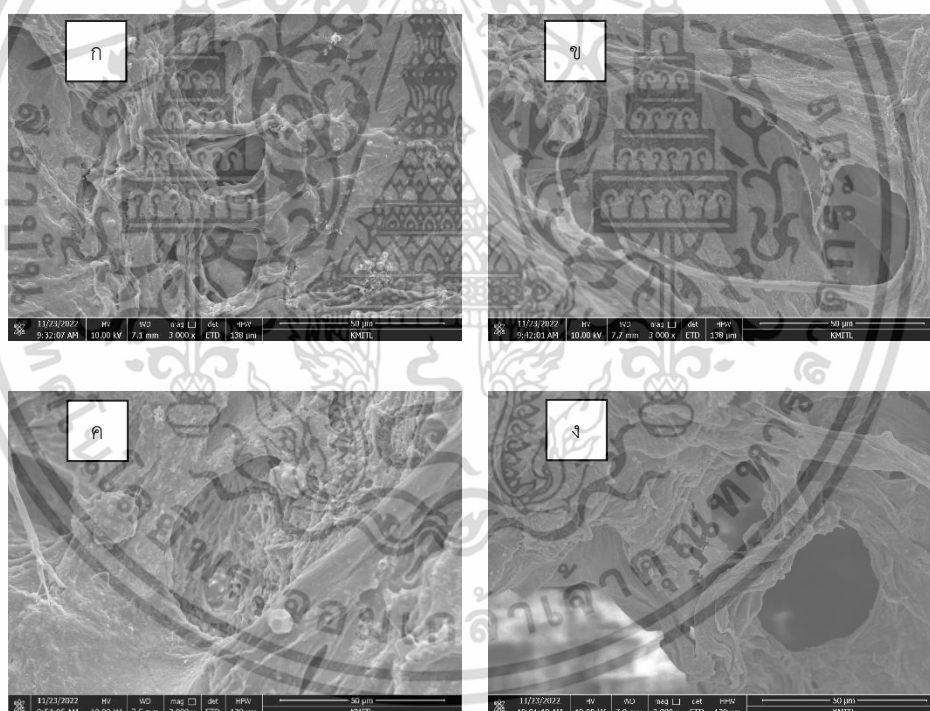
จากการสังเกตลักษณะฟองน้ำเซลลูโลสด้วยสายตา พบว่าในอัตราส่วน 1:0.5 และ 1:1 มีลักษณะค่อนข้างหนา ผิวหน้าค่อนข้างเรียบ รูพรุนที่สังเกตได้มีจำนวนน้อย ในอัตราส่วน 1:2 และ 1:3 มีลักษณะบาง ผิวหน้ามีความขรุขระ รูพรุนที่สังเกตได้มีจำนวนมาก อีกทั้งความบางเป็นผลมาจากความชื้นในชิ้นงานมีน้อยเนื่องจากตากแห้งกับแสงแดดและการเก็บรักษาในที่แห้ง ซึ่งอัตราส่วน 1:3 มีการฉีกขาดได้ง่ายเมื่อสัมผัสจึงต้องใช้ความระมัดระวังในการสัมผัส อัตราส่วนสารละลายหนืดต่อเกลือโซเดียมซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุกอัตราส่วนสามารถลอยน้ำได้ อย่างไรก็ตาม ฟองน้ำที่เตรียมได้หลังผ่านการดูดซับ จะมีความแข็งแรงลดลงและการฉีกขาดได้ง่ายมากขึ้น

#### 4.1.2 ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของฟองน้ำเซลลูโลสในอัตราส่วนสารละลายหนืดต่อเกลือโซเดียมซัลเฟต 1:0.5, 1:1, 1:2 และ 1:3 แสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่าความเป็นรูพรุนของฟองน้ำเซลลูโลสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณโซเดียมซัลเฟต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนฤมล (2548) ที่พบว่า รูพรุนที่มีขนาดใหญ่และเล็กเกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลลูโลสในขั้นตอนขึ้นรูปเป็นปฏิกิริยาระหว่างสารละลายหนืดกับกรดซัลฟิวริกเกิดเกลือซัลเฟตซึ่งเป็นเกลือจากปฏิกิริยาเมื่อล้างด้วยน้ำสะอาด จะเกิดเป็นรูพรุนที่มีขนาดเล็ก ส่วนเกลือซัลเฟตที่เติมเพิ่มลงไป จะเกิดเป็นรูพรุนที่มีขนาดใหญ่

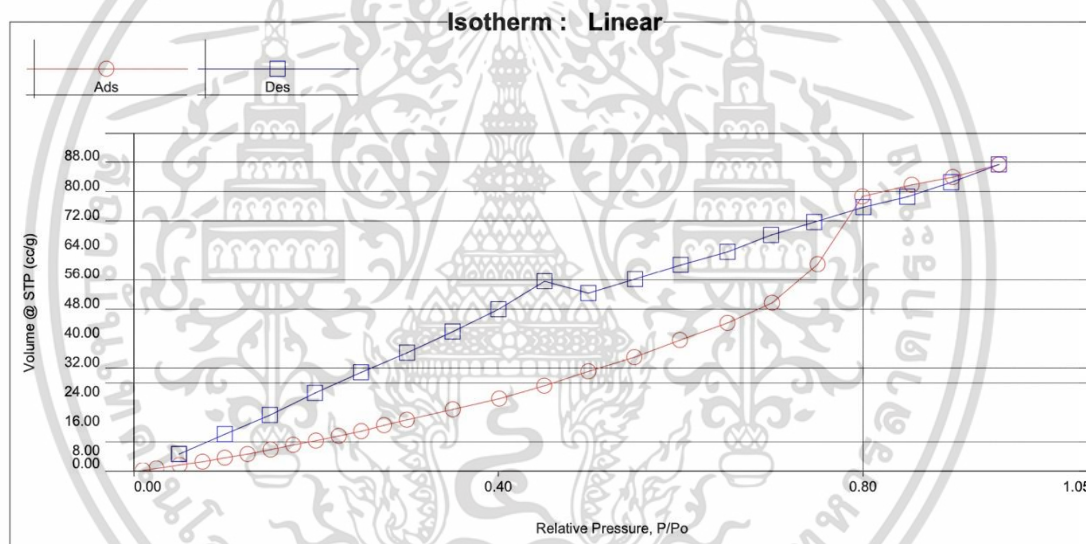


ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายลักษณะฟองน้ำเซลลูโลสด้วย SEM ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า (ก) อัตราส่วน 1:0.5, (ข) อัตราส่วน 1:1, (ค) อัตราส่วน 1:2, (ง) อัตราส่วน 1:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ผลการศึกษาหาพื้นที่ผิวดูดซับและปริมาตรรูพรุน (Surface Area and Pore Size Analyzer, BET)

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวดูดซับและปริมาตรรูพรุนในฟองน้ำเซลลูโลสจากกาบหมากที่อัตราส่วน 1:2 แสดงในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.3 พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 4.093 นาโนเมตร มีปริมาตรรูพรุน 0.1288 มิลลิลิตรต่อกรัมสำหรับรูพรุนของฟองน้ำเซลลูโลสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 39.7 นาโนเมตร และมีพื้นที่ผิว 42.3961 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อพิจารณาประเภทการดูดซับแบบไอโซเทอมตามมาตรฐาน IUPAC สังเกตได้ว่าประเภทการดูดซับเป็นแบบ Type-V ขนาดรูพรุนเป็นแบบ มีรูพรุนขนาดเล็ก (Microporous, ~2 นาโนเมตร) และขนาดปานกลาง (Mesoporous, 2-50 นาโนเมตร) ซึ่งตัวดูดซับที่ดีโดยทั่วไปจะมีลักษณะรูพรุนที่มีขนาดเล็กและปานกลาง หรือผสมกัน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค)



ภาพที่ 4.3 BET Nitrogen adsorption isotherm plot

ตารางที่ 4.1 Single Point Surface Area

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	$1/[W((P/Po)-1)]$	Slope	Surface Area
$2.99365 \times 10^{-1}$	13.9064	24.6070	82.1423	42.3961

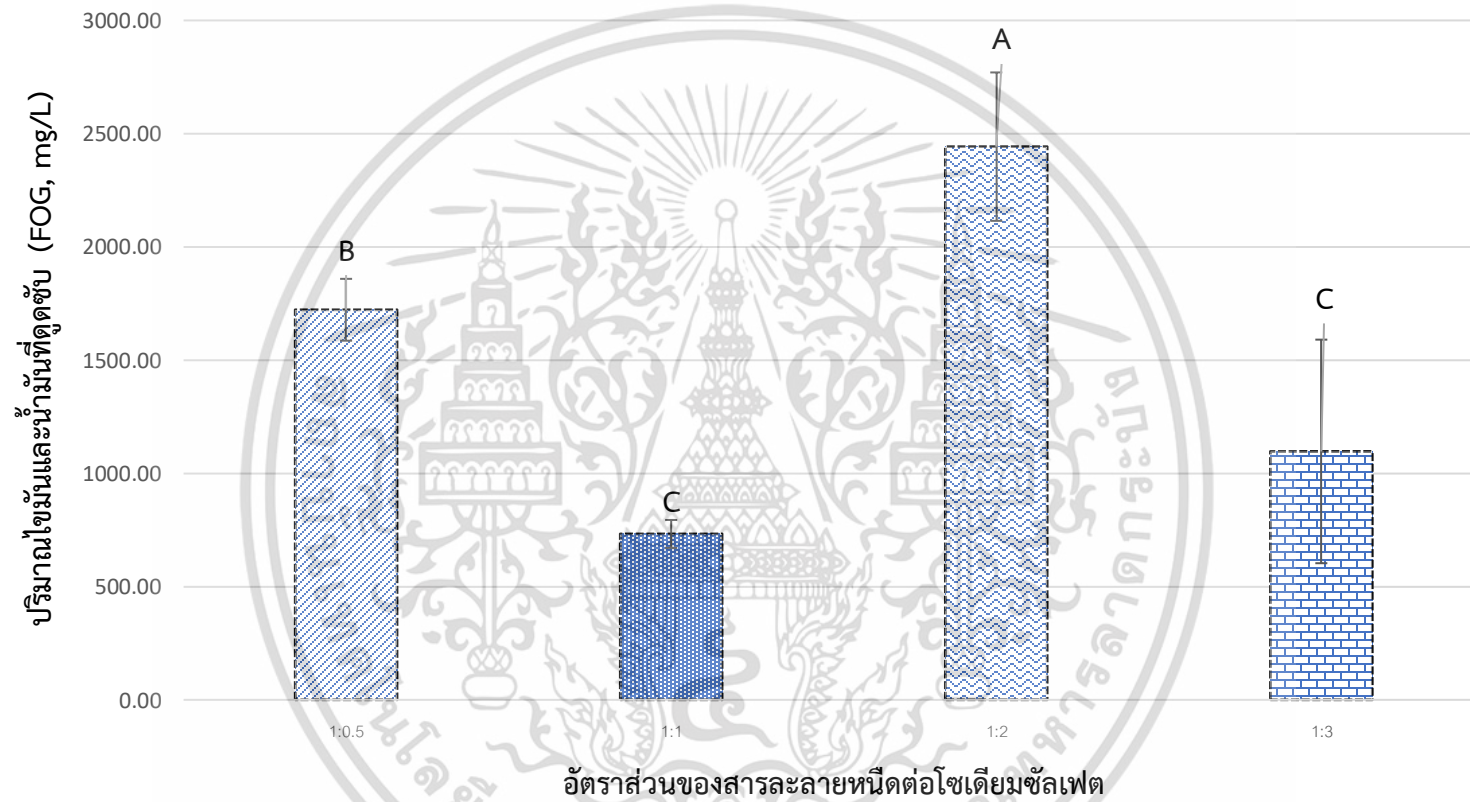
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนเกลือโซเดียมซัลเฟตที่เหมาะสมในการผลิตฟองน้ำเซลลูโลสเพื่อใช้ในการดูดซับน้ำมัน

การผลิตฟองน้ำเซลลูโลสจากกากหมากในอัตราส่วนสารละลายหนืดต่อเกลือโซเดียมซัลเฟต 1:0.5, 1:1, 1:2 และ 1:3 โดยน้ำหนัก สามารถขึ้นรูปเป็นฟองน้ำเซลลูโลสและลอยน้ำได้ เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ (ตารางที่ 4.2) จากการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันพบว่า อัตราส่วนสารละลายหนืดต่อโซเดียมซัลเฟต 1:2 มีร้อยละการดูดซับ  $73.14 \pm 10.91$  ซึ่งปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับได้เฉลี่ย  $2442.67 \pm 414.88$  มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาเป็นอัตราส่วนสารละลายหนืดต่อโซเดียมซัลเฟต 1:0.5 มีร้อยละการดูดซับ  $52.43 \pm 2.31$  ซึ่งปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับได้เฉลี่ย  $1722.38 \pm 126.38$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามด้วยอัตราส่วนสารละลายหนืดต่อโซเดียมซัลเฟต 1:3 และ 1:1 ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่ใกล้เคียงกัน มีร้อยละการดูดซับ  $34.00 \pm 15.54$  และ  $22.39 \pm 2.25$  ตามลำดับ ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับเฉลี่ย  $1,096.90 \pm 460.00$  และ  $732.60 \pm 192.05$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของฟองน้ำ (ภาพที่ 4.2) พบว่า ฟองน้ำที่มีรูพรุนขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป ประสิทธิภาพการดูดซับจะมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวในอัตราส่วนสารละลายหนืดต่อโซเดียมซัลเฟต 1:2 เพราะสามารถขึ้นรูปฟองน้ำได้ดีและมีประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันที่ดี เมื่อนำผลไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ One-way ANOVA พบว่า อัตราส่วนสารละลายหนืดต่อโซเดียมซัลเฟต 1:2 มีประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันดีที่สุด รองลงมาคือ 1:0.5 ส่วนที่อัตรา 1:1 และ 1:3 มีประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศิริกัลยา (2549) ที่พบว่า ฟองน้ำที่เตรียมจากอัตราส่วนเกลือโซเดียมซัลเฟต 1:1 และ 1:2 มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุด เนื่องจากปริมาณเกลือที่เหมาะสม ทำให้การรวมตัวกันของโซเดียมซัลเฟตทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กและปานกลาง ทำให้สามารถดูดซับน้ำมันได้ดี

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน

อัตราส่วน	ฟองน้ำเซลลูโลส					
	การขึ้นรูป	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	ปริมาณน้ำมันและไขมัน ก่อนการดูดซับ (mg/L)	ปริมาณน้ำมันและไขมัน หลังการดูดซับ (mg/L)	%Removal	Fog/1g
1:0.5	✓	0.4206 ±0.2361	3422.00±151.43	1629.00±126.38	52.43 ± 2.31	1722.38 ±126.38
1:1	✓	0.5718 ±0.3113	3422.00±151.43	2658.17±192.05	22.39 ± 2.25	732.60 ±192.05
1:2	✓	0.5932 ±0.4349	3422.00±151.43	928.17±414.88	73.14 ± 10.91	2442.67 ±414.88
1:3	✓	0.6168 ± 0.5169	3422.00±151.43	2248.00±460.00	34.00 ± 15.54	1096.90 ±460.00



ภาพที่ 4.4 ปริมาณไขมันและน้ำมันที่ดูดซับต่อน้ำหนักแห้งฟองน้ำ

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการผลิตฟองน้ำเซลลูโลสจากกากหมากเพื่อใช้ในการดูดซับไขมันและน้ำมัน โดยกระบวนการของเหลวหนืด (Viscous Rayon) เริ่มจากนำกากหมากไปบดให้มีขนาดเล็ก ร้อนด้วยตะแกรงขนาด 35 เมช แล้วแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พร้อมกับการให้ความร้อน 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชม. เพื่อกำจัดเฮมิเซลลูโลสออก กรองเอากากแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมคาร์บอนไดออกไซด์แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก นำสารละลายหนืดผสมกับเกลือโซเดียมซัลเฟตที่อัตราส่วนต่างๆ และขึ้นรูปด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการสังเกตลักษณะฟองน้ำเซลลูโลสด้วยสายตา พบว่าในอัตราส่วนสารละลายหนืดผสมกับเกลือโซเดียมซัลเฟต 1:2 ฟองน้ำมีลักษณะบาง ผิวหน้ามีความขรุขระ รูพรุนจำนวนมาก โดยพบว่า สารละลายหนืดผสมกับเกลือโซเดียมซัลเฟตทุกอัตราส่วนมีความสามารถในการลอยน้ำได้ แต่หลังผ่านการดูดซับน้ำมัน ความแข็งแรงจะลดลงและฉีกขาดได้ง่ายมากขึ้น
2. ลักษณะสัณฐานวิทยาของฟองน้ำเซลลูโลสเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) จะพบว่าอัตราส่วน 1:0.5 มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กมีจำนวนน้อย และพื้นผิวของฟองน้ำค่อนข้างเรียบ อัตราส่วน 1:1 มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กและใหญ่มีจำนวนน้อย และพื้นผิวของฟองน้ำค่อนข้างไม่เรียบ อัตราส่วน 1:2 มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กและใหญ่สลับกันจำนวนมาก และพื้นผิวของฟองน้ำไม่เรียบ และอัตราส่วน 1:3 มีลักษณะรูพรุนขนาดใหญ่ และพื้นผิวของฟองน้ำค่อนข้างไม่เรียบ แตกหักง่ายเมื่อสัมผัสหรือออกแรงมาก
3. ลักษณะสัณฐานวิทยาของฟองน้ำเซลลูโลสเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Surface Area And Pore Size Analyzer (BET) ฟองน้ำเซลลูโลสอัตราส่วน 1:2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 4.093 นาโนเมตร มีปริมาตรรูพรุน 0.1288 มิลลิลิตรต่อกรัม และมีพื้นที่ผิว 42.3961 ตารางเมตรต่อกรัม ประเภทการดูดซับแบบไอโซเทอมตามมาตรฐาน IUPAC เป็นประเภทการดูดซับเป็นแบบ Type-V ขนาดรูพรุนเป็นแบบ Microporous หรือ Mesoporous นั่นคือ มีรูพรุนขนาดเล็ก (~2 นาโนเมตร) และขนาดปานกลาง (2-50 นาโนเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อัตราส่วนเกลือโซเดียมซัลเฟตที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟองน้ำเพื่อใช้ในการดูดซับน้ำมัน คือ อัตราส่วนสารละลายหนืด 1 ส่วนต่อเกลือโซเดียมซัลเฟต 2 ส่วน ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับได้เฉลี่ย  $2442.67 \pm 414.88$  มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการดูดซับ  $72.88 \pm 10.91$

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการปรับแต่งคุณภาพฟองน้ำให้มีความเหนียวและทนต่อแรงดึงมากขึ้น
2. ศึกษาการดูดซับน้ำมันชนิดอื่นๆที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
3. นำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (17 มีนาคม 2552). คู่มือแนวทางการจัดการ น้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับชุมชน. เข้าถึงได้จาก กรมควบคุมมลพิษ:  
<http://nakhonphanom.mnre.go.th/attachment/iu/download.php?WP=qUlcnKt3pQugZKqCGWOghJstqTgcWat5pQEgZapmGQSgG2rDqYyc4Uux>
- กาญจนา จันทร์สิงห์. (17 กรกฎาคม 2565). หมาก. เข้าถึงได้จาก สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร: <https://arit.kpru.ac.th>
- กิตติพงษ์ พิสมร. (6 สิงหาคม 2564). ไขมันและน้ำมัน. เข้าถึงได้จาก true ป्लูกปัญญา: <https://www.trueplookpanya.com/learning/detail/34049>
- เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, กล้าณรงค์ ศรีรอด, สวรรยา ปัญญานันท. (2561). การเตรียมและการศึกษาสมบัติของเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลัง เพื่อการประยุกต์ใช้ในอาหาร. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. ชีวานันท์ นามวัง. (2559). การสังเคราะห์ฟองน้ำเซลลูโลสจากฟางข้าว. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี: ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์.
- นาวิ เปลี่ยวจิตร. (2562). การวิจัยเส้นใยจากกากหมากเพื่อพัฒนาเป็นเคหะสิ่งทอ. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี: สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะอัญมณีศาสตร์และประยุกต์ศิลป์.
- นิตยสารศิลปวัฒนธรรม. (24 กันยายน 2565). ต้นหมาก. เข้าถึงได้จาก CHULAPEDIA จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: <http://www.chulapedia.chula.ac.th>
- มลรัตน์ แซ่อ่อง จุฑามาส สานต๊ะ. (2552). ผลของการใช้เส้นใยจากพืชต่อสมบัติของคอมโพสิตชีวภาพ. มหาวิทยาลัยนเรศวร: หลังสูตรปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.). (5 พฤศจิกายน 2565). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลิตภัณฑ์กากหมาก. เข้าถึงได้จาก สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม: [https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps942\\_48.pdf](https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps942_48.pdf)
- ไมตรี จิรไมตรี. (2551). การพัฒนาถังดักไขมันโดยการดูดซับด้วยกากมะพร้าว. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ: หลักสูตรปรินญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรม.
- รัชพล พวงศรีรัตน์. (2558). กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน: หลักสูตรวิทยาศาสตรชีวผลิตภัณฑ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ศิริพร พงศ์สันติสุข กฤษณ์ เทียรฆประสิทธิ์. (2545). การกำจัดคราบน้ำมันในน้ำมันโดยวัสดุธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ. มหาวิทยาลัยมหิดล: ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์.
- ศุภญ์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ส่วนพัฒนาและบริหารระบบสารสนเทศ. (20 พฤษภาคม 2563). คู่มือแนวทางการจัดการ น้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมัน และการนำไปใช้ประโยชน์ สำหรับชุมชน. เข้าถึงได้จาก กรมควบคุมมลพิษ: <https://www.pcd.go.th/publication/4395>
- ศุภญ์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ส่วนพัฒนาและบริหารระบบสารสนเทศ. (20 พฤษภาคม 2563). คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์ สำหรับร้านอาหารเข้าถึงได้จาก: <https://www.pcd.go.th/publication/4377>
- สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล. (11 กรกฎาคม 2555). การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับ. เข้าถึงได้จาก สรร สาร: [http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss\\_j/2555\\_189\\_60\\_p22-24.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2555_189_60_p22-24.pdf)
- ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ค่าทางน้ำตาลและสารอนุพันธ์. (1 พฤษภาคม 2564). เข้าถึงได้จาก ความแตกต่างระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส: <https://www.csdlabservices.com>
- อนุสิษฐ์ เกื้อกุล. (4 มิถุนายน 2560). ไขมันและน้ำมัน. เข้าถึงได้จาก สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.): <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7163-2017-06-04-15-11-40>
- อัจฉราพร ศรีอ่อน. (4 มีนาคม 2559). หลักการทำงานของ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบสแกนนิ่ง. เข้าถึงได้จาก ห้องปฏิบัติการวัสดุทางการแพทย์ หน่วยวิจัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ: [https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/299\\_77.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/299_77.pdf)
- OIL AND GREASE IN WASTEWATER. (6 กันยายน 2565). เข้าถึงได้จาก บริษัท เคมีเคิลเฮ้าส์ แอนด์ แล็บ อินสทรูเมนต์ จำกัด: <https://www.chemihouse.com/oil-and-grease-in-wastewater/>
- PradThaNa P. (19 มีนาคม 2551). กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process). เข้าถึงได้จาก Pradthana's Wedlog: <https://pradthana.wordpress.com>
- Riska Pramana Putri Ika Natalia Mauliza. (2562). Study on Cellulose Sponges Reinforced by Viscous Rayon Fibers. Proceeding Indonesian Textile Conference: Politeknik STTT Bandung.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### ผลการทดลองการดูดซับน้ำมันโดยใช้ฟองน้ำเซลลูโลสจากกาบหมาก

#### น้ำหนักที่เปลี่ยนไปก่อนและหลังการดูดซับ

#### ตารางที่ ก.1 น้ำหนักฟองน้ำก่อนและหลังการดูดซับ

อัตราส่วน	น้ำหนักฟองน้ำก่อนการดูดซับ (g)				SD	น้ำหนักฟองน้ำหลังการดูดซับ (g)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1:0.5	1.0595	1.0642	1.0642	1.0626	0.0027	7.0002	6.2284	3.4499	5.5595	1.8673
1:1	1.0142	1.1247	1.1247	1.0879	0.0638	4.6684	3.3593	3.4329	3.8202	0.7355
1:2	1.0171	1.0420	1.0415	1.0335	0.0142	7.3481	5.9162	5.8089	6.3577	0.8594
1:3	1.0611	1.0088	1.0106	1.0268	0.0297	8.6338	6.9536	7.6983	7.7619	0.8419

#### ความสามารถในการดูดซับ

#### ตารางที่ ก.2 ความสามารถในการดูดซับ

อัตราส่วน	ความสามารถการดูดซับ (เท่าของน้ำหนักแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1:0.5	6.61	5.85	3.24	5.23	1.77
1:1	4.60	2.99	3.05	3.55	0.91
1:2	7.22	5.68	5.58	6.16	0.92
1:3	8.14	6.89	7.62	7.55	0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริมาณไขมันและน้ำมันที่เหลือ

ตารางที่ ก.3 ปริมาณไขมันและน้ำมันที่เหลือ

อัตราส่วน	ปริมาณไขมันและน้ำมันที่เหลือ (mg/L)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
Control	3,263.00	3,438.50	3,564.50	3,422.00	151.43
1:0.5	1485.00	1721.50	1680.50	1629.00	126.38
1:1	2449.50	2697.50	2827.50	2658.17	192.05
1:2	659.50	719.00	1406.00	928.17	414.88
1:3	2689.50	1771.50	2283.00	2248.00	460.00

## ร้อยละการดูดซับ (%Removal)

ตารางที่ ก.4 ร้อยละการดูดซับ (%Removal)

อัตราส่วน	ร้อยละการดูดซับ (%Removal)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
Control	-	-	-	-	-
1:0.5	54.49	49.93	52.85	52.43	2.31
1:1	24.93	21.55	20.68	22.39	2.25
1:2	79.79	79.09	60.56	73.14	10.91
1:3	17.58	48.48	35.95	34.00	15.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไขมันและน้ำมันที่ดูดซับได้ต่อน้ำหนักแห้งฟองน้ำ  
 ตารางที่ ก.5 ปริมาณไขมันและน้ำมันที่ดูดซับได้ต่อน้ำหนักแห้งฟองน้ำ

อัตราส่วน	ปริมาณไขมันและน้ำมันที่ดูดซับได้ต่อน้ำหนักแห้งฟองน้ำ (mg/L ต่อ g)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
Control	-	-	-	-	-
1:0.5	1678.15	1613.42	1875.56	1722.38	136.55
1:1	802.11	711.13	684.56	732.60	61.64
1:2	2559.73	2695.78	2072.49	2442.67	327.72
1:3	540.48	1482.17	1268.06	1096.90	493.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## การวิเคราะห์พื้นที่ผิวดูดซับและปริมาณรูพรุน

Quantachrome® ASiQwin™ - Automated Gas Sorption Data  
Acquisition and Reduction  
© 1994-2017, Quantachrome Instruments  
version 5.21



<b>Analysis</b>		<b>Report</b>	
Operator:	Nano_KMITL	Date:	2023/02/01
Sample ID:	Phuriphat_20230131_SPONGE_CELLULOSE_FROM_ARECA_NUT_LEAF_SHEATH_1_2	Operator:	Nano_KMITL
Sample Desc:		Date:	2023/02/02
Sample Weight:	0.0252 g	Comment:	Autosorb iQ Station 1
Approx. Outgas Time:	2.5 hrs	Instrument:	
Analysis gas:	Nitrogen	Final Outgas Temp.:	200 °C
Analysis Time:	3:52 hr:min	Non-ideality:	6.58e-05 1/Torr
Analysis Mode:	Standard	Bath temp.:	77.35 K
VoidVol. Mode:	He Measure	Cold Zone V:	6.06969 cc
		Extended info:	Available
		CellType:	9mm w/o rod
		VoidVol Remeasure:	off
		Warm Zone V:	15.9565 cc

## Extended Outgas Data

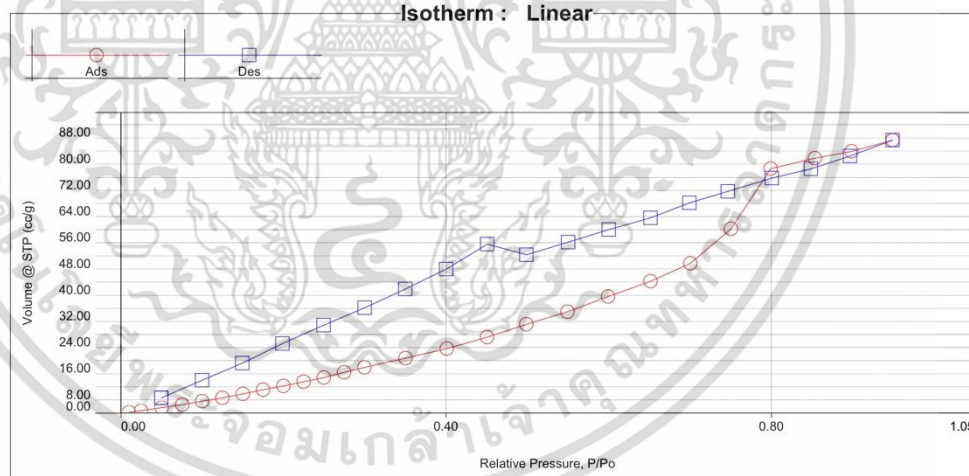
## Outgas Temperature Profile

	Target Temp. (deg)	Rate (deg/min)	Soak Time (min)
1.	200.0	10.0	120
2.	200.0	10.0	15

Pressure Controlled Heating: notUsed

Empty Cell Weight: 18.7482 g  
Pre-outgas Weight (Cell+Sample): 18.7784 g  
Post-outgas Weight (Cell+Sample): 18.7734 g

## Isotherm : Linear



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quantachrome® ASiQwin™ - Automated Gas Sorption Data Acquisition and Reduction  
 ? 1994-2017, Quantachrome Instruments  
 version 5.21



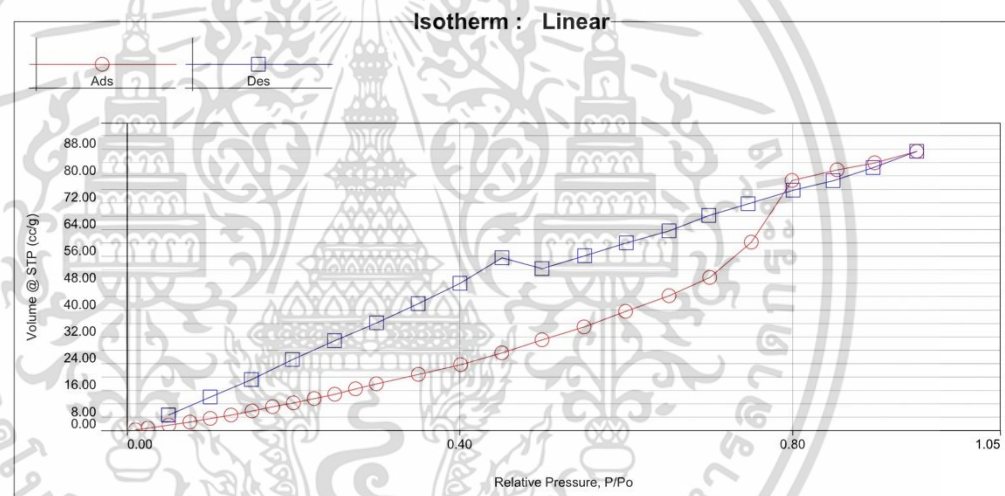
<b>Analysis</b>		<b>Report</b>	
<b>Operator:</b>	Nano_KMITL	<b>Date:</b>	2023/02/01
<b>Sample ID:</b>	Phuriphat_20230131_SPONGE_CELLULOSE_FROM_ARECA_NUT_LEAF_SHEATH_1_2	<b>Operator:</b>	Nano_KMITL
<b>Sample Desc:</b>		<b>Date:</b>	2023/02/02
<b>Sample Weight:</b>	0.0252 g	<b>Comment:</b>	Autosorb iQ Station 1
<b>Approx. Outgas Time:</b>	2.5 hrs	<b>Final Outgas Temp.:</b>	200 °C
<b>Analysis gas:</b>	Nitrogen	<b>Non-ideality:</b>	6.58e-05 1/Torr
<b>Analysis Time:</b>	3:52 hr:min	<b>Bath temp.:</b>	77.35 K
<b>Analysis Mode:</b>	Standard	<b>Cold Zone V:</b>	6.06969 cc
<b>VoidVol. Mode:</b>	He Measure	<b>Extended info:</b>	Available
		<b>CellType:</b>	9mm w/o rod
		<b>VoidVol Remeasure:</b>	off
		<b>Warm Zone V:</b>	15.9565 cc

**Extended Outgas Data**  
 Outgas Temperature Profile

	Target Temp. (deg)	Rate (deg/min)	Soak Time (min)
1.	200.0	10.0	120
2.	200.0	10.0	15

Pressure Controlled Heating: notUsed

Empty Cell Weight: 18.7482 g  
 Pre-outgas Weight (Cell+Sample): 18.7784 g  
 Post-outgas Weight (Cell+Sample): 18.7734 g

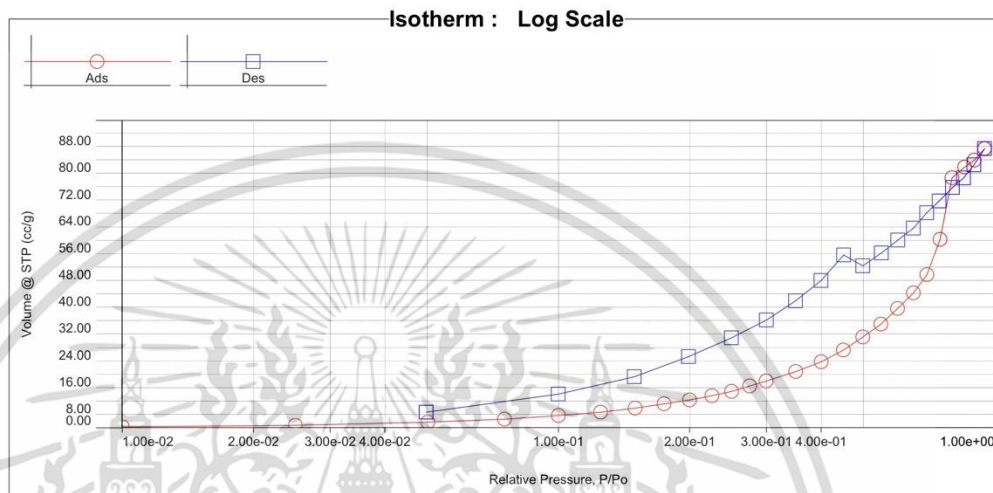


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quantachrome® ASiQwin™ - Automated Gas Sorption Data Acquisition and Reduction  
 ? 1994-2017, Quantachrome Instruments  
 version 5.21



**Analysis**  
 Operator: Nano\_KMITL Date:2023/02/01 Report  
 Sample ID: Phuriphat\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1\_2 Filename: Phuriphat\_20230201\_SPONGE\_CE Operator: Nano\_KMITL Date:2023/02/02



**Isotherm**

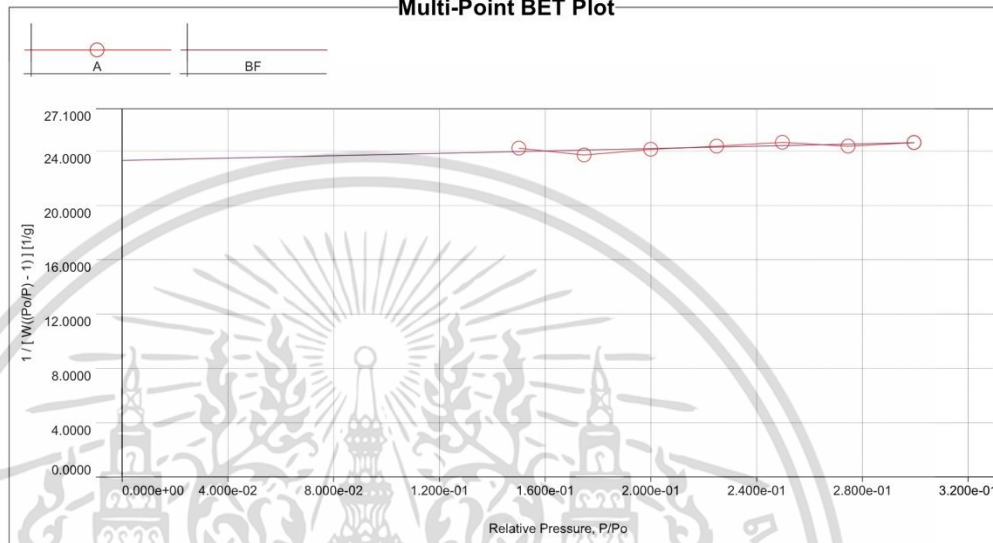
Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]
1.00214e-02	0.2268	4.50257e-01	23.1518	6.99269e-01	64.1742
2.49489e-02	0.7395	4.98801e-01	27.0919	6.51561e-01	59.5901
5.02361e-02	1.6836	5.49223e-01	30.8863	5.99990e-01	56.0115
7.53091e-02	2.5588	5.99347e-01	35.5735	5.50207e-01	52.1525
1.00015e-01	3.6227	6.51570e-01	40.1943	4.98821e-01	48.3337
1.25025e-01	4.6520	7.00288e-01	45.7153	4.50794e-01	51.5339
1.50058e-01	5.6385	7.50323e-01	56.2164	4.00198e-01	43.9682
1.74759e-01	7.1473	7.99358e-01	74.6199	3.49763e-01	37.8434
1.99961e-01	8.2899	8.53726e-01	77.7627	2.99879e-01	32.1065
2.24912e-01	9.5325	8.98847e-01	79.8839	2.49315e-01	26.8263
2.49781e-01	10.8141	9.49166e-01	83.2740	1.98780e-01	21.2038
2.74589e-01	12.4364	8.96780e-01	78.4781	1.49356e-01	15.2080
2.99565e-01	13.9064	8.48728e-01	74.5650	9.99163e-02	10.0216
3.50261e-01	16.7332	8.00609e-01	71.7114	4.97692e-02	4.6375
4.00837e-01	19.6736	7.46566e-01	67.6724		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Analysis**  
**Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/01 **Report**  
**Sample ID:** Phuriphat\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1\_2 **Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/02  
**Filename:** Phuriphat\_20230201\_SPONGE\_CE

**Multi-Point BET Plot**



**Multi-Point BET**

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1/[W((Po/P) - 1)] [1/g]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1/[W((Po/P) - 1)] [1/g]
1.50058e-01	5.8385	2.4195e+01	2.49781e-01	10.8141	2.4634e+01
1.74759e-01	7.1473	2.3707e+01	2.74589e-01	12.4364	2.4353e+01
1.99961e-01	8.2899	2.4123e+01	2.99565e-01	13.9064	2.4607e+01
2.24912e-01	9.5325	2.4356e+01			

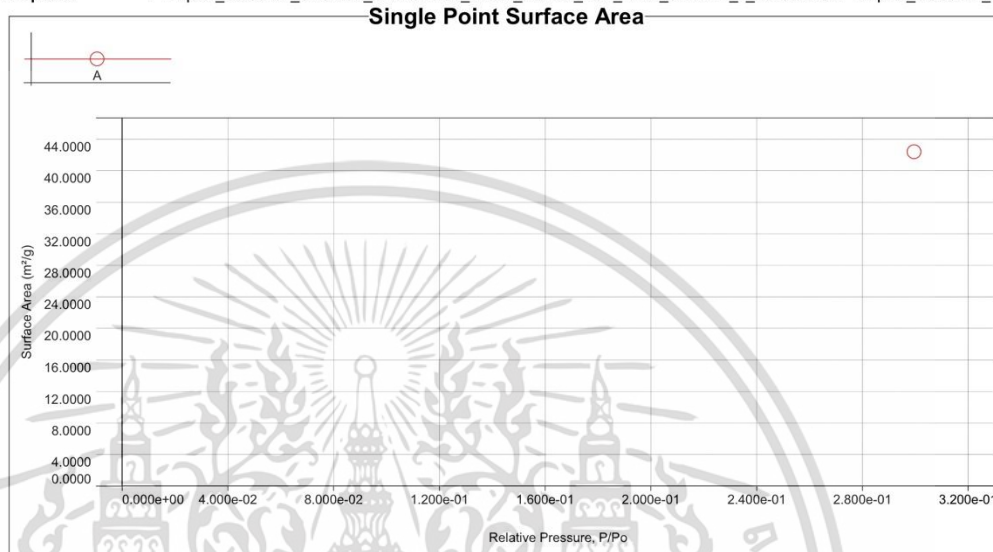
**MBET summary**

<b>Slope =</b>	4.362 1/g
<b>Intercept =</b>	2.330e+01 1/g
<b>Correlation coefficient, r =</b>	0.740401
<b>C constant =</b>	1.187
<b>Surface Area =</b>	125.889 m <sup>2</sup> /g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Analysis**  
**Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/01 **Report**  
**Sample ID:** Phuriphat\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1\_2 **Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/02  
**Filename:** Phuriphat\_20230201\_SPONGE\_CE



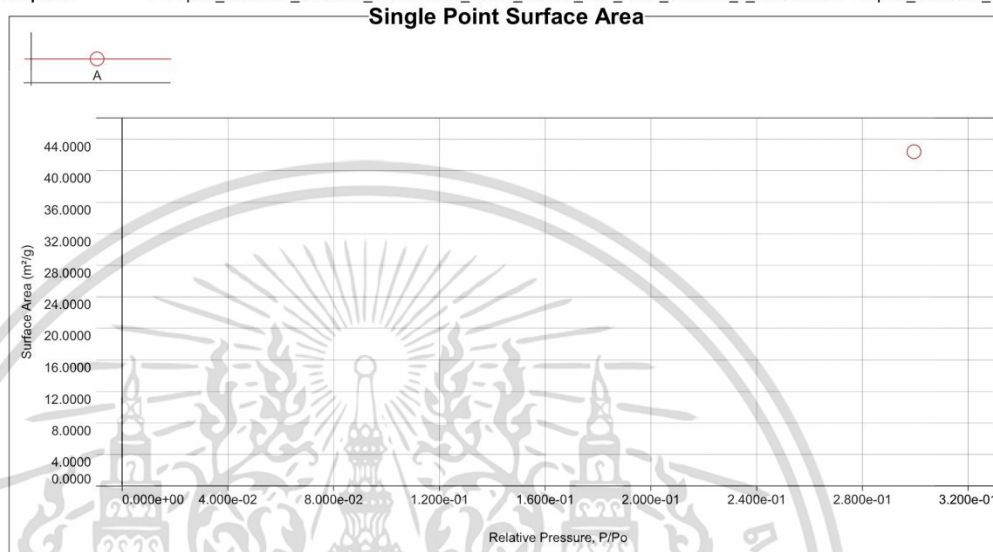
**Single Point Surface Area**

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W((P/Po) - 1) ]	Slope	Surf. Area [m²/g]
2.99565e-01	13.9064	2.4607e+01	82.1423	42.3961

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Analysis**  
**Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/01 **Report**  
**Sample ID:** Phuriphath\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1 **Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/02  
**Filename:** Phuriphath\_20230201\_SPONGE\_CE



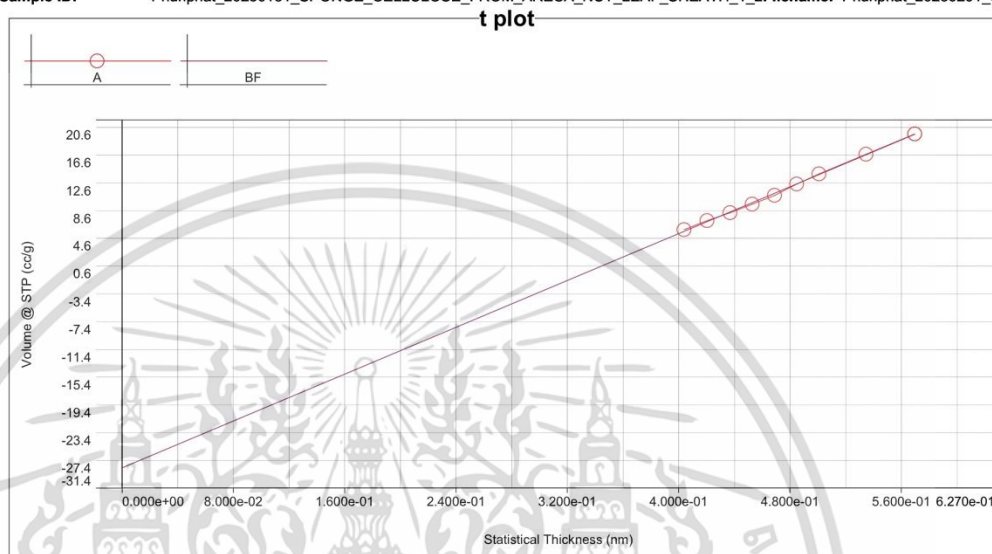
**Single Point Surface Area**

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W((P/Po) - 1) ]	Slope	Surf. Area [m²/g]
2.99565e-01	13.9064	2.4607e+01	82.1423	42.3961

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Analysis**  
**Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/01 **Report**  
**Sample ID:** Phuriphat\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1\_2 **Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/02  
**Filename:** Phuriphat\_20230201\_SPONGE\_CE



**t-Plot Method Micropore Analysis**

Relative Pressure	Thickness [(nm)]	Volume @ STP [(cc/g)]	Relative Pressure	Thickness [(nm)]	Volume @ STP [(cc/g)]
1.500584e-01	4.0386e-01	5.838	2.745892e-01	4.8477e-01	12.436
1.747587e-01	4.2040e-01	7.147	2.995654e-01	5.0094e-01	13.906
1.999610e-01	4.3686e-01	8.290	3.502609e-01	5.3455e-01	16.733
2.249123e-01	4.5292e-01	9.533	4.008370e-01	5.6971e-01	19.674
2.497814e-01	4.6885e-01	10.814			

**V-t method summary**

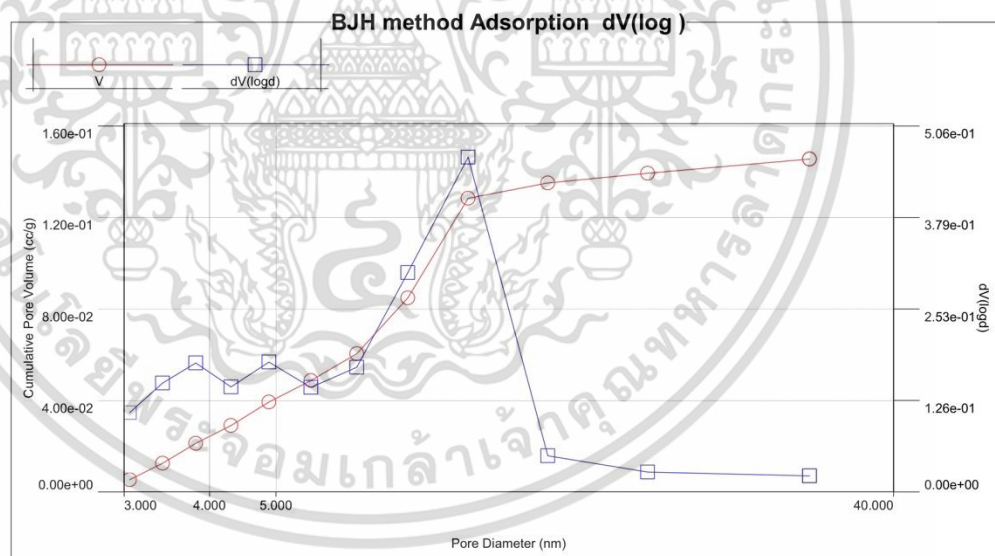
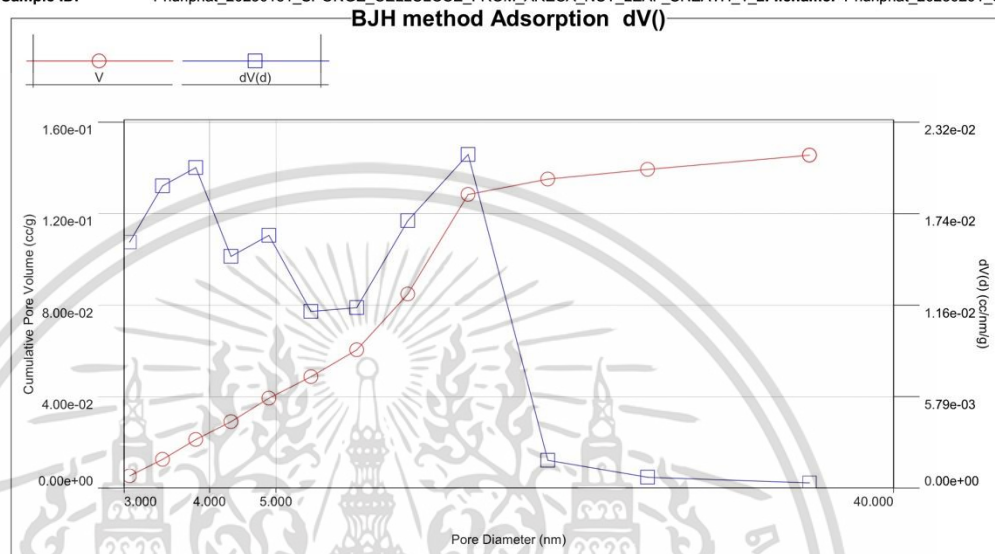
Thickness method: DeBoer  
 Slope = 8.445  
 Intercept = -28.495  
 Correlation coefficient, r = 0.999300  
 Micropore volume = 0.000 cc/g  
 Micropore area = 0.000 m<sup>2</sup>/g  
 External surface area = 125.889 m<sup>2</sup>/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Analysis**  
 Operator: Nano\_KMITL Date:2023/02/01  
 Sample ID: Phuriphat\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1\_2

**Report**  
 Operator: Nano\_KMITL Date:2023/02/02  
 Filename: Phuriphat\_20230201\_SPONGE\_CE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Analysis**  
**Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/01 **Report**  
**Sample ID:** Phuriphat\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1\_2 **Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/02  
**Filename:** Phuriphat\_20230201\_SPONGE\_CE

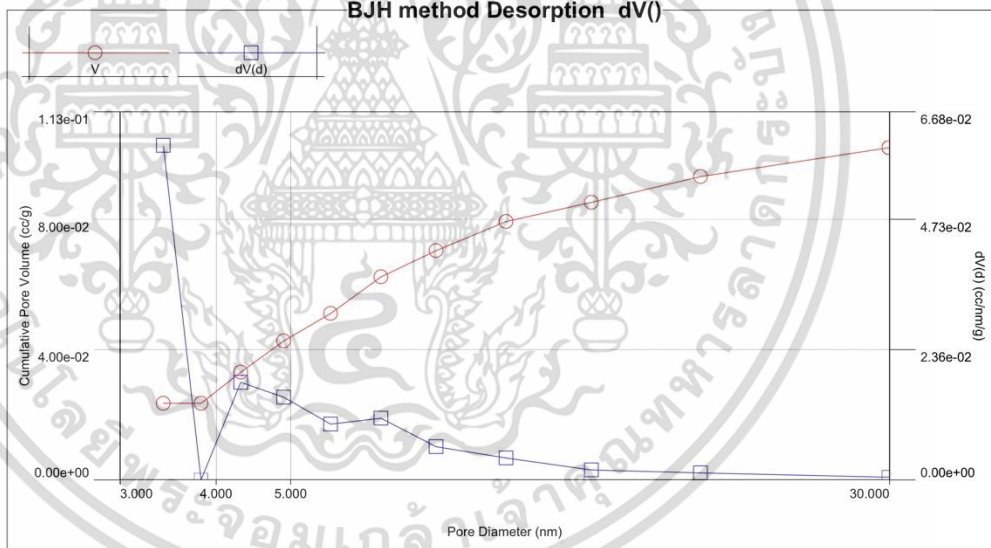
**Adsorption**

Diameter [nm]	Pore Volume [cc/g]	Pore Surf Area [m <sup>2</sup> /g]	dV(d) [cc/nm/g]	dS(d) [m <sup>2</sup> /nm/g]	dV(logd) [cc/g]	dS(logd) [cc/g]
3.0576	5.2691e-03	6.8932e+00	1.5556e-02	2.0351e+01	1.0941e-01	1.4313e+02
3.4156	1.2486e-02	1.5345e+01	1.9123e-02	2.2394e+01	1.5024e-01	1.7595e+02
3.8192	2.1201e-02	2.4472e+01	2.0277e-02	2.1237e+01	1.7813e-01	1.8656e+02
4.2989	2.8967e-02	3.1699e+01	1.4666e-02	1.3646e+01	1.4499e-01	1.3491e+02
4.8846	3.9226e-02	4.0099e+01	1.5983e-02	1.3088e+01	1.7950e-01	1.4699e+02
5.6276	4.8663e-02	4.6807e+01	1.1179e-02	7.9459e+00	1.4459e-01	1.0277e+02
6.5642	6.0405e-02	5.3963e+01	1.1412e-02	6.9540e+00	1.7213e-01	1.0489e+02
7.7999	8.4814e-02	6.6480e+01	1.6921e-02	8.6778e+00	3.0304e-01	1.5541e+02
9.5538	1.2841e-01	8.4733e+01	2.1109e-02	8.8379e+00	4.6255e-01	1.9366e+02
12.4941	1.3507e-01	8.6866e+01	1.7465e-03	5.5915e-01	4.9852e-02	1.5960e+01
17.4683	1.3929e-01	8.7832e+01	6.8734e-04	1.5739e-01	2.7360e-02	6.2651e+00
30.1262	1.4559e-01	8.8668e+01	3.2831e-04	4.3589e-02	2.1984e-02	2.9188e+00

**BJH adsorption summary**

Surface Area = 88.668 m<sup>2</sup>/g  
 Pore Volume = 0.146 cc/g  
 Pore Diameter Dv(d) = 9.554 nm

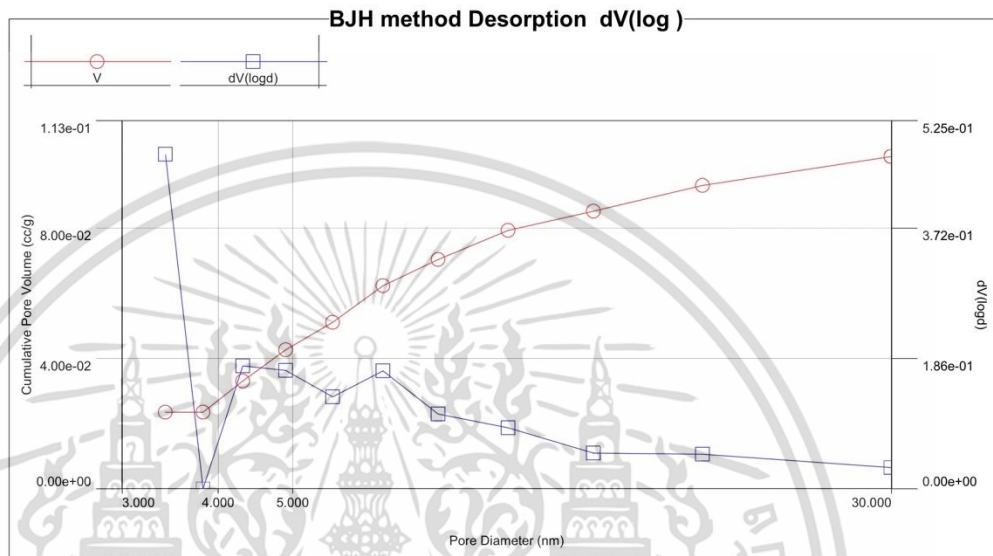
**BJH method Desorption dV()**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Analysis**  
**Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/01 **Report**  
**Sample ID:** Phuriphat\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1\_2 **Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/02  
**Filename:** Phuriphat\_20230201\_SPONGE\_CE



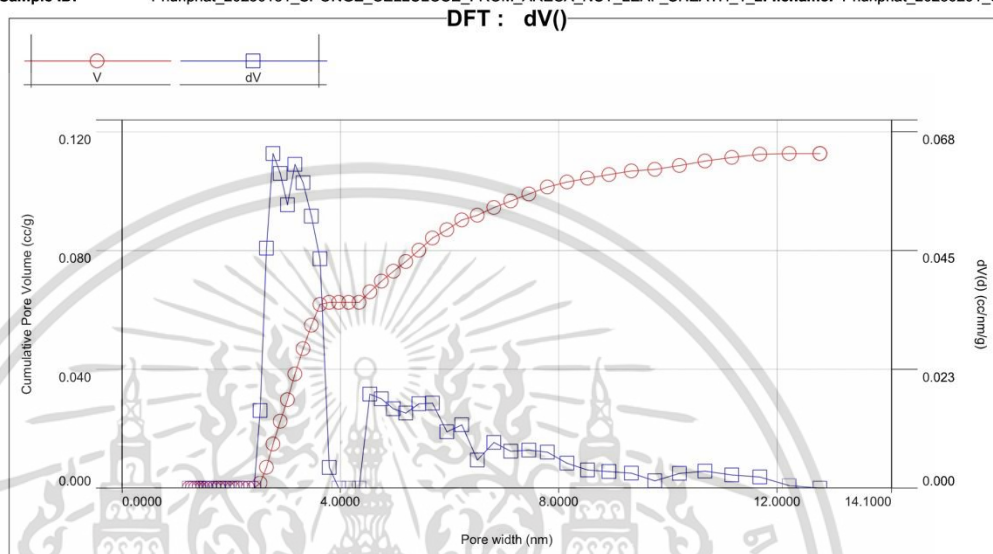
Diameter [nm]	Pore Volume [cc/g]	Pore Surf Area [m²/g]	dV(d) [cc/nm/g]	dS(d) [m²/nm/g]	dV(logd) [cc/g]	dS(logd) [cc/g]
3.4155	2.3445e-02	2.7457e+01	6.0682e-02	7.1066e+01	4.7673e-01	5.5830e+02
3.8215	2.3445e-02	2.7457e+01	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
4.3047	3.3005e-02	3.6340e+01	1.7680e-02	1.6429e+01	1.7501e-01	1.6262e+02
4.8948	4.2594e-02	4.4176e+01	1.4992e-02	1.2251e+01	1.6873e-01	1.3788e+02
5.6321	5.1045e-02	5.0179e+01	1.0122e-02	7.1891e+00	1.3103e-01	9.3060e+01
6.5518	6.2254e-02	5.7022e+01	1.1160e-02	6.8132e+00	1.6802e-01	1.0258e+02
7.7241	7.0306e-02	6.1192e+01	6.0079e-03	3.1122e+00	1.0658e-01	5.5196e+01
9.5230	7.9274e-02	6.4958e+01	3.9724e-03	1.6686e+00	8.6695e-02	3.6415e+01
12.2965	8.5193e-02	6.6884e+01	1.7994e-03	5.8534e-01	5.0643e-02	1.6474e+01
17.0409	9.3057e-02	6.8730e+01	1.2685e-03	2.9776e-01	4.9220e-02	1.1553e+01
29.9310	1.0197e-01	6.9921e+01	4.5514e-04	6.0825e-02	3.0215e-02	4.0380e+00

BJH desorption summary	
Surface Area =	69.921 m²/g
Pore Volume =	0.102 cc/g
Pore Diameter Dv(d) =	3.416 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Analysis**  
 Operator: Nano\_KMITL Date:2023/02/01 Report Operator: Nano\_KMITL Date:2023/02/02  
 Sample ID: Phuriphat\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1\_2Filename: Phuriphat\_20230201\_SPONGE\_CE



**Pore Size Distribution**

Pore width [nm]	Cumulative Pore Volume [cc/g]	Cumulative Surface Area [m²/g]	dV(d) [cc/nm³g]	dS(d) [m²/nm²g]
1.2318	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.2885	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.3478	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.4099	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.4748	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.5427	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.6137	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.6879	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.7656	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.8469	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
1.9319	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
2.0208	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
2.1138	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
2.2111	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
2.3129	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
2.4194	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
2.5307	1.6520e-03	1.3056e+00	1.4835e-02	1.1724e+01
2.6472	6.9976e-03	5.3442e+00	4.5891e-02	3.4671e+01
2.7691	1.4799e-02	1.0979e+01	6.4031e-02	4.6247e+01
2.8965	2.2474e-02	1.6279e+01	6.0216e-02	4.1579e+01
3.0298	2.9700e-02	2.1048e+01	5.4200e-02	3.5778e+01
3.1693	3.8341e-02	2.6501e+01	6.1959e-02	3.9100e+01
3.3152	4.6870e-02	3.1647e+01	5.8470e-02	3.5274e+01
3.4678	5.4814e-02	3.6228e+01	5.2059e-02	3.0025e+01
3.6274	6.1819e-02	4.0090e+01	4.3886e-02	2.4197e+01
3.7943	6.2471e-02	4.0434e+01	3.9038e-03	2.0577e+00

Continued on next page

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Analysis**  
**Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/01 **Report**  
**Sample ID:** Phuriphat\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1\_2 **Operator:** Nano\_KMITL **Date:** 2023/02/02  
**Filename:** Phuriphat\_20230201\_SPONGE\_CE

### Pore Size Distribution continued

Pore width [nm]	Cumulative Pore Volume [cc/g]	Cumulative Surface Area [m <sup>2</sup> /g]	dV(d) [cc/nm/g]	dS(d) [m <sup>2</sup> /nm/g]
3.9690	6.2471e-02	4.0434e+01	0.0000e+00	0.0000e+00
4.1517	6.2471e-02	4.0434e+01	0.0000e+00	0.0000e+00
4.3428	6.2471e-02	4.0434e+01	0.0000e+00	0.0000e+00
4.5426	6.6064e-02	4.2016e+01	1.7979e-02	7.9156e+00
4.7517	6.9637e-02	4.3520e+01	1.7087e-02	7.1921e+00
4.9704	7.2958e-02	4.4856e+01	1.5185e-02	6.1100e+00
5.1992	7.6243e-02	4.6120e+01	1.4357e-02	5.5226e+00
5.4385	8.0095e-02	4.7536e+01	1.6097e-02	5.9197e+00
5.6889	8.4166e-02	4.8968e+01	1.6262e-02	5.7171e+00
5.9507	8.6984e-02	4.9915e+01	1.0765e-02	3.6180e+00
6.2246	9.0295e-02	5.0979e+01	1.2088e-02	3.8839e+00
6.5111	9.1829e-02	5.1450e+01	5.3551e-03	1.6449e+00
6.8108	9.4444e-02	5.2218e+01	8.7240e-03	2.5618e+00
7.1243	9.6644e-02	5.2835e+01	7.0176e-03	1.9701e+00
7.4522	9.9022e-02	5.3474e+01	7.2537e-03	1.9467e+00
7.7952	1.0137e-01	5.4076e+01	6.8415e-03	1.7553e+00
8.1540	1.0306e-01	5.4491e+01	4.7211e-03	1.1580e+00
8.5293	1.0435e-01	5.4794e+01	3.4349e-03	8.0542e-01
8.9219	1.0558e-01	5.5070e+01	3.1401e-03	7.0391e-01
9.3326	1.0674e-01	5.5318e+01	2.8217e-03	6.0471e-01
9.7621	1.0733e-01	5.5439e+01	1.3666e-03	2.7998e-01
10.2114	1.0859e-01	5.5685e+01	2.7989e-03	5.4818e-01
10.6814	1.1010e-01	5.5968e+01	3.2227e-03	6.0341e-01
11.1731	1.1132e-01	5.6186e+01	2.4754e-03	4.4310e-01
11.6874	1.1240e-01	5.6371e+01	2.1032e-03	3.5990e-01
12.2253	1.1264e-01	5.6410e+01	4.3764e-04	7.1600e-02
12.7880	1.1264e-01	5.6410e+01	0.0000e+00	0.0000e+00

### DFT method summary

Pore volume = 0.113 cc/g  
Surface area = 56.410 m<sup>2</sup>/g  
Lower confidence limit = 1.232 nm  
Fitting error = 7.628 %  
Pore width (Mode) = 2.769 nm  
Moving point average : off

### Average Pore Size data

Average pore Diameter = 4.09279e+00 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Analysis**  
Operator: Nano\_KMITL Date:2023/02/01 Report: Nano\_KMITL Date:2023/02/02  
Sample ID: Phuriphat\_20230131\_SPONGE\_CELLULOSE\_FROM\_ARECA\_NUT\_LEAF\_SHEATH\_1\_2 Filename: Phuriphat\_20230201\_SPONGE\_CE

### Volume/Area summary

#### Surface Area Data

SinglePoint BET.....	4.240e+01 m <sup>2</sup> /g
MultiPoint BET.....	1.259e+02 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area.....	8.867e+01 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area.....	6.992e+01 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area.....	9.048e+01 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area.....	7.279e+01 m <sup>2</sup> /g
t-method external surface area.....	1.259e+02 m <sup>2</sup> /g
DFT cumulative surface area.....	5.641e+01 m <sup>2</sup> /g

#### Pore Volume Data

Total pore volume for pores with Diameter less than 39.72 nm at P/Po = 0.949166.....	1.288e-01 cc/g
BJH method cumulative adsorption pore volume.....	1.456e-01 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume.....	1.020e-01 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume.....	1.432e-01 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume.....	1.014e-01 cc/g
HK method micropore volume.....	9.237e-03 cc/g
SF method micropore volume.....	9.922e-04 cc/g
DFT method cumulative pore volume.....	1.126e-01 cc/g

#### Pore Size Data

Average pore Diameter.....	4.093e+00 nm
BJH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d)).....	9.554e+00 nm
BJH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d)).....	3.416e+00 nm
DH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d)).....	9.554e+00 nm
DH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d)).....	3.416e+00 nm
HK method pore Diameter (Mode).....	1.937e+00 nm
SF method pore Diameter (Mode).....	3.755e+00 nm
DFT pore Diameter (Mode).....	2.769e+00 nm

### Total Pore Volume data

#### Total Pore Volume

Total pore volume = 1.288e-01 cc/g for  
pores smaller than 39.7 nm (Diameter)  
at P/Po = 0.94917

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### วิเคราะห์อัตราส่วนเกลือโซเดียมซัลเฟตที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันด้วยโปรแกรมมินิแพบ

#### ANOVA One way

ตารางที่ ข.1 Method

#### กระบวนการทดลอง

สมมติฐานการทดลอง

สมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากัน สมมติฐานทางเลือก ( $H_1$ ) = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดไม่เท่ากัน

ระดับนัยสำคัญ = 0.05

ค่าความแปรปรวนเท่ากัน ถูกสันนิษฐานสำหรับการวิเคราะห์

Null hypothesis	All means are equal
Alternative hypothesis	Not all means are equal
Significance level	$\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis

#### Factor Information

ตารางที่ ข.2 Factor Information

#### ข้อมูลปัจจัยในการทดลอง

C1 = อัตราส่วนสารละลายหนืดต่อเกลือ (NaOH)

ทำการทดลอง 4 อัตราส่วน ได้แก่ 1:0.5, 1:1, 1:2 และ 1:3

Factor	Levels	Values
C1	4	1:0.5, 1:1, 1:2, 1:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Analysis of Variance

### ตารางที่ ข.3 Analysis of Variance

#### การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เนื่องจากค่า P-Value = 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก

( $H_0$ ) ที่  $\alpha = 0.05$

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
C1	3	508362	1689454	18.09	0.001
Error	8	747026	93378		
Total	11	5815388			

## Model Summary

### ตารางที่ ข.4 Model Summary

S	R-sq	R-sq(adl)	R-sq(pred)
305.579	87.15%	82.34%	71.10%

## Means

### ตารางที่ ข.5 Means

ผลการวิเคราะห์ทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนต่อ สารละลายชนิดต่อเกลือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยใช้การทดสอบค่าเฉลี่ยโดย Turkey Pairwise Comparisons ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

C1	N	Mean	StDev	95% CI
1:0.5	3	1722.4	136.6	(1315.5, 2129.2)
1:1	3	732.6	61.6	(325.8, 1139.4)
1:2	3	2443	328	(2036, 2850)
1:3	3	1097	494	(690, 1504)

Pooled StDev = 305.579

## Fisher Pairwise Comparisons

เอกสาร Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

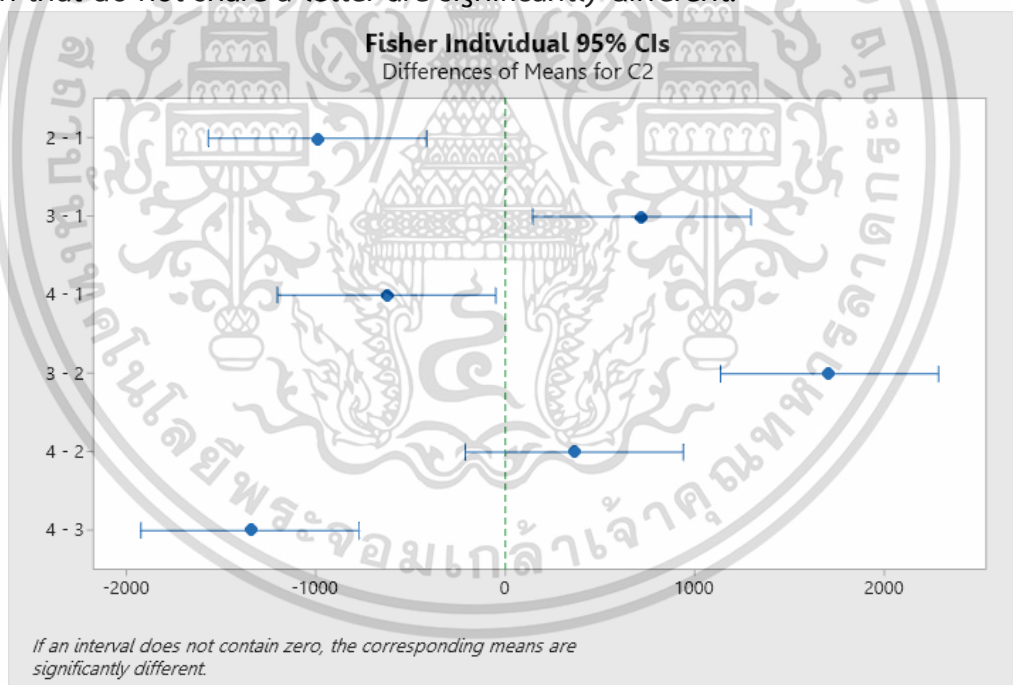
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนเกลือในการผลิตฟองน้ำที่อัตราส่วน 1:0.5, 1:1, 1:2 และ 1:3

C1	N	Mean	Grouping		
1:2	3	2,443.00	A		
1:0.5	3	1722.40		B	
1:3	3	1,097.00			C
1:1	3	732.60			C

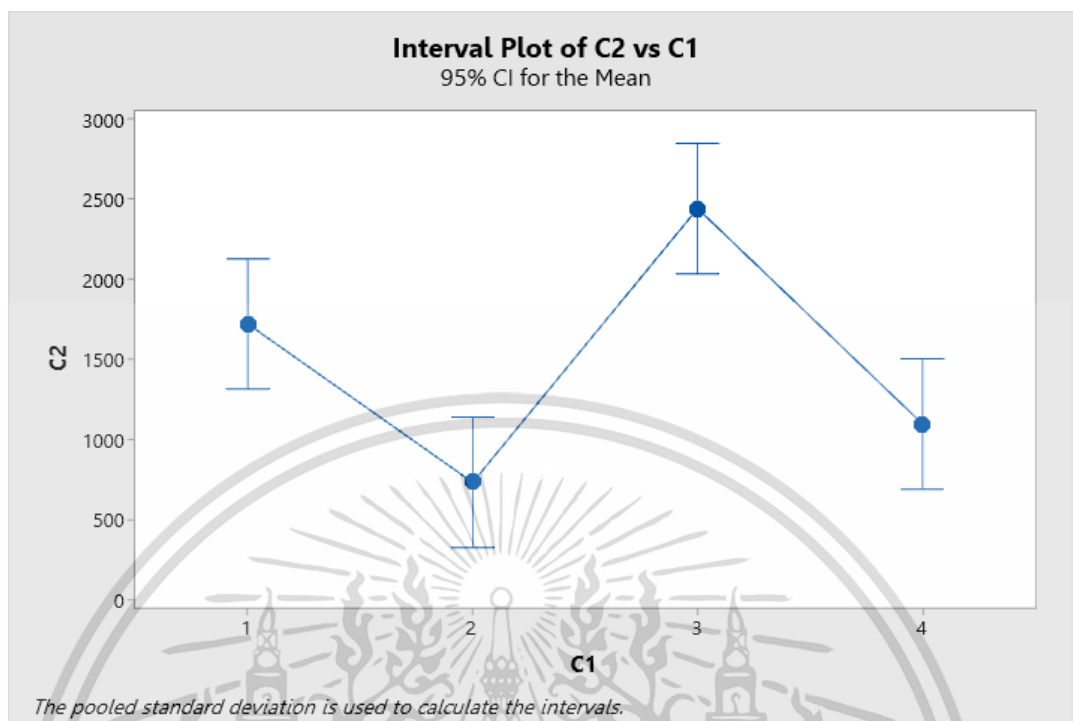
จากผลการทดลองจะเห็นว่า อัตราส่วน 1:2 อยู่ กลุ่ม A อัตราส่วน 1:0.5 อยู่ กลุ่ม B อัตราส่วน 1:1 และ อัตราส่วน 1:3 อยู่กลุ่ม C สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยอัตราส่วน 1:1 และอัตราส่วน 1:3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Mean that do not share a letter are significantly different.

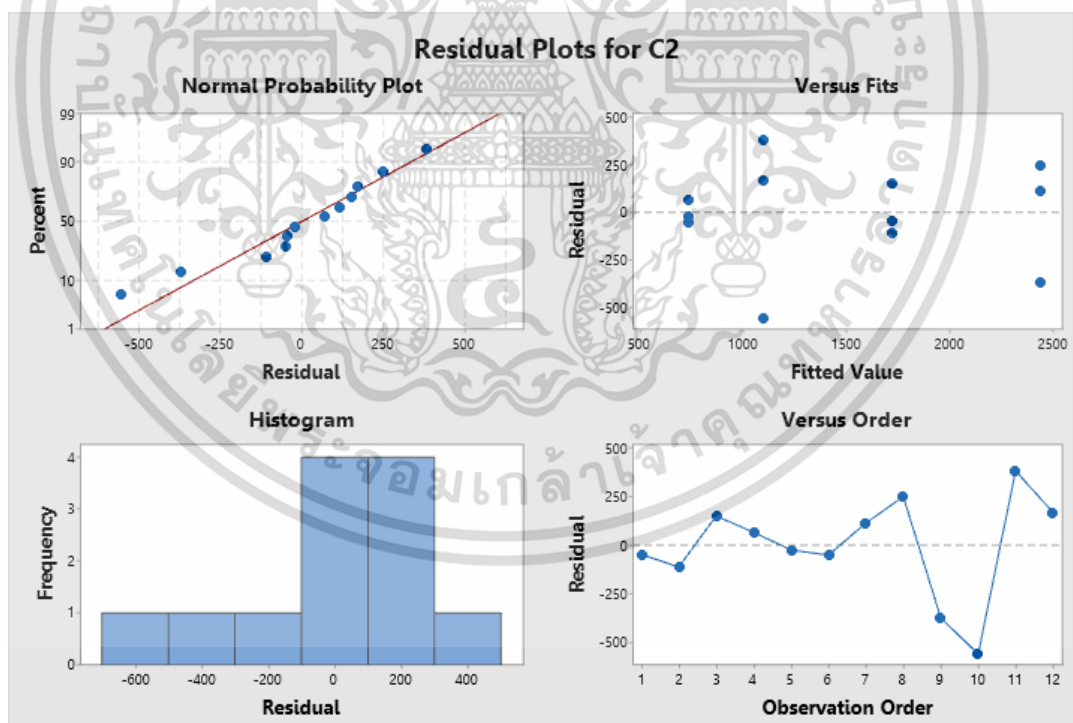


ภาพที่ ข.1 Fisher Individual 95% CIs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.2 Interval Plot of C2 vs C1



ภาพที่ ข.3 Residual Plots for C2

จากกราฟพบว่าข้อมูลความเป็น Normality ข้อมูลมีการกระจายตัวของแบบสุ่ม ข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน ไม่เป็น Trend และมีความแปรปรวนคงที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 1 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว ประมิตตา	ตุ่นไรสง	รหัสประจำตัว 62050410
นาย/นาง/นางสาว ภรณ์รวี	หิรัญเจริญ	รหัสประจำตัว 62050423
นาย/นาง/นางสาว ภูริพัฒน์	จันทานวน	รหัสประจำตัว 62050427
นาย/นาง/นางสาว ภูวเดช	ศาสนปถัมภ์	รหัสประจำตัว 62050428

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชา เคมี ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย .....ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของฟองน้ำเซลลูโลสจากกาบหมาก.....

ชื่อภาษาอังกฤษ .....Oil Adsorption Efficiency of Cellulose Sponge from Areca Nut Leaf Sheath .....

ปีการศึกษา .....2565.....

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักษรวินิจฉัย 2.81 % หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ..... ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....

(ประมิตตา ตุ่นไรสง)

(ภรณ์รวี หิรัญเจริญ)

(ภูริพัฒน์ จันทานวน)

นักศึกษา

นักศึกษา

นักศึกษา

ลงชื่อ.....

(ภูวเดช ศาสนปถัมภ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ศ. / รศ. / ผศ. / ดร. / อ. รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ลงชื่อ..... ไม่ว่าวุฒิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดมปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ลงชื่อ.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม