

# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การผลิตเซลลูโลสที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำจากวัสดุเหลือใช้เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับ  
และ/หรือตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

Innovation of Cellulose Sponge from Waste Materials to Use as  
Adsorbent/Catalyst for Petrochemical Industries

โดย

ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และคณะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัยร่วมภาครัฐ-เอกชน  
ประจำปีงบประมาณ 2546 และ 2547

## บทคัดย่อ

ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ เตรียมจากชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยผ่านกระบวนการเตรียมของผสมหนืด (Viscose Process) โดยนำชานอ้อยซึ่งผ่านการบดและอบไล่ความชื้นมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำมากรองเอาแต่กากบ่มทิ้งไว้ แล้วทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดซัลไฟด์ จากนั้นทำปฏิกิริยาอีกครั้งกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ได้เป็นของผสมหนืด นำของผสมหนืดที่ได้ผสมกับผลิตภัณฑ์โซเดียมซัลเฟตแล้วขึ้นรูปในสภาวะกรด เกิดเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่สภาวะต่างกันเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้ โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 18-22 โดยน้ำหนัก ใช้อุณหภูมิสำหรับบ่มอัลคาไลเซลลูโลสในช่วง 30-95 องศาเซลเซียส ปริมาตรคาร์บอนไดซัลไฟด์ 25-45 มิลลิลิตร และปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตโดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนในการผสมกับของผสมหนืด ใน 4 อัตราส่วน ได้แก่ ปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 25 ร้อยละ 50 ร้อยละ 66 และร้อยละ 75 นำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ได้ไปทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบและน้ำทะเล เปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบและน้ำทะเลของพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นวัสดุดูดซึมที่ใช้ในทางการค้า พบว่าการเตรียมฟองน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 และผสมกับเกลือโซเดียมซัลเฟตในอัตราส่วนร้อยละ 50 ทำให้ฟองน้ำดูดซึมน้ำมันดิบได้ดีที่สุด ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบ ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลสและปริมาตรคาร์บอนไดซัลไฟด์ เมื่อบ่มด้วยอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสและใช้ปริมาตรคาร์บอนไดซัลไฟด์ 25 มิลลิลิตรทำให้ฟองน้ำมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบได้สูงถึง 12.0 เท่าของน้ำหนักแห้งเมื่อเทียบกับความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบของพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นวัสดุดูดซึมทางการค้า พบว่าฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมีความสามารถในการดูดซึมสูงกว่าพอลิพรอพิลีน 1.25 เท่า

## Abstract

Cellulose sponges can be prepared from bagasse which is an agricultural waste material via viscose process. First, grinded and dried bagasse was reacted with sodium hydroxide solution, then aged filtrate for a while and reacted with carbon disulfide. After that cellulose xanthate was reacted with 4% NaOH sodium hydroxide solution to get viscose mixture. Viscose mixture was mixed with crystal sodium sulfate and molded by 10%  $H_2SO_4$  to get cellulose sponge. In this thesis, variation of condition was experimented. It was varied on concentration of sodium hydroxide in range of 18-22% by weight, aging alkali cellulose temperature in the range 30-95 °C, volume of carbon disulfide in the range of 25-45 ml, and the amount of crystal sodium sulfate in 25%, 50%, 66%, and 75%. Cellulose sponges were tested for crude oil and seawater absorption capacity to compare to that of polypropylene which is a commercial sorbent. From the experiment cellulose sponges prepared in the condition of 10% sodium hydroxide, aging alkali cellulose temperature of 95 °C, volume of carbon disulfide 25 ml, and 50% sodium sulfate have the highest crude oil absorption capacity. They can absorb crude oil in 12.0 times dry weight. Comparing to polypropylene, the crude oil absorption capacity of regenerated cellulose sponge is more than that of polypropylene 1.25 times.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับเงินสนับสนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยร่วมภาครัฐ-เอกชน ของศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนุภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2546 และ 2547 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส (ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

สำหรับการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง ซึ่งประกอบด้วยเครื่อง Ultrapycnometer ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เครื่องวัดความหนืดจากกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือทดสอบต่าง ๆ ไว้ ณ ที่นี้ด้วย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(2)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	2
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
มลพิษจากน้ำมันและการกำจัดน้ำมัน	4
เซลลูโลส	12
ชานอ้อย	17
กระบวนการเตรียมของผสมหนืด	19
การดูดซึม	23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
เครื่องมือ	37
วัตถุดิบและสารเคมี	38
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	44
สรุปผลการวิจัย	58
สรุปผลการวิจัย	58
เอกสารอ้างอิง	60

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ส่วนประกอบของเซลล์ของผลพลอยได้จากข้าวและอ้อย	19
2 วัตถุประสงค์สำหรับผลึกวิสกอส 1 ปอนด์	36
3 อัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟตซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ	40
4 ค่าความหนืดของของผสมชนิดที่เตรียมจากสภาวะที่ต่างกัน	45
5 สภาวะที่ใช้ทดลองผลของความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์	50
6 สภาวะที่ใช้ทดลองผลของความเข้มข้นของอัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟต	51

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สัดส่วนของแหล่งที่มาของสารปิโตรเลียมร่วไหลลงทะเลทั่วโลก	7
2 สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุน้ำมันร่วไหล โดยมีปริมาณน้ำมันขนาด 7-700 ตัน	7
3 สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุน้ำมันร่วไหล โดยมีปริมาณน้ำมันร่วไหลมากกว่า 700 ตัน	8
4 ประเภทของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่เกี่ยวกับอุบัติเหตุการร่วไหลลงทะเล	8
5 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส	13
6 ดันอ้อยและชานอ้อย	18
7 กระบวนการเตรียมของผสมชนิด	22
8 กระบวนการดูดซึม	23
9 ตัวอย่างวัสดุดูดซึมน้ำมัน	24
10 ขั้นตอนการเตรียมของผสมชนิด	39
11 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของของผสมชนิด	42
12 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึม	43
13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของของผสมชนิดกับความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบ	46
14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของของผสมชนิดกับความสามารถในการดูดซึมน้ำทะเล	46

- 15 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความสามารถ  
ในการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้ 51
- 16 ผลของอัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความสามารถในการ  
ดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้ 52
- 17 ศึกษาการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มและปริมาตร  
คาร์บอนไดออกไซด์ 54
- 18 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มและปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความสามารถ  
ในการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้ 55
- 19 ลักษณะรูพรุนของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้ 56



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การผลิตเซลลูโลสที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำจากวัสดุเหลือใช้เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับ และ/หรือตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

### Innovation of Cellulose Sponge from Waste Materials to Use as Adsorbent/Catalyst for Petrochemical Industries

#### คำนำ

ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมจัดเป็นปัญหาที่ควรให้ความสนใจแก้ไขเป็นอันดับต้น เนื่องจากมีการปนเปื้อนของสารที่เป็นมลพิษในแหล่งน้ำทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ น้ำมันเป็นสารมลพิษทางน้ำซึ่งเกิดขึ้นจากการทำความสะอาดสิ่งสกปรก การถ่ายเทน้ำมันและไขมันทิ้งจากบ้านเรือนและร้านค้า สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ร้านซ่อมรถยนต์และจักรยานยนต์ สถานีเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง โรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งการเกิดอุบัติเหตุเรือชนกัน เรือบรรทุกน้ำมันรั่วหรือการล้างถังของเรือ ทำให้น้ำมันถูกถ่ายเทลงสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากน้ำมันเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ละลายน้ำจึงทำให้เกิดแผ่นฟิล์มเคลือบปกคลุมผิวน้ำ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากมาย เช่น ทำให้แสงอาทิตย์ไม่สามารถส่งผ่านลงไปใแหล่งน้ำ ลดการละลายของออกซิเจน สัตว์น้ำดูดซึมน้ำมันเข้าร่างกาย รวมไปถึงการเดินเรือ การประมงและทัศนียภาพของแหล่งน้ำนั้นๆ

นอกจากปัญหาดังกล่าว ปัญหาขยะต้นเมืองเนื่องจากมีปริมาณขยะเป็นจำนวนมากจนไม่สามารถกำจัดได้ทันก็เป็นอีกหนึ่งปัญหาที่ควรให้ความสำคัญ ทางเลือกหนึ่งที่จะบรรเทาปัญหานี้คือการนำเอาวัสดุเหลือใช้ เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย ผักตบชวา เปลือกปาล์ม ดันหญ้า รวมทั้งกระดาษต่างๆซึ่งมีอยู่จำนวนมากและสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย มาเปลี่ยนให้เป็นสิ่งที่เกิดประโยชน์ นับว่าเป็นการดีกว่าที่จะทิ้งให้ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกปาล์ม ดันหญ้า กระดาษกลายเป็นขยะ และผักตบชวาเป็นพิษน้ำที่ทำลายระบบนิเวศน์ได้น้ำ เมื่อนำวัสดุเหล่านี้ซึ่งมีเส้นใยธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลักมาแปรรูป นอกจากจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติแล้ว ยังถือได้ว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่มีมูลค่าต่ำอีกด้วย จากสาเหตุดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาทดลองนำเอาวัสดุเหล่านี้ไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติซึ่งมีความพรุนและพื้นที่ผิวสูง และเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น



ใช้เป็นตัวดูดซึมน้ำมัน ใช้เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและใช้เป็นผิวหนังเทียมในทางการแพทย์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากชานอ้อย เพื่อเป็นตัวดูดซึมน้ำมันปนเปื้อนในทะเล และเพื่อเพิ่มมูลค่าชานอ้อย รวมทั้งเพื่อลดปริมาณขยะ โดยขอบเขตในการวิจัยจะทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 14-22 โดยน้ำหนัก ปริมาตรของคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS<sub>2</sub>) ในช่วง 15-45 มิลลิลิตร อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มเซลล์ulosแซนเทคในช่วงอุณหภูมิ 30-95 องศาเซลเซียส และปริมาณของโซเดียมซัลเฟต (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ซึ่งใช้เป็นวัสดุเกิดรูพรุน โดยผสมกับของผสมหนืดในอัตราส่วนร้อยละ 25-75 นอกจากนี้ศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้ ได้แก่ ลักษณะรูพรุน โดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) รวมทั้งค่าการดูดซึมน้ำมัน



คุรุญวิทยาทรพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## วัตถุประสงค์และขอบเขตวิจัย

### วัตถุประสงค์

- ศึกษาและเปรียบเทียบเซลลูโลสที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำที่สภาวะต่างๆ
- ศึกษาและเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติของเซลลูโลสที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำที่ผลิตจากวัสดุชนิดต่างๆ

### ขอบเขตการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเซลลูโลสที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำจากวัสดุเหลือใช้ต่างๆ ที่มีในประเทศไทย เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และเปรียบเทียบสมบัติของเซลลูโลสที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำที่เตรียมจากวัสดุต่างชนิดกันเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านสิ่งแวดล้อม ทางการแพทย์หรือในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยเริ่มจากนำวัสดุเหลือใช้มาบดให้มีขนาดเล็กกลง แล้วนำไปผ่านกระบวนการหนืด (viscose process) ซึ่งจะเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในวัสดุเหล่านี้ บ่มทิ้งไว้ แล้วเติมคาร์บอนไดออกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง จะได้ของผสมหนืด หลังจากนั้นใช้โซเดียมซัลเฟตทำให้เกิดเป็นฟองน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การตรวจเอกสาร

### มลพิษจากน้ำมันและการกำจัดน้ำมัน

น้ำมันเกิดจากการแปรสภาพของซากสิ่งมีชีวิตที่ถูกทับถมมาเป็นเวลานานนับหลายล้านปี ด้วยชั้นหินต่างๆ เช่น ชั้นหินทราย หินปูนและหินดินดาน ความกดดันจากชั้นหินเหล่านี้บวกกับความร้อนใต้พื้นโลก และการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ ทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน หydrocarbon แก๊สธรรมชาติหรือปิโตรเลียม ปิโตรเลียมที่เกิดขึ้นนี้จะเคลื่อนที่ระหว่างเม็ดทรายหรือชั้นหินที่มีรูพรุน ดังนั้นคุณสมบัติของน้ำมันแต่ละแหล่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดที่เป็นซากพืชซากสัตว์นั้น ๆ

สาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ ได้แก่

1. อุบัติเหตุทางเรือของเรือขนส่งน้ำมันและเรือประเภทอื่นๆ เนื่องจากการชนกันของเรือ การอับปางของเรือ เป็นอุบัติเหตุที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำบ่อยครั้ง โดยเฉพาะบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการชนกันมากที่สุด คือ เส้นทางเดินเรือระหว่างเกาะสีชังและฝั่งอำเภอศรีราชา หรือบริเวณอ่าวไทยตอนบน และแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งเป็นสถานที่ตั้ง โรงกลั่นน้ำมันและถังสำรองกักเก็บน้ำมันจำนวนมาก นอกจากนี้ในบริเวณดังกล่าวก็ยังมีกิจกรรมทางน้ำอย่างหนาแน่น โดยไม่มีอุปกรณ์นำร่อง

ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2517-2538 พบว่ามีอุบัติเหตุจากเรือบรรทุกน้ำมันเป็นจำนวน 4 ครั้ง โดยมีคราบน้ำมันขนาดระหว่าง 7-700 ตัน จำนวน 3 ครั้ง และขนาดมากกว่า 700 ตัน จำนวน 1 ครั้ง ซึ่งคราบน้ำมันที่ใหญ่ที่สุดเกิดขึ้นในแม่น้ำเจ้าพระยา ครั้งอื่น ๆ เกิดที่เพชรบุรี เกาะสีชังและตราด นอกจากนี้ยังพบคราบน้ำมันที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ตัน จำนวน 5 ครั้ง ระหว่างปี พ.ศ. 2518-2539 โดยเกิดจากเรือบรรทุกน้ำมันเป็นส่วนใหญ่ (ITOPF, 1996)

จากข้อมูลของการควบคุมมลพิษ พบว่าในปี พ.ศ. 2535 ได้เกิดอุบัติเหตุเรือบรรทุกน้ำมันเตาปริมาณ 60,000 ลิตร ได้จมลงในแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณปากคลองลาดหลวง จังหวัดสมุทรปราการเป็นผลให้น้ำมันปริมาณ 10,000 ลิตรรั่วไหลก่อให้เกิดการแพร่กระจายของน้ำมันไปทางใต้เป็นระยะทาง 3 กิโลเมตรและไปทางเหนือ 1 กิโลเมตร โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและ

ไขมันเมื่อผ่านไป 3 วันได้เท่ากับ 70 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดให้ไม่เกินกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบคราบน้ำมันติดตามสิ่งปลูกสร้างริมแม่น้ำและแนวฝั่ง ในปี พ.ศ. 2537 เกิดอุบัติเหตุเรือบรรทุกน้ำมันชนเรือบรรทุกสินค้าปุ๋ยเคมีวิทยาศาสตร์ที่บริเวณตอนใต้เกาะค้างคาวห่างจากเกาะสีชังประมาณ 1.5 กิโลเมตร ทำให้น้ำมันดีเซลประมาณ 4.8 แสนลิตรไหลลงสู่ทะเล ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของน้ำมันเป็นพื้นที่ประมาณ 4.5 ไมล์ทะเล ในปี พ.ศ. 2538 มีเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลส่งสู่ทะเลและปากแม่น้ำ รวม 7 ครั้ง โดยเกิดจากการลักลอบปล่อยทิ้งจากน้ำล้างถังน้ำมันของเรือในเดือนเมษายน พฤษภาคมและมิถุนายน เกิดเหตุน้ำมันรั่วปริมาณ 500 ลิตร จากการสูบน้ำมันบริเวณแม่น้ำบางปะกงในเดือนเมษายน เกิดจากไฟไหม้เรือบรรทุกน้ำมันเบนซินขนาด 2 ล้านลิตรที่ทำเรือจังหวัดสงขลาในเดือนกรกฎาคม และเกิดเหตุเรือบรรทุกน้ำมันเตาและน้ำมันหล่อลื่นอับปางที่ชายฝั่งอันดามัน และครั้งสุดท้ายเกิดจากการรั่วไหลของถังน้ำมันของโรงกลั่นผู้ชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง (กรมควบคุมมลพิษ, 2536; กรมควบคุมมลพิษ, 2538; กรมควบคุมมลพิษ, 2539)

2. การแอบถ่ายน้ำมันเครื่องและการแอบทิ้งน้ำปนน้ำมันในท้องเรือลงสู่แหล่งน้ำ โดยทั่วไปเมื่อเรือขนส่งน้ำมันเสร็จแล้วและต้องการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ใหม่จะต้องทำการล้างถังก่อน เช่น ส่งน้ำมันดิบไปยังคลังน้ำมันแล้วขนถ่ายน้ำมันเตาต่อ เรือขนถ่ายน้ำมันจะทำการล้างถังกักเก็บน้ำมันในเรือก่อน นอกจากนี้ภายในเรือยังมีน้ำอับเฉาจำนวนมากที่ต้องถ่ายทิ้ง เช่น น้ำจากการชะล้าง และน้ำเสียจากห้องน้ำ รวมถึงน้ำล้างเรือซึ่งปนเปื้อนน้ำมันจำนวนหนึ่ง เรือจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อรองรับของเสียเหล่านี้ จึงเป็นสาเหตุให้เรือที่ไม่มีอุปกรณ์รองรับแอบทำการถ่ายทิ้งลงแหล่งน้ำ

3. การขนถ่ายน้ำมันระหว่างเรือกับท่าเทียบเรือปัญหา น้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเลซึ่งเกิดจากการขนถ่ายน้ำมันระหว่างเรือกับท่าเทียบเรือมีเกิดขึ้นบ้างแต่ไม่รุนแรง เนื่องจากมีการควบคุมดูแลท่าเทียบเรือโดยรัฐ โดยท่าเทียบเรือต้องป้องกันมิให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันและต้องมีแผนฉุกเฉินสำหรับกำจัดคราบน้ำมันเมื่อเกิดการรั่วไหล แต่ยังมีเกิดขึ้นบ้างจากการประมาท

4. การขนถ่ายน้ำมันทางทะเลที่ท่าเทียบเรือบางแห่งนั้น เรือขนถ่ายน้ำมันขนาดใหญ่จะไม่สามารถเข้าเทียบท่าได้เนื่องจากร่องน้ำตื้นเกินไป ทำให้ต้องทำการขนถ่ายในทะเลจากเรือขนาดใหญ่ลงเรือขนาดเล็กแล้วนำไปเก็บในถังหรือส่งโรงกลั่น การดำเนินการจุดนี้ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ทะเลได้และรัฐดูแลลำบาก

5. การเสียดลอคของน้ำมันซึ่งปะปนมากับน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมรวมทั้งอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน

6. ปะปนมากับน้ำทิ้งชุมชนจากชุมชนครัวเรือน อยู่ช่อมรยงค์และสถานีบริการน้ำมัน สถานที่เหล่านี้มีกิจกรรมที่จะทำให้ น้ำมันปะปนมากับน้ำทิ้งได้

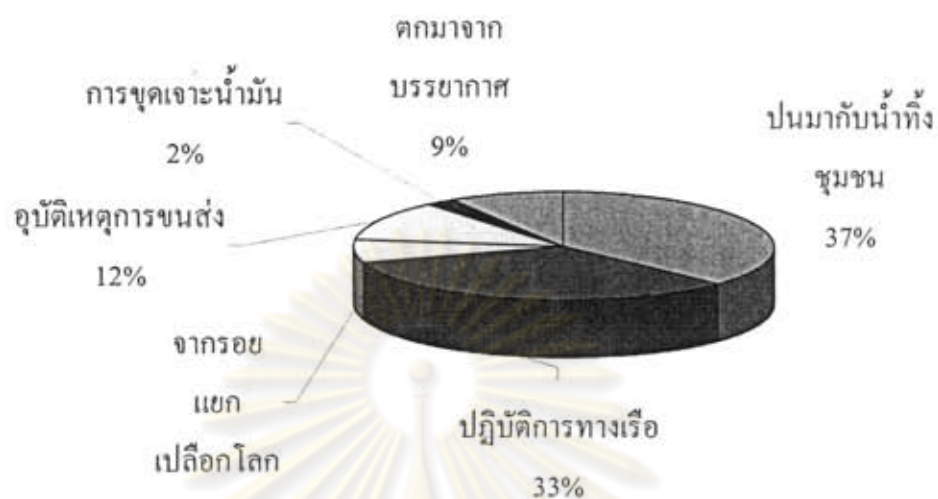
7. การขูดเจาะสำรวจการเจาะสำรวจหาแหล่งก๊าซธรรมชาติและน้ำมันในทะเลรวมทั้งระหว่างการดำเนินงานขูดเจาะน้ำมัน

8. การรั่วไหลโดยธรรมชาติในบริเวณพื้นดินทั้งในทะเลและมหาสมุทรทั่วโลกสามารถเกิดการรั่วไหลของน้ำมันได้โดยธรรมชาติ สัดส่วนของแหล่งที่มาของสารปิโตรเลียมรั่วไหลลงทะเลทั่วโลกแสดงไว้ในภาพที่ 1

#### การประเมินสาเหตุการรั่วไหลของน้ำมัน

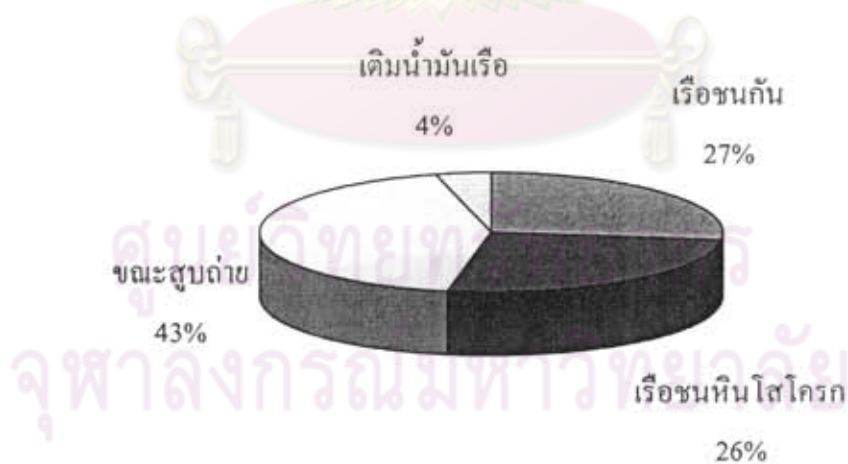
การประเมินสาเหตุของการรั่วไหลของน้ำมันเพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ ประเมินความถี่ของการเกิดการรั่วไหลและปริมาณที่รั่วไหล พบว่าสาเหตุของการเกิดน้ำมันรั่วไหลที่มีปริมาณต่ำกว่า 7-700 ตัน มีสาเหตุมาจากอุบัติเหตุในระหว่างการสูบน้ำมันและอุบัติเหตุจากเรือชนกัน ดังแสดงในภาพที่ 2 ส่วนอุบัติเหตุที่มีการรั่วไหลของปริมาณน้ำมันสูงกว่า 700 ตันนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากการที่เรือชนหินโสโครก ดังแสดงในภาพที่ 3 และถ้าแบ่งตามชนิดของน้ำมันที่รั่วแล้วพบว่าน้ำมันดิบมีปริมาณการรั่วไหลมากที่สุด ร้อยละ 45 รองลงมา คือ น้ำมันเตา ร้อยละ 24 ดังแสดงในภาพที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1 สัดส่วนของแหล่งที่มาของสารปิโตรเลียมรั่วไหลลงทะเลทั่วโลก

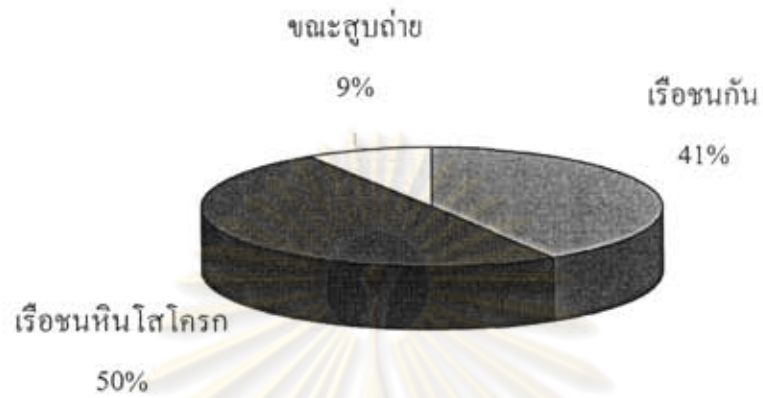
ที่มา: ITOPF (1996)



ภาพที่ 2 สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุน้ำมันรั่วไหลโดยมีปริมาณน้ำมันขนาด 7-700 ตัน

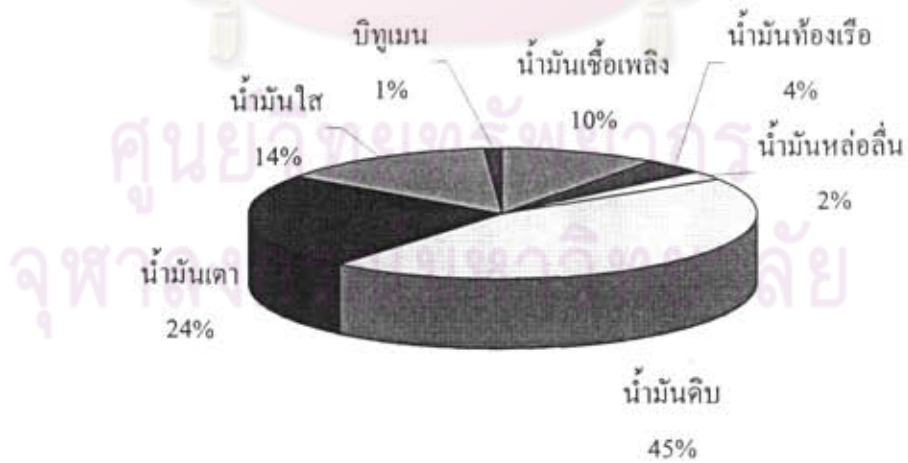
ที่มา: ITOPF (1996)

ที่มา: ITOPF (1996)



ภาพที่ 3 สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุน้ำมันรั่วไหลโดยมีปริมาณน้ำมันรั่วไหลมากกว่า 700 ตัน

ที่มา: ITOPF (1996)



ภาพที่ 4 ประเภทของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่เกี่ยวกับอุบัติเหตุการรั่วไหลลงทะเล

## ผลกระทบของน้ำมันต่อสิ่งมีชีวิต

ไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันที่ลอยอยู่ในน้ำสามารถทำลายสิ่งมีชีวิตในน้ำได้หลายชนิด ดังนั้นผลกระทบต่อระบบนิเวศจึงขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิตที่ถูกทำลายและปริมาณที่ถูกทำลาย หากสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ เช่น แพลงตอนถูกทำลายเป็นจำนวนมากจะเป็นอันตรายต่อระบบชีววิทยา เนื่องจากห่วงโซ่อาหารต้องการแพลงตอนปริมาณมากเป็นฐาน

ส่วนมากน้ำมันที่รั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจะทำลายแพลงตอนและสิ่งมีชีวิตชั้นสูง หากการทำลายไม่รุนแรง ระบบนิเวศนั้นๆจะสามารถฟื้นตัวเข้าสู่สมดุลของธรรมชาติเดิมได้ในระยะเวลาสั้น เมื่อพิจารณาห่วงโซ่อาหารที่แพลงตอนได้รับไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมัน อาจเกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์ของแพลงตอนได้ผลิตภัณฑ์หรือสารประกอบตัวใหม่ เมื่อแพลงตอนกลายเป็นอาหารของปลาเล็ก และปลาเล็กเป็นอาหารของปลาใหญ่ไปจนถึงมนุษย์ตามกระบวนการของห่วงโซ่อาหาร ไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันที่พบในเนื้อเยื่อร่างกายมนุษย์จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ซึ่งอาจเป็นพิษ เช่น พาราฟินไฮโดรคาร์บอน (parafin hydrocarbons) ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แต่เมื่อเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารแล้ว สามารถเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบที่เป็นอันตราย เช่น โพลินิวเคลียร์ อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polynuclear aromatic hydrocarbons) ซึ่งอาจกลายเป็นสารก่อมะเร็งได้ภายใต้บางสภาวะ นอกจากนี้อาจส่งผลให้สิ่งมีชีวิตมีพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น นิสัยในการกินอาหาร อัตราการหายใจ อัตราการสืบพันธุ์ ทั้งนี้ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตจะรุนแรงหรือไม่ขึ้นกับปริมาณน้ำมัน ชนิดของน้ำมัน ความเข้มข้นของน้ำมันและระยะเวลาการสัมผัสน้ำมัน (ธิดา, 2545)

## การกำจัดไขมันและน้ำมัน

น้ำมันและไขมันจะพบบ่อยในน้ำเสียจากร้านอาหารทั่วไป รวมทั้งสถานบริการน้ำมัน เชื้อเพลิง ไขมันและน้ำมันเป็นสารประกอบพวกแอลกอฮอล์หรือกลีเซอรอลรวมกับกรดไขมันต่างๆ ส่วนที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเรียกว่าน้ำมันและส่วนที่เป็นของแข็งเรียกว่าไขมัน ไขมันและน้ำมันจากชุมชนมาจากเนย เนื้อสัตว์ต่างๆ น้ำมันพืช ร้านซ่อมรถยนต์ซึ่งมีปริมาณอยู่ในช่วง 50-150 มิลลิกรัมต่อลิตร ไขมันเป็นสารอินทรีย์ที่มีเสถียรภาพและย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ยาก ถ้าเติมพวกกรดแร่ (mineral acids) ลงผสมกับไขมันจะได้กลีเซอรอลและกรดไขมัน ถ้าเติมด่างลงผสมกับไขมันจะได้สบู่ โดยปกติสบู่ที่ใช้จะเป็นสารประกอบของไขมันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็น



สบู่ที่ละลายน้ำได้ แต่ถ้าเปลี่ยนจากเกลือของโซเดียมเป็นเกลือของแคลเซียมหรือแมกนีเซียมจะได้เป็นสบู่กรดแร่ซึ่งตกตะกอนและไม่ละลายน้ำ

สำหรับน้ำมันประเภทปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันเครื่องซึ่งใช้ในการหล่อลื่นเครื่องยนต์และน้ำมันที่ใช้สำหรับการขับเคลื่อนรถยนต์ เป็นสารประกอบของธาตุไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรเจน น้ำมันปิโตรเลียมชนิดนี้อาจไหลลงสู่แหล่งน้ำได้ทางท่อระบายน้ำสาธารณะจากการระบายน้ำทิ้งของสถานประกอบการต่างๆ เช่น ร้านซ่อมรถยนต์ ร้านเคาะพ่นสีรถยนต์ สถานีบริการน้ำมัน โดยทั่วไปแล้วน้ำมันประเภทนี้จะมีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าไขมันที่กล่าวมาแล้ว และมีผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพมาก เนื่องจากจะทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียลดลง และก่อให้เกิดปัญหาทางตรงและทางอ้อมในการควบคุมระบบน้ำเสีย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำมันและ ไขมันในน้ำทิ้งก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือก่อนปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยข้อกำหนดไม่ควรมีปริมาณน้ำมันเกินกว่า 15-20 มิลลิลิตรต่อกรัมหรือ ไม่ควรมีเลข นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังพบไขมันที่มาจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานบรรจุอาหารกระป๋องและโรงฆ่าสัตว์อีกด้วย

การกำจัดน้ำมันและ ไขมันในน้ำเสียต้องให้ไม่เกินมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากอาคารซึ่งกำหนดตามมาตรา 55 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 โดยกำหนดปริมาณน้ำมันและ ไขมันที่จะระบายทิ้งต้องไม่เกินกว่า 20 มิลลิลิตรต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

การกำจัดน้ำมันมีหลายวิธี ที่พบทั่วไปได้แก่การเติมคลอรีน การเติมคลอรีนร่วมกับการเป่าอากาศ การทำให้ลอยแล้วเก็บกวาดออกจากผิวน้ำด้านบน การเพิ่มอุณหภูมิเพื่อช่วยลดค่าความตึงผิวของน้ำมันหรือทำให้น้ำมันลอยขึ้นจากผิวน้ำได้มาก การขจัดออกจากผิวภาชนะ การเป่าอากาศเพื่อให้ฟองอากาศที่มีจำนวนมากพาพวคน้ำมันลอยสู่ผิวน้ำ

การกำจัดสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำจำพวคน้ำมัน วิธีการง่ายๆ ที่ใช้กำจัดได้แก่ การดักหรือกวาด (skimming) สิ่งสกปรกที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ใช้บ่อดักไขมันซึ่งเป็นบ่อคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความจุพอที่จะกักน้ำได้นานประมาณ 15 นาที ในบ่อมีแผ่นกั้นทางน้ำไหลไว้ น้ำจะไหลลอดแผ่นกั้นนี้ ส่วนน้ำมันจะถูกกักไว้แล้วทำการกวาดดักที่ผิวน้ำออกจากบ่อ จากที่กล่าวมาสามารถสรุปวิธีการต่างๆ ในการกำจัดน้ำมันและ ไขมันได้หลายวิธี ดังนี้

1. การเติมคลอรีน การเติมคลอรีนเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยในการกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย คลอรีนที่ใช้เติมอาจเป็นสารละลาย โดยเติมลงในถังตกตะกอนแรกหรือในถังเติมอากาศ โดยทั่วไป ใช้คลอรีนประมาณ 2-5 มิลลิกรัมต่อกรัม

2. การเติมคลอรีนร่วมกับการเป่าอากาศ การเติมคลอรีนร่วมกับการเป่าอากาศจะเป็นวิธีการที่ดีกว่าการเติมคลอรีนอย่างเดียว ระบบนี้จะใช้การผสมระหว่างคลอรีนกับอากาศ โดยทั่วไป ใช้คลอรีนประมาณ 2-10 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. การทำให้ลอย การทำให้ลอยเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมากสำหรับการกำจัดไขมันและน้ำมัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ กระบวนการทำให้ลอยทำได้โดยการทำให้ไขมันหรือไขมันที่มีน้ำหนักเบาลอยขึ้น โดยอาศัยแรงลอยตัวของฟองอากาศของน้ำมันหรือไขมันลอยสู่ผิวน้ำ จากนั้นใช้วิธีกวาดน้ำมันและไขมันที่อยู่บริเวณผิวน้ำออกจากถัง การทำให้ลอยยังสามารถใช้ในการแยกสิ่งสกปรกที่ตกตะกอนยากหรือสิ่งสกปรกที่มีลักษณะกึ่งจมกึ่งลอยซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลว การแยกสิ่งสกปรกเหล่านี้ทำได้โดยใช้ฟองอากาศพาสิ่งสกปรกลอยขึ้นสู่ผิวน้ำเพื่อกวาดตัดออกไป การทำให้ลอยมีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การเป่าฟองอากาศลงไปในน้ำโดยตรง การอัดอากาศภายใต้ความกดดันสูงกว่าบรรยากาศแล้วลดความดันของน้ำลง การอัดอากาศเข้าไปในน้ำที่ความดันบรรยากาศแล้วลดความดันจนเกิดสุญญากาศ

4. การเพิ่มอุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการกำจัดน้ำมัน ถ้าอุณหภูมิของน้ำมันในน้ำเสียสูงขึ้นค่าความตึงผิวของน้ำมันลดลง ทำให้น้ำมันต่างๆ ในน้ำเสीलอยขึ้นมาได้ง่ายขึ้น จึงเป็นประโยชน์ต่อการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียได้อย่างมาก

5. การขจัดดู ในบางครั้งไขมันในน้ำเสียไหลลงสู่บ่อเปือกในสถานีสูบน้ำเสียเป็นประจำ ทำให้เกิดการสะสมของไขมันตามผนังบ่อ ปัญหานี้อาจแก้ไขได้โดยใช้น้ำฉีดแรงๆ หรือขจัดดูบริเวณที่มีไขมันเกาะอยู่ และถ้าจำเป็นควรถ่ายน้ำเสียทิ้งออกจากบ่อเปือกอย่างช้าๆ จากนั้นจึงทำการขจัดดูบริเวณที่มีไขมันเกาะติดอยู่บริเวณพื้นบ่อเปือกออก วัตถุประสงค์ของการขจัดดูเพื่อป้องกันไขมันเหล่านี้ไปอุดตันในเครื่องสูบน้ำ

6. การเป่าอากาศ การเป่าอากาศเป็นระบบที่ต้องใช้พลังงานมาก แต่ทำให้การบำบัดน้ำเสียทำได้ง่ายขึ้นมาก เพราะไม่เพียงแต่สามารถกำจัดไขมันออกได้เท่านั้นยังสามารถกำจัดตะกอนหนัก ช่วยลดค่าบีโอดี ช่วยลดค่าสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ ช่วยควบคุมกลิ่นในระบบบำบัด ช่วยลดปริมาณตะกอนที่เกาะสะสมอยู่บริเวณผนังและบริเวณก้นบ่อเปือก ระบบเป่าอากาศนี้มีหลักการง่าย ๆ คือ การเป่าอากาศลงในน้ำ พวกลอยอากาศจะนำพาไขมันต่างๆ ลอยขึ้นมา จากนั้นจึงทำการตักหรือกวาด ไขมันและน้ำมันออกจากถังเป่าอากาศ

สำหรับอุปกรณ์ในการดักจับน้ำมันที่ใช้กันทั่วไปนั้น ได้แก่ ถังดักน้ำมันและ ไขมันซึ่งอาศัยหลักการที่ว่าน้ำมันและ ไขมันเบากว่าน้ำจึงลอยอยู่บนผิวน้ำ ทางออกของถังดักน้ำมันและ ไขมันจึงจุ่มอยู่ใต้น้ำต่ำกว่าชั้นน้ำมันและ ไขมัน และสามารถดึงเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำออกจากถังดักด้วยท่อรูปตัวที น้ำมันหรือ ไขมันที่สะสมอยู่ในถังสามารถตักทิ้งได้ ถังดักไขมันจะเป็นถังพักที่มีแผ่นกั้นขวางอยู่ในถังเพื่อดัก ไขมันไว้ให้ได้ปริมาณมากที่สุด แต่ต้องมีขนาดพื้นที่ผิวเพียงพอกับปริมาณ ไขมันที่ลอยขึ้นมา ความเร็วของน้ำในถังต้องต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้และบริเวณทางออกต้องไม่ให้น้ำมันและ ไขมันหลุดออกไปได้ เวลาในการเก็บกักของถังดักไขมันควรมากกว่า 30 นาที แต่ต้องไม่นานเกินจนเกิดกลิ่นเหม็น ส่วนน้ำเสียที่มีน้ำมันและ ไขมันละลายอยู่ไม่สามารถใช้วิธีดักไขมันได้ต้องใช้สารเคมีช่วยแยกน้ำมันและน้ำเสียออกจากกัน สารเคมีอาจเป็นสารอินทรีย์ เช่น กรดกำมะถัน สารส้ม เป็นต้น หรือใช้สารอินทรีย์สังเคราะห์จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า จากนั้นจึงใช้ถังดักไขมัน (ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2538)

### เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ที่มีมากที่สุดในโลกและพบ โดยทั่วไปในธรรมชาติ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืชทุกชนิด โดยปริมาณเซลลูโลสในพืชต่างชนิดกันจะไม่เท่ากัน นอกเหนือจากเซลลูโลสเป็นลิกนินและสารประกอบอื่นๆ

เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอนร้อยละ 44.4 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.2 และออกซิเจนร้อยละ 49.4 ไม่เคยพบว่ามีเซลลูโลสบริสุทธิ์ในธรรมชาติมักจะมีปนด้วยสารประเภทลิกนิน (lignin) เพคติน (pectin) หรือขี้ผึ้ง (wax) เสมอ เซลลูโลสเป็นสารประกอบประเภทโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) ประกอบด้วยกลูโคส (glucose) เป็นหน่วยย่อย ประมาณ 10,000 หน่วยต่อกันเป็น

โมเลกุลโพลิเมอร์ โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสคือ poly( $\beta$ -1-4-D-anhydroglucopyranose) ประกอบด้วยหน่วยพื้นฐานซึ่งเรียกว่าแอนไฮโดร-ดี-กลูโคส (anhydro-d-glucose,  $C_6H_{10}O_5$ ) ซึ่งเกิดจากการกำจัดน้ำออกจากกลูโคสต่อกันเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวดังแสดงในภาพที่ 2.6 แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl, -OH) 3 หมู่ด้วยกัน ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลยาวต่อกันเป็นสายโซ่ทำให้ไม่ละลายน้ำเหมือนน้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย กล่าวคือหมู่ไฮดรอกซิลจะเป็นตัวดึงดูดน้ำทำให้มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี อีกทั้งเป็นจุดที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยากับกรดอะซิติก (acetic acid) ได้เป็นเซลลูโลสอะซิเตต (cellulose acetate) เนื่องจากเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเซลลูโลสมีนี้อ่อน ประกอบกับการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของหน่วยที่ซ้ำกันใน โมเลกุล เซลลูโลสจึงมีองศาความเป็นผลึกสูงคือมีค่าประมาณร้อยละ 60 ถึงร้อยละ 80 ลักษณะการเรียงตัวเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวทำให้มีความแข็งแรงสูงตามไปด้วย นอกจากนั้นแล้วในโครงสร้างบริเวณที่เป็นการต่อกันของธาตุนคาร์บอน-ออกซิเจน-คาร์บอน (-C-O-C-) จะเป็นบริเวณที่ถูกทำลายได้ด้วยผลจากการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) หรือจากการถูกทำลายด้วยสภาพภูมิอากาศ ทำให้โมเลกุลสายโซ่ยาวขาดลงกลายเป็นส่วนเล็กๆคล้ายน้ำตาลและกลายเป็นอาหารของพืชและสัตว์



ภาพที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส

ที่มา <http://www.psrc.usm.edu/macrog/images/cell.htm>

สายโซ่โมเลกุลยาวของเซลลูโลสสามารถทำการตรวจวิเคราะห์ได้ โดยดูค่าของน้ำหนักโมเลกุล ในกรณีของฝ้ายมีค่าตั้งแต่ 100,000 ไปจนถึงประมาณ 1-2 ล้าน ลิโนิน ป่าน ปอ อาจมีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 6 ล้าน เส้นใยเรยอนที่เป็นเส้นใยประดิษฐ์มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 20,000-230,000 หรือเยื่อกระดาษมีน้ำหนักโมเลกุลเพียง 4,000 เท่านั้น โดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลมักคำนวณในลักษณะของค่าเฉลี่ยจากหน่วยย่อยที่เป็นกลูโคส แล้วคูณด้วยจำนวนหน่วยย่อยที่ซ้ำกัน ทำให้เขียนสูตรทางเคมีทั่วไปของเซลลูโลสได้เป็น  $(C_6H_{10}O_5)_n$  โดย n คือ ค่าระดับขั้นของการเกิดโพลิเมอร์ ค่า n ยิ่งมากน้ำหนักโมเลกุลยิ่งสูง (วีรศักดิ์, 2543)

### สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

1. ความหนาแน่น เซลลูโลสมีความหนาแน่นประมาณ 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของเส้นใยเดี่ยวมีค่าไม่แน่นอนขึ้นกับแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี

2. การดูดซับความชื้น เซลลูโลสเป็นของแข็งไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆจนกระทั่งถึงสมดุล ซึ่งสมดุลของปริมาณความชื้นของเซลลูโลสจะเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบๆนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางประการ โดยขึ้นกับชนิดของเส้นใย เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้นค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยฝ้ายจะมีค่ามากขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยเรยอน (rayon) จะมีค่าลดลง

3. การละลายและความหนืด เซลลูโลสไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดแก่เข้มข้น เช่น กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 72 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 40 และกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 78 เซลลูโลสจะเกิดการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) อย่างรวดเร็วในสารละลายกรดแก่ที่อุณหภูมิห้องและปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำๆ

สารละลายเกลือบางชนิดที่เข้มข้นเช่นซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride) เข้มข้นร้อยละ 72 และสารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์ (alkali hydroxide) เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้เซลลูโลสบวมและเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆละลายได้

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลสและอนุพันธ์ โดยความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นของเซลลูโลสมากขึ้น

ถึงแม้เส้นใยเซลลูโลสมีอยู่มากมายหลายชนิดก็ตาม แต่เนื่องจากทุกชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีในหน่วยย่อยที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงทำให้สมบัติของเส้นใยกลุ่มนี้มีความคล้ายกันคือ

- ดูดซึมความชื้นได้ดี
- นำความร้อนได้ดี
- มีความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิสูง
- ความสามารถในการกินตัวจากแรงอัดต่ำ
- เส้นใยสามารถเกาะกันแน่นในขณะที่เป็นด้าย
- เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี
- ความหนาแน่นสูง
- ถูกทำลายได้ด้วยกรด จำพวกกรดแร่(mineral acid) แต่มีผลเล็กน้อยเนื่องจากกรด

อินทรีย์

- ทนต่อแมลง
- ถูกทำลายได้ด้วยรา
- จุดติดไฟ

โดยทั่วไปเมื่อนำเซลลูโลสไปทำปฏิกิริยากับสารเคมี จะเกิดปฏิกิริยาหลายอย่างตามชนิดของสารเคมีที่ใช้ แบ่งเป็น 3 ชนิดด้วยกัน

ปฏิกิริยาที่ทำให้เซลลูโลสบวมตัวและกระจายตัว โดยไม่ทำให้โซ่เซลลูโลสยาวขึ้นหรือเปลี่ยนโครงสร้างเคมีของหมู่เซลลูโลสในเส้นใย

- ปฏิกิริยาที่ทำให้ความยาวของโซ่เซลลูโลสเปลี่ยนแปลงเพราะการเสื่อมสภาพ
- ปฏิกิริยาที่ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลเปลี่ยนเป็นเอสเตอร์ (ester) หรือสารประกอบอื่นอย่างสมบูรณ์
- ปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิดไม่ได้เกิดอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวโดยสมบูรณ์ แต่จะเกิดร่วมกันเสมอ บางครั้งอาจเกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 3 ชนิด (อรรถราพร,2533)

เส้นใยเซลลูโลสทนต่างแต่ไม่ทนกรดเข้มข้น ถ้าสามารถควบคุมปฏิกิริยาของกรดและค่า pH ให้เกิดแต่พอสมควรสามารถใช้ตกแต่งเส้นใยได้ เส้นใยนี้ไหม้ได้ง่ายในอากาศโดยไม่มีกลิ่นเหม็น

เหลือเถ้านุ่มเล็กน้อย ถ้าเผาในหลอดทดลองจะมีหยดน้ำเกาะที่ข้างๆหลอด แสดงให้เห็นว่ามีไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ ส่วนคาร์บอนกลายเป็นเถ้า

เส้นใยเซลลูโลสในธรรมชาติ เช่น ฝ้าย ลินิน ทนต่อปฏิกิริยาเคมีได้มากกว่าเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ การทิ้งไว้ในอากาศเป็นเวลานานรวมทั้งสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) อาจทำให้เส้นใยเสื่อมสภาพได้

ในธรรมชาติจะพบเส้นใยเซลลูโลสจากส่วนต่างๆของพืชแตกต่างกันได้หลากหลาย บางประเภทเป็นเส้นใยที่ได้จากเมล็ด เช่น ฝ้าย นุ่น ปอ บางประเภทเป็นเส้นใยที่ได้จากลำต้น เช่น ลินิน ป่าน เส้นใยจากใบ เช่น ใบสับปะรด ป่านสรนารายณ์ หรือแม้กระทั่งเส้นใยจากผล เช่น โยมะพร้าว

#### การย่อยสลายเซลลูโลส

การย่อยสลายเซลลูโลสทำได้ 2 วิธี คือ วิธีทางเคมีและวิธีทางชีวเคมี

1. การย่อยสลายเซลลูโลสโดยวิธีทางเคมี เป็นการย่อยสลายเซลลูโลสโดยการใช้กรดหรือด่าง สำหรับการ ใช้กรดปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเกิดเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นแรกเป็นการย่อยสลายเซลลูโลสเป็นน้ำตาล และขั้นที่ 2 กรดย่อยสลายน้ำตาลให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์อื่นซึ่งได้จากการย่อยสลายน้ำตาล (sugar degradation products) เช่น กรดลิวูลินิก (levulinic acid) กับกรดฟอร์มิก (formic acid) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการรวมอยู่ด้วย กรดที่ใช้ได้แก่กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) ในการย่อยสลายเซลลูโลสด้วยกรดปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 15-20 นาที วิธีการย่อยสลายด้วยกรดมีข้อเสียคือเปลืองค่าใช้จ่ายและเครื่องมือต้องทนต่อการกัดกร่อนของกรดด้วย

ส่วนการใช้ด่างในการย่อยสลายเซลลูโลสมีผลทำให้ส่วนที่เป็น โครงร่างผลึก (crystalline) ในเซลลูโลสเกิดการบวมตัว (swelling) และอาจมีน้ำตาลบางส่วนหลุดออกมาจากสายโพลีแซคคาไรด์ เมื่อนำพืชที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยด่างไปย่อยสลายต่อโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส จะทำให้เอนไซม์เซลลูเลสเข้าไปย่อยสลายพืชนั้นๆ ได้มากขึ้น เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพด้วยด่างทำให้เกิดการบวมตัวของเซลลูโลสในส่วนที่เป็น โครงร่างผลึก ด่างที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแอมโมเนียม ( $NH_4OH$ )

2. การย่อยสลายเซลลูโลสโดยวิธีทางชีวเคมี เป็นการย่อยสลายเซลลูโลสโดยใช้ เอนไซม์เซลลูเลส (cellulase enzyme) วิธีนี้มีข้อดีคือปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้าๆและน้ำตาล ที่ได้จะไม่ถูกย่อยสลายต่อ เอนไซม์เซลลูเลสได้จากจุลินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะพวกเชื้อราที่ย่อย สลายไม้ นอกจากนี้มีในหอยทาก ปลาควา สัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งเป็นสัตว์ที่ในกระเพาะอาหารมีจุลินท รีย์ที่สร้างเอนไซม์เซลลูเลส

การย่อยสลายเซลลูโลส โดยวิธีทางชีวเคมีทำได้ 2 วิธี วิธีแรกการย่อยสลายเซลลูโลส โดยเอนไซม์เซลลูเลสที่สกัดจากจุลินทรีย์พวกที่สามารถสร้างเอนไซม์ตัวนี้ได้ ซึ่งส่วนมากจะมีขาย กันในทางการค้าและมักมีราคาแพง เช่น Meicelase และ CFP-233 วิธีที่สองเป็นการย่อยสลาย เซลลูโลส โดยการเลี้ยงจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสบนวัสดุที่ต้องการย่อยสลาย วิธี หลังจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าวิธีแรก

#### ขานอ้อย (Bagasse)

ขานอ้อยเป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมเกษตรมีปริมาณมากกว่า 20 ล้านตันต่อปี การใช้ ประโยชน์ของขานอ้อยในปัจจุบันใช้เป็นพลังงานในอุตสาหกรรมน้ำตาลในปริมาณมากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งการแปรรูปเป็นพลังงานนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าต่ำ การแปรรูปขานอ้อยเป็นเชื้อกระดาษ เชื้อ ละลายและเป็น โพลีแซคคาไรด์จะ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้น

การแปรรูปขานอ้อยเป็น โพลีแซคคาไรด์เป็นแนวความคิดใหม่ซึ่งแตกต่างจากการแปรรูป ขานอ้อยเป็นเชื้อกระดาษ มีวิธีการแปรรูปง่ายต่อการทำเชื้อละลายแต่ยังไม่มีการศึกษาในประเทศ ไทยและมีข้อมูลจากต่างประเทศน้อยมาก โพลีแซคคาไรด์จากขานอ้อยสามารถทำเป็นวัสดุคิบบใน อุตสาหกรรมเคมีได้หลายอย่าง เช่น ทำเป็นเจลดูดซึมน้ำ (absorption hydrogel) เป็นวัสดุทดแทน พลาสติก ทำใยสังเคราะห์ ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีมูลค่าตั้งแต่ 50 ถึง 400 บาทต่อกิโลกรัม





ภาพที่ 6 ต้นอ้อยและชานอ้อย

ที่มา: <http://www.nrel.gov/biomass/photos.html>

ชานอ้อยมีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นเนื้อเซลล์ร้อยละ 18 และส่วนที่เป็นผนังเซลล์ร้อยละ 82 โดยมีส่วนที่เป็นเซลลูโลสร้อยละ 40 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 29 ลิกนินร้อยละ 13 และซิลิกา ร้อยละ 2

ส่วนประกอบของเซลล์ของผลพลอยได้ที่ได้จากข้าวและอ้อย แสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ส่วนประกอบของเซลล์ของผลพลอยได้จากข้าวและอ้อย

ผลพลอยได้	เนื้อเซลล์	ผนังเซลล์	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	ซิลิกา
ฟางข้าว	21	79	33	26	7	13
เปลือกข้าว	14	86	39	14	11	22
ชานอ้อย	18	82	40	29	13	2
ใบอ้อยแห้ง	20	80	36	26	10	2
ต้นอ้อย	21	79	36	26	10	3
ยอดอ้อย	35	65	38	20	7	1.8

ที่มา: ประธาน (2536)

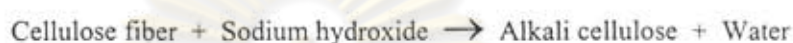
#### กระบวนการเตรียมของผสมหนืด (Viscose Process)

กระบวนการเตรียมของผสมหนืดเป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตเรยอน (rayon) โดยใช้เซลลูโลสเป็นวัตถุดิบซึ่งอาจใช้เชื้อไม้หรือเส้นใยฝ้าย เริ่มจากนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และคาร์บอนไดซัลไฟด์ เกิดเป็นเซลลูโลสแซนเทต จากนั้นละลายเซลลูโลสแซนเทตที่ได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางอีกครั้งจะได้ของผสมหนืด (viscose mixture) เส้นใยเรยอนสามารถเตรียมได้จากการผ่านของผสมหนืดเข้าไปในแม่พิมพ์แบบรูเปิด แล้วลงสู่สารละลายกรดเพื่อขึ้นรูป จะได้เส้นใยเรยอนตามแบบของแม่พิมพ์รูเปิดนั้นๆ แม้ว่าในปัจจุบันจะมีกระบวนการผลิตเรยอนด้วยวิธีอื่นๆ แต่กระบวนการเตรียมของผสมหนืดซึ่งค้นพบครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อชาร์ลส์ เฟรดเดอริก ครอส (Charles Frederick Cross) เมื่อปี 2435 ยังคงเป็นที่นิยม

กระบวนการเตรียมของผสมหนืดสามารถแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

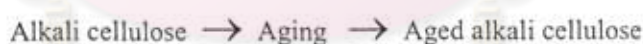
### ขั้นที่ 1

บดเซลลูโลส เป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถซึมผ่านได้ โซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) จะเข้าไปแทนที่ตรงตำแหน่งไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้โครงร่างผลึกเกิดการบวมตัว



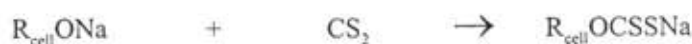
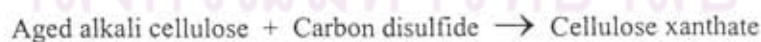
### ขั้นที่ 2

นำเซลลูโลสที่เกิดการบวมตัวมาบ่มเพื่อทำลายพันธะของโพลิเมอร์ (Depolymerize Anhydroglucose Chain) เนื่องจากมีโซเดียมไอออนแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลส ทำให้ออกซิเจนในบรรยากาศสามารถผ่านไปทดแทนที่ตำแหน่ง Beta-1,4-Glucosidic Oxygen Bonds ได้ ระยะเวลาในการบ่มมีผลต่อความหนืดของของผสมหนืด ถ้าระยะเวลาในการบ่มนานจะยิ่งเป็นการลดพันธะลง (Depolymerize) ทำให้ได้ของผสมหนืดที่มีความหนืดต่ำ แต่ถ้าระยะเวลาในการบ่มน้อยเกินไปจะได้ของเหลวหนืดที่มีความหนืดสูง



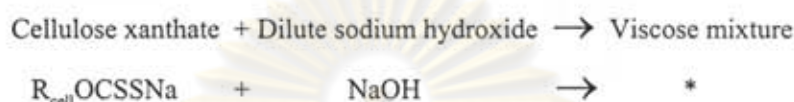
### ขั้นที่ 3

คาร์บอนไดซัลไฟด์จะไปแทนที่โซเดียมไอออนในขั้นที่ 1



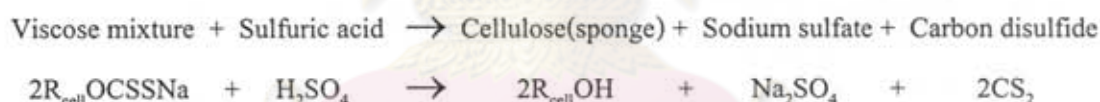
#### ขั้นที่ 4

เจือจางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 จะได้ของผสมหนืด(viscose mixture, \*) ซึ่งเป็นของผสมระหว่างเซลลูโลสแซนเทต เซลลูโลสที่ไม่ทำปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์ และน้ำ



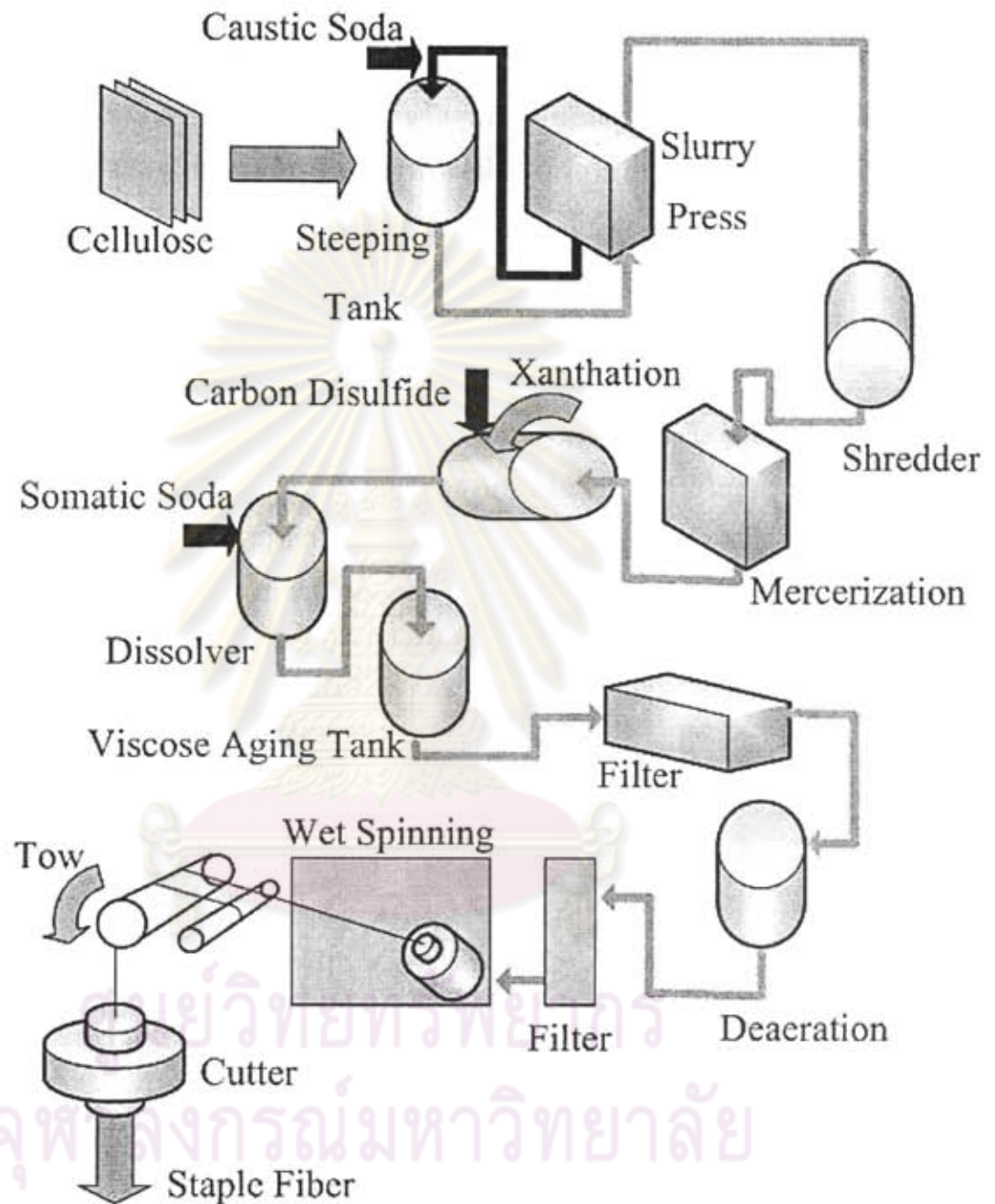
#### ขั้นที่ 5

สำหรับการทำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ สามารถทำได้โดยใช้ผลึกเกลือโซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ผสมกับของผสมหนืดที่ได้ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือเซลลูโลสแซนเทต แล้วขึ้นรูปด้วยกรดซัลฟิวริก ผลึกโซเดียมซัลเฟตจะถูกละลายด้วยกรดซัลฟิวริก ทำให้ส่วนที่หายไปของเกลือโซเดียมซัลเฟตกลายเป็นรูพรุน



(Edward and Charles,1997)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## Viscose Process

ภาพที่ 7 กระบวนการเตรียมของผสมชนิด

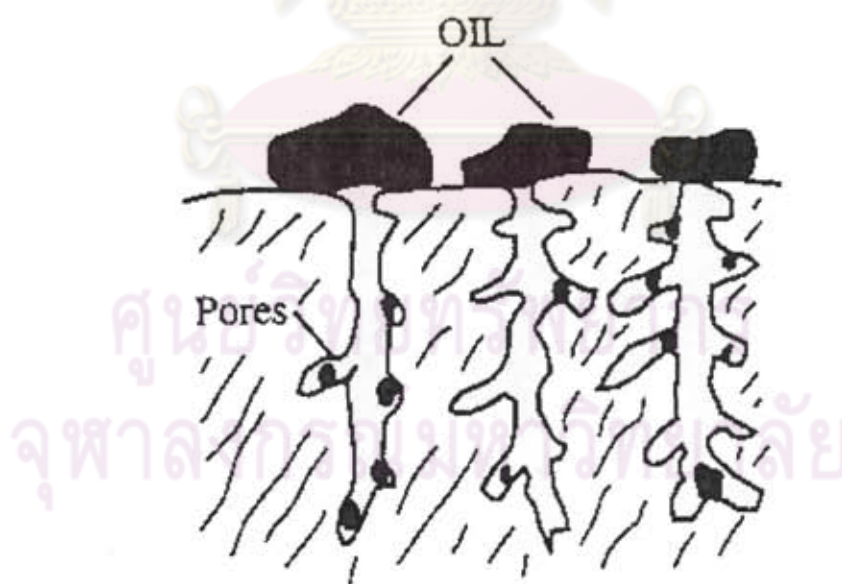
ที่มา : <http://www.fibersource.com/f-tutor/rayon.htm>

### การดูดซึม (Absorption)

การดูดซึมเป็นกระบวนการที่สารหรือวัสดุแทรกซึมลงไปในสารหรือวัสดุอีกชนิดหนึ่ง โดยกระจายไปทั่ววัสดุ ในความหมายของการกำจัดน้ำมันที่รั่วไหล หมายถึง น้ำมันถูกดึงเข้าไปกระจายตัวทั่ววัสดุดูดซึมที่มีรูพรุน

#### กลไกของการดูดซึม

กลไกการดูดซึมเริ่มจาก ของเหลวถูกดึงเข้าไปภายในรูพรุนของวัสดุดูดซึมด้วยความดันคาпилารี (capillary pressure) ในขณะที่เดียวกันก็ถูกต้านทานโดยอากาศภายในรูพรุน เมื่อความดันคาпилารีเท่ากับความดันของอากาศภายในรูพรุน ของเหลวจะไม่ถูกดึงเข้าไปอีก จากนั้นอากาศภายในรูพรุนจะละลายและแพร่ไปทั่วรูพรุน ทำให้ของเหลวสามารถแพร่เข้าไปแทนที่อากาศได้อีก จนกว่าอากาศจะละลายหมด (Iveson and Rutherford, 2001)



ภาพที่ 8 กระบวนการดูดซึม

ที่มา: <http://www.clearcreeksystems.com/media/cc100.htm>

## วัสดุดูดซึม

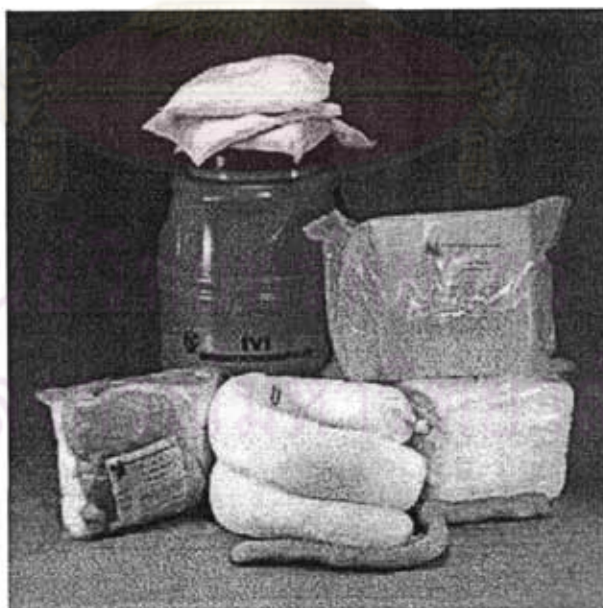
วัสดุซึ่งสามารถกักเก็บของเหลวไว้ภายในโครงสร้างได้ประมาณร้อยละ 50 หรือมากกว่า ทำให้เกิดการบวมตัว และสามารถเก็บรักษาของเหลวไว้ได้เรียกว่าวัสดุดูดซึม

วัสดุดูดซึม สามารถแบ่งตามรูปร่างได้ 3 ชนิด

1. วัสดุดูดซึมที่มีรูปร่างไม่แน่นอน คือ วัสดุดูดซึมที่ไม่สามารถขึ้นรูปให้มีรูปร่างแบบใดแบบหนึ่งได้ วัสดุดูดซึมชนิดนี้มักจะถูกผสมกับวัสดุชนิดอื่น เช่น โพลีเมอร์ เพื่อประยุกต์ใช้งานเฉพาะทาง

2. วัสดุดูดซึมที่มีรูปร่างแน่นอน เช่น มีลักษณะเป็นแผ่น หรือเป็นก้อน วัสดุดูดซึมประเภทนี้มีความแข็งแรงมากพอที่จะเก็บรักษาและอิมตัวด้วยของเหลวโดยไม่เกิดการฉีกขาดหรือเสียรูปร่าง

3. วัสดุดูดซึมชนิดที่มีรูปร่างเป็นท่อนยาว คือ มีความยาวโดดเด่นกว่าความกว้างและความสูง วัสดุดูดซึมประเภทนี้มักใช้งานร่วมกับประเภทที่มีรูปร่างแน่นอน โดยใช้เป็นตัวเชื่อม



ภาพที่ 9 ตัวอย่างวัสดุดูดซึมน้ำมัน

ที่มา : [http://www.iviindustries.com/spill\\_containment\\_products.htm](http://www.iviindustries.com/spill_containment_products.htm)

## ปัจจัยของวัสดุดูดซึมที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึม ได้แก่

**ความหนาแน่น** ความหนาแน่นมักถูกพิจารณาในรูปของความหนาแน่นแท้จริง (true density) และความหนาแน่นรวม (bulk density) โดยความหนาแน่นแท้จริง คือ ความหนาแน่นของวัสดุโดยไม่คำนึงถึงรูพรุนภายใน หรือกล่าวได้ว่า ความหนาแน่นแท้จริงเป็นค่าคงที่เฉพาะของวัสดุชนิดนั้นๆ ในทางตรงกันข้ามความหนาแน่นรวม คือ ความหนาแน่นของวัสดุที่พิจารณารูพรุนรวมด้วย ค่าความหนาแน่นรวมจะมีค่าไม่แน่นอน ขึ้นกับการจับตัวของวัสดุนั้นๆ โดยทั่วไปวัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นใยมักรายงานค่าความหนาแน่นในรูปของความหนาแน่นรวม

**ความเป็นรูพรุน** ปริมาตรช่องว่างหรือรูพรุนภายในวัสดุมีค่าไม่แน่นอน ขึ้นกับการจับตัวของวัสดุเช่นเดียวกับความหนาแน่นรวม โดยส่วนใหญ่ปริมาตรที่ดูดซึมได้จะน้อยกว่าปริมาตรของรูพรุนเสมอ วัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นใยมีค่าความเป็นรูพรุนประมาณร้อยละ 90-95 สำหรับวัสดุที่ขึ้นรูปเป็นเม็ด มีค่าความเป็นรูพรุนน้อยกว่าร้อยละ 40

**Selectivity** เป็นความสามารถในการเลือกดูดซึมสารชนิดใดชนิดหนึ่งมากกว่าสารอื่นๆ ความสามารถในการเลือกดูดซึมนี้ขึ้นกับ ขนาดของรูพรุนของวัสดุ wettability และความดันคาพิลลารี

**Retention** เป็นความสามารถในการเก็บรักษาของเหลวที่ถูกดูดซึมให้คงอยู่ใน โครงสร้างของวัสดุ ในการใช้งานทั่วไปวัสดุดูดซึมจะถูกเคลื่อนย้ายหรือขนส่งจากสถานที่ที่ทำการดูดซึมไปกำจัดที่อื่น ดังนั้นค่า retention จึงมีความสำคัญมาก วัสดุที่มีค่า retention สูงจะสามารถถ่ายเทของเหลวได้มาก (Brent, 1997)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sun et. al (2004 a) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการเติมหมู่อะซิติก (acetyl) ลงในชานอ้อยโดยใช้ N-bromosuccinimide (NBS) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตวัสดุดูดซึมน้ำมัน เริ่มจากนำชานอ้อยมาทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ (acetic anhydride) โดยใช้ NBS เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้สภาวะที่ไม่มีรุนแรงและไม่มีตัวทำละลายในระบบ ในการทดลองปริมาณของหมู่อะซิติกที่เติมเข้าไป



วัดในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก (weight percent) โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.1-24.7 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 25-130 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา ตั้งแต่ 30 นาทีถึง 60 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า NBS เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาการเติมหมู่อะซิลิล (acytylation) ที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของชานอ้อย ในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ในอะซิติกแอนไฮไดรด์ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่ามีการเติมหมู่อะซิลิลเท่ากับร้อยละ 24.7 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับการทดลองภายใต้สภาวะเดียวกันแต่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าการเติมหมู่อะซิลิลเพียงร้อยละ 5.1 โดยน้ำหนัก จากการตรวจสอบด้วย FT-IR CP-MAS และ  $^{13}\text{C}$ -NMR พบว่าเกิดปฏิกิริยาการเติมหมู่อะซิลิลจริง ค่าความเสถียรทางความร้อน (thermal stability) ของวัสดุดูดซับน้ำมันที่ผลิตได้มีค่าลดลงตามปริมาณสารเคมีที่ใช้ แต่จะไม่ลดลงเมื่อมีการเติมหมู่อะซิลิลมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 24.7 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้การเติมหมู่อะซิลิลยังมีผลต่อสมบัติความชอบน้ำมัน (hydrophobic properties) ของชานอ้อยด้วย จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของชานอ้อยที่มีการเติมหมู่อะซิลิลซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าสามารถดูดซับได้มากกว่าเส้นใยพอลิพรอพิลีนซึ่งใช้เป็นตัวดูดซับน้ำมันในทางการค้าสูงถึง 19 เท่า ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวัสดุดูดซับน้ำมันที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำมาทดแทนวัสดุที่ใช้กำจัดน้ำมันซึ่งไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้

Sun et. al (2004) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทอร์เชียรีเอมีน (tertiary amine) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเติมหมู่อะซิลิล (acytylation) ในฟางข้าวสาลีเพื่อผลิตวัสดุดูดซับน้ำมัน โดยเริ่มจากนำฟางข้าวสาลีแห้งมาทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ (acetic anhydride) ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40-360 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นเทอร์เชียรีเอมีน 4 ชนิด ได้แก่ Pyridine 4-Dimethylaminopyridine N-methylpyrrolidine และ N-methylpyrrolidinone และทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้ปฏิกิริยาทั้งหมดเกิดในระบบที่ไม่มีตัวทำละลาย หมู่อะซิลิลที่เติมลงในฟางข้าวสาลีวัดในหน่วยร้อยละ โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่า 4-Dimethylaminopyridine เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุด จากการตรวจสอบด้วย FT-IR CP-MAS และ  $^{13}\text{C}$ -NMR และค่าทางความร้อน พบว่าเกิดปฏิกิริยาการเติมหมู่อะซิลิลจริง ค่าความเสถียรทางความร้อนของฟางข้าวสาลีที่มีการเติมหมู่อะซิลิลมีค่ามากกว่าฟางข้าวสาลีธรรมดา นอกจากนี้พบว่าหมู่อะซิลิลไปเพิ่มสมบัติความชอบน้ำมันของฟางข้าวสาลีด้วย ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของฟางข้าวสาลีที่เติมหมู่อะซิลิลมีค่ามากกว่าเส้นใยพอลิพรอพิลีนที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมันประมาณ 1.2-2.9 เท่า ฟางข้าวสาลีที่ผ่านการเติมหมู่อะซิลิลจึงสามารถใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมันแทนวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้

Masaki Saito (2003) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการดูดซับน้ำมันของเปลือกคันทันสุกิ (Sugi Bark) เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวัสดุดูดซับน้ำมันของวัสดุอินทรีย์ที่เหลือใช้เพื่อใช้กำจัดน้ำมันที่รั่วไหล โดยพยายามไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีต้นทุนต่ำ จากการทดลองศึกษาเปลือกของคันทันสุกิ พบว่าเส้นใยในเปลือกมีศักยภาพในการดูดซับน้ำมันเพราะมีสมบัติความชอบน้ำมัน (hydrophobic and oleophilic properties) วัสดุดูดซับจากเปลือกของคันทันสุกิ (Sugi Bark Sorbent, SBS) สามารถดูดซับน้ำมันได้ใกล้เคียงกับพอลิพรอพิลีน โดยสามารถดูดซับน้ำมันได้ 13.4 เท่าของน้ำหนัก นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะของรูปร่างวัสดุดูดซับพบว่าวัสดุดูดซับที่มีรูปร่างเป็นแผ่นให้ค่าการดูดซับที่ดีที่สุดและยังสะดวกในการใช้งานอีกด้วย

Wei et. al (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำกลับน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลโดยใช้วัสดุดูดซับน้ำมันที่เป็นพอลิพรอพิลีนชนิดไม่ถักทอ (nonwoven polypropylene oil sorbent) การนำกลับน้ำมันเชิงกลโดยวัสดุดูดซับน้ำมันถือเป็นการแสดงความรับผิดชอบที่สำคัญต่อภาวะน้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเล พอลิพรอพิลีนถูกนำมาใช้ในกรณีนี้เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ ดูดซับน้ำได้น้อยและทนต่อสารเคมี รูปร่างและโครงสร้างที่แตกต่างกันของพอลิพรอพิลีนชนิดไม่ถักทอได้ถูกศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันและค่าคงตัวของน้ำมัน (oil retention properties) ในงานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของพอลิพรอพิลีนชนิดไม่ถักทอ ได้แก่เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ความพรุน และสมบัติของน้ำมันที่ถูกดูดซับ

การทดลองเริ่มจากตัดพอลิพรอพิลีนเป็นชิ้นขนาด 13x13 (หน่วยเซนติเมตร) นำมาชั่งน้ำหนักและใส่ลงในภาชนะที่บรรจุน้ำทะเลสูง 80 มิลลิเมตรซึ่งปกคลุมผิวหน้าด้วยน้ำมันที่ดองการทดสอบ โดยมีความสูง 5 มิลลิเมตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำชิ้นมาชั่งน้ำหนักและบันทึกที่เวลา 0 10 30 60 120 300 600 และ 1800 วินาทีหลังจากนำขึ้นจากภาชนะตามลำดับ น้ำมันที่ใช้ในการทดลองได้แก่น้ำมันจากทะเลเหนือ (North Sea) โดยแบ่งเป็น Crude oil, 25% Weathered oil และ 50 % Weathered oil รวมทั้งสิ้น 3 ชนิดโดยมีค่าความหนืดเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันและค่าการคงตัวของน้ำมันขึ้นกับความแตกต่างของวัสดุที่ใช้ในการดูดซับ วัสดุดูดซับที่มีความพรุนสูงมีแนวโน้มที่จะดูดซับ Crude oil และ 25% Weathered oil ได้มาก และสำหรับน้ำมัน 2 ชนิดนี้ยังความหนาแน่นของน้ำมันมีค่ามากจะยังสามารถถูกดูดซับด้วยวัสดุดูดซับได้ดี สำหรับ 50 % Weathered oil พบว่าวัสดุดูดซับที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเล็ก มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่มีความหนืดสูงไม่ค่อยดีนัก

ในกรณีของค่าคงตัวของน้ำมันมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ในวัสดุดูดซึมทุกรูปร่างและโครงสร้าง นั่นคือมีแนวโน้มลดลงในช่วง 300 วินาทีแรก จากนั้นจะคงที่จนถึงเวลา 1800 วินาทีที่ทำการทดลอง การพิจารณาค่าการคงตัวของน้ำมันในวัสดุดูดซึมสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่เริ่มมีการปลดปล่อยน้ำมันออกจากวัสดุดูดซึม ช่วงนี้จะเกิดประมาณนาที่ที่ 1 หลังจากนำขึ้นจากสถานะ อัตราการปลดปล่อยน้ำมันในช่วงนี้มีค่าสูง ช่วงที่ 2 คือช่วงการเปลี่ยนแปลง เกิดที่เวลานาที่ที่ 1 ถึง นาที่ที่ 5 อัตราการปลดปล่อยน้ำมันในช่วงนี้จะป็นไปอย่างช้าๆเมื่อเทียบกับช่วงที่ 1 และมีอัตราเร็วที่ต่ำกว่า ช่วงสุดท้ายคือช่วงที่เสถียร วัสดุดูดซึมมีค่าการคงตัวของน้ำมันที่ค่อนข้างคงที่ เมื่อเวลาผ่านไปน้ำมันที่ถูกปลดปล่อยออกมามีปริมาณน้อยมาก และพบด้วยว่าน้ำมันเบา (light oil) มีแนวโน้มที่ถูกปลดปล่อยออกจากวัสดุดูดซึมด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าน้ำมันหนัก (heavy oil) นอกจากนี้โครงสร้างของวัสดุดูดซึมก็มีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการคงตัวของน้ำมัน วัสดุดูดซึมที่มีความพรุนสูงจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันสูงแต่ค่าการคงตัวของน้ำมันต่ำ และหากโครงสร้างของวัสดุดูดซึมเป็นเส้นใยขนาดเล็ก อัตราการปลดปล่อยน้ำมันจะลดลง

Teas et. al (2001) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำมันของวัสดุดูดซึม 5 ชนิด ซึ่งใช้เป็นวัสดุในการกำจัดคราบน้ำมันที่รั่วไหล วัสดุดูดซึมที่ได้ศึกษา ได้แก่ วัสดุเส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในทางการค้าโดยผลิตจากเส้นใยไม้ เส้นใยสังเคราะห์พอลิพรอพิลีน และเพอร์ไลต์ 3 ชนิดจาก เกาะไมลอส (milos) ความสามารถในการดูดซึมน้ำมันของวัสดุดังกล่าวได้ถูกศึกษาทั้งในสภาวะที่มีน้ำอยู่ในระบบและไม่มีน้ำอยู่ในระบบ โดยดูดซึมผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่แตกต่างกันซึ่งเป็นน้ำมันที่มักเกิดการรั่วไหลลงสู่ทะเล ได้แก่ Light cycle oil (LCO), Light gas oil (LGO) และ Iranian heavy crude oil (CRU)

การทดลองเริ่มจากนำน้ำทะเล 500 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 800 มิลลิลิตร เติมน้ำมันที่ต้องการทดสอบลงไปในแต่ละบีกเกอร์ให้มีปริมาณ 10 20 30 40 และ 50 กรัมตามลำดับ จากนั้นนำเข้าเครื่องเขย่าเพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างน้ำกับน้ำมัน นำวัสดุดูดซึมจำนวน 1 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์แล้วนำเข้าเครื่องเขย่าโดยใช้ความเร็วรอบ 98 รอบต่อนาที เมื่อครบ 10 นาทีนำวัสดุดูดซึมขึ้นมาพักไว้บนตะแกรงลวด 1 นาทีแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก หาปริมาณน้ำในวัสดุดูดซึมโดยการกลั่นตามวิธีการของ ASTM D95 ปริมาณของน้ำมันที่ถูกดูดซึมคำนวณได้จากลบปริมาณน้ำในวัสดุดูดซึมและน้ำหนักวัสดุดูดซึมขณะแห้งออกจากร่างน้ำหนักที่ชั่งได้หลังจากดูดซึมแล้ว

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองในสภาวะที่ไม่มีน้ำอยู่ในระบบ มีเพียงแต่น้ำมันเท่านั้น โดยทำการทดลองตามวิธีการข้างต้นแต่ใช้น้ำมัน 100 มิลลิลิตร แทนของผสมระหว่างน้ำกับน้ำมัน กำหนดหาปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซึมได้โดยนำน้ำหนักวัสดุหลังจากดูดซึมลดด้วยน้ำหนักวัสดุดูดซึมขณะแห้ง

ผลการทดลองพบว่าในสภาวะที่มีน้ำอยู่ในระบบ พอลิพรอพิลีนและเส้นใยธรรมชาติมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันได้ดี เส้นใยธรรมชาติสามารถดูดซึมน้ำมันดิบ (heavy crude oil) ได้ดีที่สุด โดยสามารถดูดซึมได้ทั้งหมด อาจเป็นเพราะเส้นใยธรรมชาติมีขี้ผึ้งซึ่งมีสมบัติชอบน้ำมัน และอาจเกิดแรงวานเดอร์วาลส์ (Van Der Waals) ระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับน้ำมัน แมว่น้ำมันดิบจะมีความหนืดสูงซึ่งส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำมันเข้าไปในรูพรุนของวัสดุดูดซึมต่ำ แต่น้ำมันดิบสามารถยึดเกาะกับผิวของวัสดุภายในรูพรุนได้ดี โดยไม่มีการย้อนกลับออกมา

สำหรับในสภาวะที่ไม่มีน้ำอยู่ในระบบพอลิพรอพิลีนมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันได้ดีที่สุด ในขณะที่วัสดุดูดซึมที่เหลือทุกชนิดสามารถดูดซึมน้ำมันได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

Rawski et. al (1997) ได้ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับผลิตเส้นใยธรรมชาติจากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าและกระดาษที่ใช้แล้วเพื่อผลิตเป็นฉนวนจากเส้นใยธรรมชาติ ที่นอนสัตว์ ฝ้าย เพดาน รวมทั้งนำกลับมาใช้เป็นกระดาษหนังสือพิมพ์อีกครั้ง โดยนำกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าและกระดาษที่ใช้แล้วซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 7 ของปริมาณขยะแห้งในสหรัฐอเมริกาทำให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1 นิ้ว X 1 นิ้ว แล้วนำไปผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 บ่มทิ้งไว้ นำของผสมที่ได้มากำจัดน้ำออกโดยใช้ชุดกรวยบุชเนอร์ (Buchner) กับด้วยสุญญากาศรูปชมพู่ (vacuum flask) จากนั้นบดให้เป็นเศษเล็กๆแล้วนำมาใส่ในบีกเกอร์ปิดด้วยพาราฟิล์ม บ่มทิ้งไว้สักครู่แล้วเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ ( $CS_2$ ) ลงไปจะได้เซลลูโลสแซนเทต (cellulose xanthate) ปิดด้วยพาราฟิล์มและบ่มทิ้งไว้ หลังจากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 จะได้ของผสมหนืด (viscose mixture) นำของผสมหนืดมากระจายบนแผ่นกระจกไมโครสโคป (microscope slide) แล้วจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 เพื่อเกิดเป็นฟิล์มเซลโลเฟน (cellophane film) หรือนำของผสมหนืดมาผสมกับเกลือโซเดียมซัลเฟต ( $Na_2SO_4$ ) ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปจุ่มในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 เพื่อเกิดเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ (cellulose sponge)

จากผลการทดลองพบว่าสามารถเตรียมฟิล์มเซลโลเฟน (cellophane film) และฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ (cellulose sponge) ได้จากกระดาษเหล่านี้ และพบว่ากระดาษหนังสือพิมพ์เก่าสามารถใช้เป็นทรัพยากรในการผลิตผลิตภัณฑ์จากเส้นใยธรรมชาติได้โดยผ่านกระบวนการเตรียมของผสมหนืด (viscose process) ซึ่งเป็นกระบวนการเก่าแก่ที่ใช้เปลี่ยนเส้นใยธรรมชาติให้อยู่ในรูปที่สามารถขึ้นรูปได้หรือในรูปเจลเพื่อให้ได้เส้นใยธรรมชาติที่มีรูปร่างตามต้องการ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเตรียมของผสมหนืดในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยฟิล์มเซลโลเฟน (cellophane film) และฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ (cellulose sponge) โดยความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษแต่ละชนิดที่นำมาใช้

Sanderson et. al (1997) ได้ทำการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติซึ่งเกิดพันธะเชื่อมโยง โดยเตรียมอัลคาไลเซลลูโลส (alkali cellulose) จากเส้นใยธรรมชาติ 137.5 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 77.5 กรัม และน้ำ 285 กรัม โดยของสากการเกิดโพลิเมอร์ถูกลดลงเหลือประมาณ 200 เนื่องจากการเสียดสีจากการออกซิเดชันของอัลคาไล ถ้าอัลคาไลเซลลูโลสลงในเครื่องผสมแกน Z และทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ไฟด์ 90 กรัม ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 19 จำนวน 250 กรัม และน้ำเย็น 1,275 กรัม เพื่อทำให้เป็นของผสมหนืด แล้วนำของผสมหนืดที่ได้จำนวน 1,500 กรัม ผสมกับผ้าฝ้าย 32 กรัม และผลึกโซเดียมซัลเฟตเดคาไฮเดรต (sodium sulphate decahydrate) ซึ่งมีขนาดอนุภาคในช่วง 1,000-3,000 ไมครอน จำนวน 5,000 กรัม จะได้แป้งเปียก แล้วนำแป้งเปียกเข้าแม่พิมพ์ (mold) และกำจัดเอาโซเดียมซัลเฟตออกที่ 95 องศาเซลเซียส (วิธีที่ 1)

หรือนำของผสมหนืด 1,500 กรัม ผสมกับผ้าฝ้าย 32 กรัม และผลึกโซเดียมซัลเฟตเดคาไฮเดรต (sodium sulfate decahydrate) ซึ่งมีขนาดอนุภาคในช่วง 200-400 ไมครอนจำนวน 3,900 กรัม และผงแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 ไมครอนจำนวน 1,000 กรัม จะได้แป้งเปียก แล้วนำแป้งเปียกเข้าแบบ จากนั้นกำจัดเอาโซเดียมซัลเฟตออกที่ 95 องศาเซลเซียส (วิธีที่ 2)

หรือนำของผสมหนืด 1,500 กรัม ผสมกับเอพิคลอโรไฮดริน (epichlorohydrin) 15 มิลลิลิตร ผ้าฝ้าย 80 กรัม และผลึกโซเดียมซัลเฟตเดคาไฮเดรต (sodium sulphate decahydrate) ซึ่งมีขนาดอนุภาคในช่วง 1,000-3,000 ไมครอนจำนวน 5,000 กรัม และผงแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 ไมครอนจำนวน 1,000 กรัม จะได้แป้งเปียก แล้วนำแป้งเปียกเข้าแม่พิมพ์ จากนั้น

ถ้าจัดเอาโซเดียมซัลเฟตออกที่ 95 องศาเซลเซียส จะได้วัสดุที่มีปริมาตรรูพรุนร้อยละ 91 และมีค่ารีเทนชัน 3.2 โดยในวิธีนี้จะเกิดพันธะเชื่อมโยงอย่างทันทีเมื่อเกิดเป็นฟองน้ำ (วิธีที่ 3)

นำฟองน้ำที่ได้ตามวิธีที่ 1 จำนวน 50 กรัม ทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5-5.0 โมลาร์และไดคลอโรไฮดริน (dichlorohydrin) เข้มข้นร้อยละ 1-5 โดยปริมาตรต่อปริมาตรเป็นเวลานานกว่า 1 ชั่วโมง แล้วบ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนานกว่า 1 ชั่วโมง จะได้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติซึ่งเกิดพันธะเชื่อมโยง และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกกับไอออนลบ มีค่ารีเทนชัน 3.4 และเมื่อหาปริมาตรรูพรุนด้วยการวัดการไหลของอะซิโตนพบว่า มีปริมาตรรูพรุนร้อยละ 92 เมื่อทำการตรวจสอบโดยใช้ SEM (Scanning Electron Microscope) พบว่าความหนาของผนังปฐมภูมิมีค่าประมาณ 20 ไมครอน ในทำนองเดียวกันสามารถทำการทดลองที่ค่ารีเทนชันในช่วง 2-6 และมีปริมาตรรูพรุนในช่วงร้อยละ 70-98 และนำมาตัดเพื่อให้ได้พื้นที่ตัดขวางที่สะอาด นำมาทำให้แห้งโดยใช้ความเย็นเพื่อกำจัดน้ำออก และพบว่าความหนาของผนังปฐมภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 2-300 ไมครอน โดยความแตกต่างความหนาผนังปฐมภูมิเป็นผลเนื่องมาจากองค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติในของผสมหนืด จำนวนเส้นใย และปริมาณสารที่ทำให้เกิดฟองในแป้งเปียก (วิธีที่ 4)

นำฟองน้ำที่ได้ตามวิธีที่ 1 จำนวน 50 กรัม ผ่านการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงตามวิธีที่ 4 จะได้วัสดุที่มีค่ารีเทนชัน 3.3 ปริมาตรรูพรุนร้อยละ 94 และผนังปฐมภูมิมีความหนา 7 ไมครอน

Morita et. al (1992) ได้ศึกษาและทดลองผลิตฟองน้ำคอลลาเจนแห้ง (dried collagen sponge) ซึ่งมักจะนำไปผลิตเป็นผิวหนังเทียม โดยนำ atherocollagen 50 กรัม ซึ่งได้จากเอ็นหมู (ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีค่า pH เท่ากับ 3.0) มาทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยการทำให้เย็นโดยใช้น้ำแข็งคนด้วยความเร็ว 1,800-2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำมาใส่ในแม่พิมพ์อลูมิเนียม (aluminum mold) ซึ่งมีช่องทางวง (cavity) เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 10 ซม. X 7.6 ซม. X 1.5 ซม. จากนั้นลดอุณหภูมิตลงอย่างรวดเร็วจนถึง -40 องศาเซลเซียส แล้วทำให้แม่พิมพ์แห้งที่ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในสุญญากาศที่ความดัน 0.1 มิลลิเมตรปรอท จะได้ฟองน้ำ แล้วนำฟองน้ำมาทำให้แห้งภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะเกิดพันธะการเชื่อมโยงภายในโมเลกุล (intramolecular crosslinking) แล้วนำไปจุ่มลงในสารที่ก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (crosslinking agent) ซึ่งใช้สารละลายกลูตารัลดีไฮด์เข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักในกรดอะซิติก 0.05 โมลาร์ (0.2% glutaraldehyde ใน 0.05 M acetic acid) ที่ 4 องศา

เซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างเอาเกลือคาร์บอกไซด์ออกให้หมดด้วยน้ำกลั่นจะได้ฟองน้ำที่มีสีเหลืองอ่อนและมีขนาดรูพรุนประมาณ 50-120 ไมโครเมตร นำฟองน้ำที่ได้จุ่มลงในสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก (15%wt aqueous solution ethanol) ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียสหรือ -135 องศาเซลเซียส แล้วนำมาทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสภายใต้สุญญากาศที่ความดัน 0.1 มิลลิเมตรปรอทเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง vacuum lyophilization จะได้ฟองน้ำสีเหลืองอ่อน ขนาดรูพรุนประมาณ 50-120 ไมโครเมตร

Jones et. al (1971) ได้ทำการศึกษาทดลองเกี่ยวกับเส้นใยธรรมชาติซึ่งมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยนำเส้นใยธรรมชาติเดิมลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 ทิ้งไว้จนชุ่มแล้วกำจัดน้ำออก จากนั้นกดอัดที่อัตราการกดอัด 3.3 จะได้อัลคาไลเซลลูโลส (alkali cellulose) ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยธรรมชาติร้อยละ 27.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15.5 และน้ำร้อยละ 57 จากนั้นบดให้เป็นเศษเล็กๆด้วยเครื่องบดแขนแกน Z ผสมเศษอัลคาไลเซลลูโลส 363.5 กรัม ที่ 5 องศาเซลเซียสและ N,N-diethyl 2- chloroethylamine hydrochloride 58.3 กรัม ในเครื่องผสมแกน Z เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิถึง 50 องศาเซลเซียสผสมต่ออีกเป็นเวลา 60 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงมาที่ 30 องศาเซลเซียส เดิมคาร์บอนไดออกไซด์ 65 กรัมลงในของผสมจะเกิดปฏิกิริยาแซนเทชัน (xanthation) อีก 60 นาทีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะได้ diethylaminoethyl (DADE) cellulose xanthate ที่มี  $\gamma$  หมายเลข 89 ผสมเซลลูโลสแซนเทด 651.4 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18.8 โดยน้ำหนักต่อปริมาณจำนวน 158.5 กรัม และน้ำ 802 กรัม จะได้ของผสมเหนียวแล้วเติมฟ้าย 51.5 กรัมเพื่อเป็นสารเสริมแรง และเกลือไกลเบอร์ (Glauber's salt,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) จำนวน 5,500 กรัมเพื่อเป็นสารทำให้เกิดฟองลงในสารละลายจะได้ของลักษณะแข็งเป็ยก จากนั้นนำมารีด (extrude) ในแบบทรงกระบอกขนาดเล็กแล้วเติมเกลือไกลเบอร์เข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนักต่อปริมาณ ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียสจะได้ฟองน้ำที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน 0.95 meq/กรัม สำหรับไอออนขนาดเล็ก

นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมได้อีกวิธีหนึ่ง โดยนำเส้นใยธรรมชาติผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดคลอโรอะซิติก (chloroacetic acid) เพื่อเป็นสารกระตุ้น จะได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose) จากนั้นเติมคาร์บอกซีเมทิล (carboxymethyl) 100 กรัมลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17 โดยน้ำหนักต่อปริมาณ แล้วเติมคาร์บอนไดออกไซด์ 15 มิลลิลิตร กลิ้งไปมาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง

Jones et. al (1961) ได้ทำการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการปรับปรุงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับ ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ โดยนำสารละลายอัลคาไลเซลลูโลส (alkali cellulose) 65 ส่วน ซึ่ง ประกอบด้วยเส้นใยธรรมชาติร้อยละ 26 และโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ผสมกับคาร์บอนไดออกไซด์ 120 ส่วนจะได้เซลลูโลสแซนเทต จากนั้นนำมาผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 12 กรัมต่อลิตร 12 ส่วน และปอหรือป่าน 8.5 ส่วนจะได้ของผสมหนืด นำของผสมหนืดผสมกับเกลือไกลเบอร์ 1,000 ส่วน โดยน้ำหนักจะได้แป้งเปียกแล้วนำเข้าแม่พิมพ์ (mold) ที่มีรูปร่างตามต้องการและทำให้แข็งเป็นก้อนในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ซึ่งประกอบด้วยเดคาไฮเดรต (deca hydrate) 200-700 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส โซเดียมซัลเฟตจะละลายและเกิดเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ จากนั้นล้างเอาเกลือออกด้วยน้ำกลั่นแล้วทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายยูเรียเข้มข้นร้อยละ 50 และออร์โทฟอสฟอริกแอซิด (orthophosphoric acid) เข้มข้นร้อยละ 18 แล้วบีบเอาสารละลายออกให้เหลืออยู่เพียง 3 เท่าของน้ำหนักเส้นใยธรรมชาติขณะแห้ง นำไปบ่มด้วยความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วล้างเอาสารละลายที่ใช้ทำปฏิกิริยาออกก่อนที่อุณหภูมิลดลงเหลือ 80 องศาเซลเซียส จะได้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน 2.60 meq/กรัม และมีความแข็งแรงพอที่จะจับได้ โดยความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนทั้งหมด 5.20 meq/กรัม

B. Loonberg et. al (1995) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของของผสมหนืดซึ่งเตรียมจากเส้นใยธรรมชาติ เนื่องจากสมบัติบางอย่างของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติสามารถวัดได้จากความหนืดของของผสมหนืด ในการเตรียมฟองน้ำความหนืดของของผสมหนืดจะเป็นตัวกำหนดการไหลของตัวมันเองไปรอบๆ โครงร่างผลึกและเส้นใยที่ผสมกับตัวมันเพื่อเกิดเป็นรูพรุน และเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของรีเจนเนอเรตเซลลูโลส (regenerated cellulose) ของผสมหนืดที่มีค่าความหนืดสูงจะทำให้การไหลไปรอบๆ โครงร่างผลึกไม่มีประสิทธิภาพ และจะทำให้เกิดรูพรุนเปิดมากเกินไปส่งผลให้มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นต่ำ ในทางกลับกันของผสมหนืดที่มีค่าความหนืดต่ำจะมีการไหลอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผนังของฟองน้ำมีโครงสร้างภายในที่ต่อเนื่อง และมีโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานต่อไป

การทดลองเริ่มจากการทดสอบความหนืดของของผสมหนืดซึ่งเตรียมได้จากกระบวนการเตรียมของผสมหนืด โดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์ (Rheometer) รุ่น Bohlin VOR+C14 measuring lid ท่อยาว 27.9 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางท่อยาว 15.4 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่มี



ผลต่อความหนืดได้แก่ การบ่มโดยธาตุอัลคาไล (Alkali) ความเข้มข้นของคาร์บอนไดซัลไฟด์ ระยะเวลาการบ่มในขั้นตอน xanthogenate และอุณหภูมิ

การบ่มโดย Alkali (ในขั้นตอนของ viscose process) มีผลต่อองค์ประกอบความเป็นโพลิเมอร์โดยการบ่มจะทำให้องค์ประกอบความเป็นโพลิเมอร์มีค่าลดลง และองค์ประกอบความเป็นโพลิเมอร์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความหนืดของของผสมหนืด นั่นคือหากองค์ประกอบความเป็นโพลิเมอร์มีค่าต่ำ ความหนืดของของผสมหนืดก็จะมีค่าต่ำ หรือหากองค์ประกอบความเป็นโพลิเมอร์มีค่าสูง ความหนืดของของผสมหนืดก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย ในกรณีหลังเป็นเพราะมีอนุภาคขนาดใหญ่อยู่ในของผสมหนืด

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดซัลไฟด์ไม่มีผลต่อความหนืดมากนัก เนื่องจากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคาร์บอนไดซัลไฟด์ ค่าความหนืดที่วัดได้ไม่มีค่าแตกต่างกันมากนัก

การบ่มในขั้นตอน xanthogenate มีผลต่อความหนืดอย่างมีนัยสำคัญนั่นคือ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่มค่าความหนืดจะลดลงในช่วงแรก(ประมาณชั่วโมงที่20) จากนั้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับค่าความหนืดเริ่มต้น(ชั่วโมงที่0) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการ desubstitution และ resubstitution ของ xanthate group

ปัจจัยสุดท้ายที่ได้ศึกษาได้แก่อุณหภูมิ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่าความหนืดของของผสมหนืดจะลดลง

อัจฉราพร (2533) กล่าวถึงกระบวนการผลิตวิสคอสเรยอน (viscose rayon) ไว้ดังนี้ วิสกอสเรยอนเป็นรีเจนเนอเรตเซลลูโลส (regenerate cellulose) ใช้เนื้อไม้(spruce) เป็นวัตถุดิบ ตัดไม้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด  $2.2 \times 1.25 \times 0.65$  (หน่วยเซนติเมตร) แช่ในสารละลายแคลเซียมไดซัลไฟด์ แล้วนำไปอบไอน้ำมีความดันนาน 24 ชั่วโมง วิธีนี้ไม่ทำให้เซลลูโลสเสื่อมสภาพแต่ทำให้วัสดุเจือปนอื่นสลายตัวละลายออกเหลือเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ เดิมน้ำให้เชื้อไม้ลอย ดูดผ่านช่องแคบๆกว้างประมาณ 0.2 มิลลิเมตร ฟอกขาวด้วยไฮโปคลอไรท์ อัดออกมาเป็นแผ่นเหมือนกระดาษเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 90-94 เก็บไว้ในห้องซึ่งควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อหาน้ำหนักที่แท้จริง เชื้อไม้ในสารละลายโซดาไฟเข้มข้นร้อยละ 17.5 นาน 1-4 ชั่วโมง ทำให้เชื้อไม้พองตัวและส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลสละลายน้ำ สารละลายโซดาไฟเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเชื้อไม้จะละลายไปประมาณร้อยละ 8.2 ส่วนเซลลูโลสไม่ละลายแต่บวมตัว บีบอัดเอาน้ำยาโซดาไฟออกแล้ว

ส่งผ่านไปยังเครื่องปั่น เป็นถังกลมใหญ่ มีใบมีด 2 ใบ หมุนตัดเยื่อไม้ให้ขาดออกเป็นชิ้นเล็ก นาน 2-3 ชั่วโมง กระบวนการนี้ส่วนหนึ่งเป็นกระบวนการชุบมัน

สารละลายโซดาไฟที่ใช้แล้วสามารถนำไปใช้อีกได้โดยเพิ่มโซดาไฟใหม่ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิม ใช้จนกว่าน้ำยาขุ่นข้นจึงนำไปทำสบู่ ทำให้กระบวนการผลิตวิสวอสเรยอนมีต้นทุนต่ำกว่าการผลิตเรยอนชนิดอื่น

หมักเยื่อไม้ป่นในถังมีฝาปิดเพื่อไม่ให้เกิดการออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ เซลลูโลสจะสลายตัวจากโมเลกุลขนาดใหญ่มากเหลือ โซ่กลูโคสเพียง 350-800 โมเลกุลเท่านั้น ถ้าหมักไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 84 ชั่วโมง ปัจจุบันพบว่าถ้าหมักในห้องที่มีอุณหภูมิสูงกว่านี้และสามารถควบคุมให้อุณหภูมิคงที่จะใช้เวลาเพียง 24-36 ชั่วโมง

เมื่อหมักจนได้ผลสมบูรณ์แล้ว นำเยื่อไม้ป่นผสมกับสารละลายคาร์บอนไดออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 ของน้ำหนักในถังที่หมุนได้ ขณะผสมต้องเดินเครื่องให้หมุนตลอดเวลาานาน 3 ชั่วโมง เยื่อไม้ป่นจะเปลี่ยนเป็นสีส้มมีลักษณะเหมือนวุ้น เปลี่ยนสภาพจากเซลลูโลสประเภทต่างเป็นเซลลูโลสแซนเทตแสดงว่าปฏิกิริยาได้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว

นำเซลลูโลสแซนเทตไปปั่นกวนกับน้ำยาโซดาไฟเจือจางนาน 4-5 ชั่วโมงจะละลายเป็นน้ำขุ่นใสสีน้ำตาลเหมือนกับน้ำผึ้งเรียกว่าน้ำยาวิสคอส ขั้นตอนนี้ยังไม่เป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ ถ่ายสู่ถังใหม่ปั่นต่อไปอีก เสร็จแล้วจึงกรองเอาส่วนซึ่งไม่ละลายออก ถ้าต้องการทำให้มีลักษณะด้านจะใส่ไททาเนียมไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำยาวิสคอสในขณะนี้ ถ้าจะข้อมสีในขณะที่ยังเป็นของเหลวอยู่ก็ทำได้เช่นเดียวกัน ปั่นให้เข้ากัน หมักต่อไปอีก 48-60 ชั่วโมงที่ 10-18 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำไปกดเป็นเส้นใยผ่านน้ำสารละลายกรดกำมะถันเจือจางเพื่อให้แข็งเป็นใย

สาเหตุที่จะทำให้คุณสมบัติของเส้นใยวิสคอสเปลี่ยนแปลงได้มีหลายอย่างด้วยกัน ได้แก่

- อุณหภูมิและส่วนผสมของน้ำที่ทำให้แข็งตัว
- อัตราเร็วที่วิสคอสแข็งตัว
- ระยะเวลาที่เส้นใยแช่อยู่ในน้ำที่ทำให้แข็งตัว
- อัตราเร็วในการปั่นเส้นใย
- การดึงยืดของรอก โกเดท (godet)

ตัวอย่างวัตถุดิบสำหรับผลิตวิสคอสแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 วัตถุดิบสำหรับผลิตวิสคอส 1 ปอนด์

ชนิดวัตถุดิบ	จำนวน/ปอนด์
เนื้อไม้	1.15
โซดาไฟ	1.0
คาร์บอนไดซัลไฟด์	0.5
กรดกำมะถัน	1.5
โซเดียมซัลเฟต	1.0
กนูโคส	0.5
น้ำ	800-1,700
สารเคมีอื่นอีกเล็กน้อย	

ที่มา : อัจฉราพร (2533)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. ขวดวัดปริมาตร
3. กระจกตวง
4. กรวยกรอง
5. ขวดชมพูสุญญากาศ
6. บีเปิด
7. แท่งแก้ว
8. ซ้อนดักสาร
9. จุกยาง
10. พาราฟิล์ม
11. กระดาษฟอยล์
12. ตะแกรงลวดขนาด 100 mesh
13. กระจกนาฬิกา

### เครื่องมือ

1. เครื่องบด
2. เตาอบ ช่วงอุณหภูมิ 30-95 องศาเซลเซียส
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียดได้ถึงมิลลิกรัม
4. ตู้ทำความเย็น
5. บีกสุญญากาศ
6. desiccator
7. water bath ช่วงอุณหภูมิ 30-95 องศาเซลเซียส
8. เครื่องเขย่า Incubator Shaker ความเร็วรอบ 10- รอบต่อนาที
9. เครื่องวัดความหนาแน่น (pycnanometer)

### วัตถุดิบและสารเคมี

1. ชานอ้อย ในความอนุเคราะห์ของบริษัท เขื่อกระดาษสยาม จำกัด (มหาชน) ราชบุรี
2. วัสดุดูดซึมน้ำมันพอลิพรอพิลีนชนิดแผ่น
3. น้ำมันดิบ Murban ในความอนุเคราะห์ของบริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) ชลบุรี
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 98% ผลิตโดยบริษัท Merk
5. คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon disulfide, CS<sub>2</sub>)
6. โซเดียมซัลเฟตเกรดอุตสาหกรรม (Sodium sulfate, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
7. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
8. น้ำกลั่น (distilled water)

### วิธีการ

#### การเตรียมชานอ้อย

นำชานอ้อยผึ่งแดดให้แห้ง แล้วนำไปปดด้วยเครื่องบด จากนั้นอบไล่ความชื้นในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บใส่เดซิกเคเตอร์เพื่อป้องกันความชื้น

#### การเตรียมของผสมหนืด

นำชานอ้อยที่เตรียมจากขั้นตอนที่ 1 จำนวน 40 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 900 มิลลิลิตร เป็นเวลา 35 นาที จากนั้นกรองเอาแต่กากสีน้ำตาลเข้ม โดยใช้ชุดกรวยกรอง และขวดชมพูสูญญากาศ ใส่กากลงในบีกเกอร์ ปิดด้วยพาราฟิล์ม บ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิที่กำหนดเป็นเวลา 20 ชั่วโมงจะได้ของผสมมีลักษณะเป็น slurry สีน้ำตาลเข้ม จากนั้นเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ คนให้เข้ากัน ปิดด้วยพาราฟิล์ม บ่มทิ้งไว้ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง คนให้เข้ากัน ปิดด้วยพาราฟิล์ม เก็บในตู้ทำความเย็นเป็นเวลา 22 ชั่วโมง จะได้ของผสมหนืดคล้ายน้ำผึ้งสีน้ำตาลเข้ม

ขั้นตอนการเตรียมของผสมหนืดแสดงได้ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ขั้นตอนการเตรียมของผสมหนืด

## การผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

นำของผสมชนิดที่เตรียมจากขั้นตอนที่ 2 ผสมกับเกลือ โซเดียมซัลเฟตที่อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงตามตารางที่ 3 จะได้ของผสมที่มีสีส้ม จากนั้นเทลงในแม่พิมพ์ขนาด 7x7x1.5 (หน่วยเซนติเมตร) ซึ่งทำจากตะแกรงลวดขนาด 100 mesh วางลงในบีกเกอร์ เทกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักลงไป ทิ้งให้ขึ้นรูปเป็นฟองน้ำ แคะฟองน้ำสีน้ำตาลอ่อนที่ได้ออกจากแม่พิมพ์ล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นกำจัดน้ำออกโดยใช้อะซิโตน ผึ่งให้แห้ง เก็บใส่ถุงซิปล็อคเพื่อเตรียมทดสอบการดูดซึม

**ตารางที่ 3** อัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟตซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ (หน่วย: ร้อยละ โดยน้ำหนัก)

ของผสมชนิด	เกลือโซเดียมซัลเฟต
50	50
34	66
25	75

## การดูดซึมน้ำมันดิบและน้ำทะเล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบและน้ำทะเลของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบและน้ำทะเลของพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นวัสดุดูดซึมที่ใช้ในทางการค้า

### ความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบ

นำวัสดุดูดซึมที่ต้องการทดสอบ ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ซึ่งบรรจุน้ำมันดิบที่ต้องการทดสอบปริมาณ 400 มิลลิลิตร นำบีกเกอร์เข้าเครื่องเขย่า Incubator Shaker ที่ความเร็วรอบ 120±10 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำวัสดุที่ชุ่มด้วยน้ำมันดิบวางบนตะแกรงลวดเป็นเวลา 15 นาทีเพื่อให้น้ำมันดิบส่วนเกินไหลออกมา วางบนกระดาษทิชชูนำไปชั่งน้ำหนัก ปริมาณน้ำมันดิบที่ถูกดูดซึมคำนวณได้จาก น้ำหนักวัสดุดูดซึมที่ชุ่มด้วยน้ำมันดิบลบด้วยน้ำหนักของวัสดุดูดซึมขณะ

แห้ง และความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบคำนวณได้จาก ปริมาณน้ำมันดิบที่ถูกดูดซึมหารด้วย น้ำหนักของวัสดุดูดซึมขณะแห้ง

### ความสามารถในการดูดซึมน้ำทะเล

นำวัสดุดูดซึมที่ต้องการทดสอบ เติลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ซึ่งบรรจุน้ำทะเลปริมาณ 400 มิลลิลิตร นำบีกเกอร์เข้าเครื่องเขย่า Incubator Shaker ที่ความเร็วรอบ  $120 \pm 10$  รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำวัสดุที่ชุ่มด้วยน้ำทะเลวางพักบนตะแกรงลวดเป็นเวลา 5 นาที วางบนกระดาษฟิวส์นำไปชั่งน้ำหนัก ความสามารถในการดูดซึมน้ำทะเลคำนวณได้จาก น้ำหนักของวัสดุดูดซึมที่ชุ่มด้วยน้ำทะเลลบด้วยน้ำหนักของวัสดุดูดซึมขณะแห้ง แล้วหารด้วยน้ำหนักของวัสดุดูดซึมขณะแห้ง

### การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของของผสมหนืด

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อค่าความหนืดของของผสมหนืด ซึ่งทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1 และ ขั้นตอนที่ 2 โดยทำการทดลองที่สภาวะต่างกันดังแสดงตาม ภาพที่ 11 แล้วนำของผสมหนืดส่วนหนึ่งที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brook Field Viscometer รุ่น RVDV-III วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดโดยใช้โปรแกรมมินิแทบ (Minitab) นำของผสมหนืดอีกส่วนที่เหลือไปศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของ ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

### การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

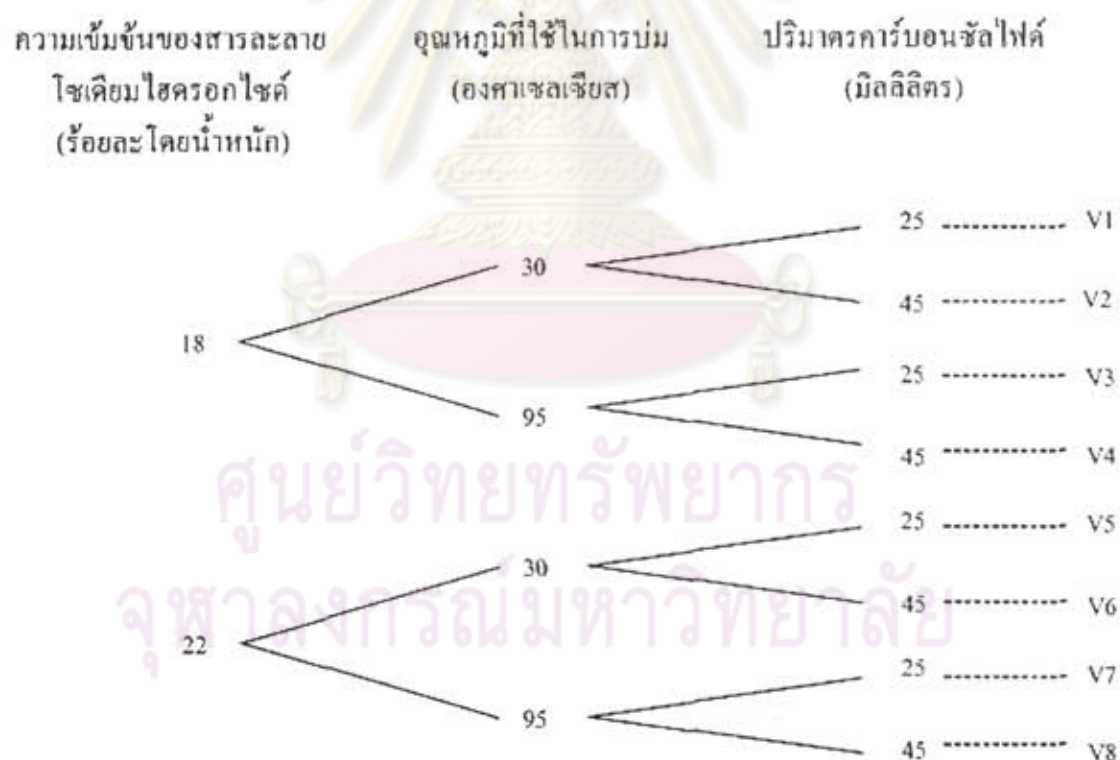
ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติซึ่ง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต ทำได้โดยนำของผสมหนืดอีกส่วนหนึ่งซึ่งกล่าวไว้ในขั้นตอนที่ 5 เตรียมเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ โดยผสมกับเกลือโซเดียมซัลเฟตในอัตราส่วนที่ต่างกันตามตารางที่ 3 จากนั้นนำฟองน้ำที่เตรียมได้ไปทดสอบความสามารถในการดูด



ชิมด้วยวิธีการที่แสดงในขั้นตอนที่ 4 แล้ววิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมด้วยโปรแกรมมินิแทบ

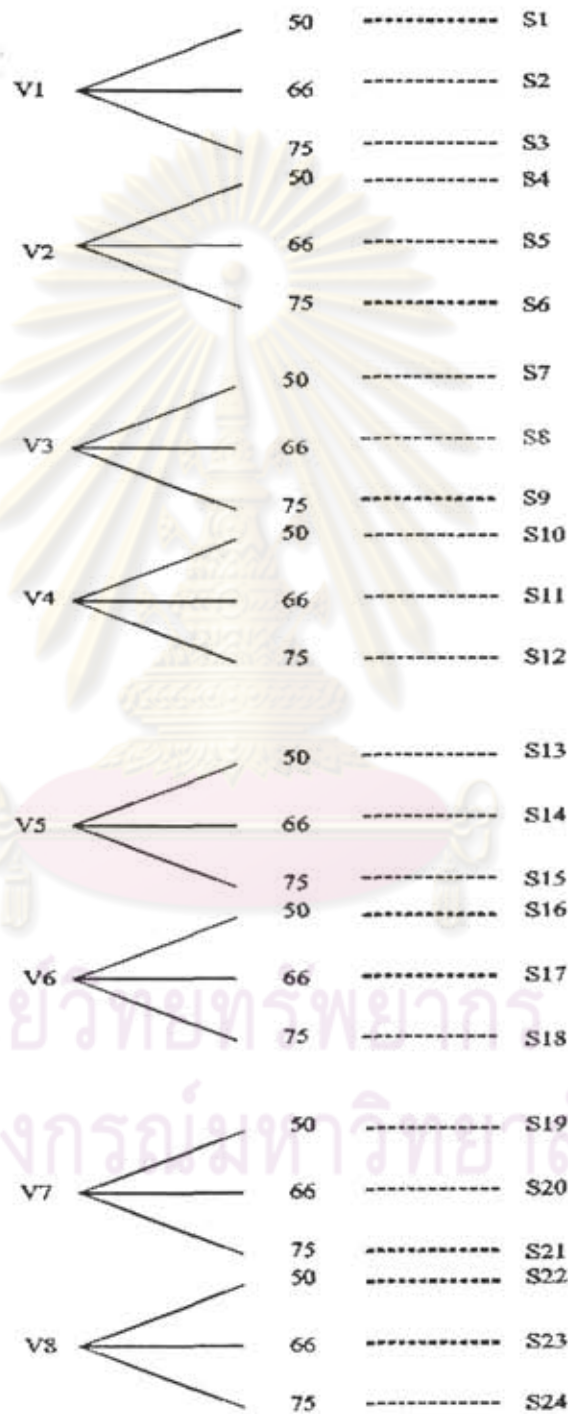
### การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ด้วย โปรแกรมมินิแทบเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติแล้ว จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของปัจจัยเหล่านั้น ด้วยการทำการทดลองใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมขานอ้อย การเตรียมของผสมหนืด การขึ้นรูปเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติและการทดสอบความสามารถในการดูดซึม โดยกำหนดสภาวะต่างๆของปัจจัยที่มีผลซึ่งวิเคราะห์จาก โปรแกรมมินิแทบ



ภาพที่ 11 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของของผสมหนืด

อัตราส่วนปริมาณเกลือ  
โซเดียม-ซัลเฟต



ภาพที่ 12 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึม

## ผลและวิจารณ์

การทดลองเพื่อเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการเตรียมของผสมหนืดจากชานอ้อยซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ในส่วนนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของของผสมหนืด ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลส และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนที่สองเป็นการขึ้นรูปของผสมหนืดให้เป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้ผลึกเกลือโซเดียมซัลเฟตภายใต้สภาวะกรด แล้วนำฟองน้ำที่เตรียมได้ไปทดสอบความสามารถในการดูดซับ ในส่วนที่สองนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลส ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต

### การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของของผสมหนืด

ดังที่กล่าวแล้วว่าการทดลองนี้ส่วนหนึ่งได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของของผสมหนืดซึ่งได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลส เมื่อนำของผสมหนืดที่เตรียมได้ไปวัดความหนืดโดยใช้เครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น RVDV-III ค่าความหนืดที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 4 นำของผสมหนืดที่ได้ผสมกับผลึกเกลือโซเดียมซัลเฟตด้วยอัตราส่วนต่างกัน 3 อัตราส่วนแล้วนำไปขึ้นรูปเป็นฟองน้ำ จากนั้นนำไปทดสอบการดูดซับน้ำมันดิบและน้ำทะเล

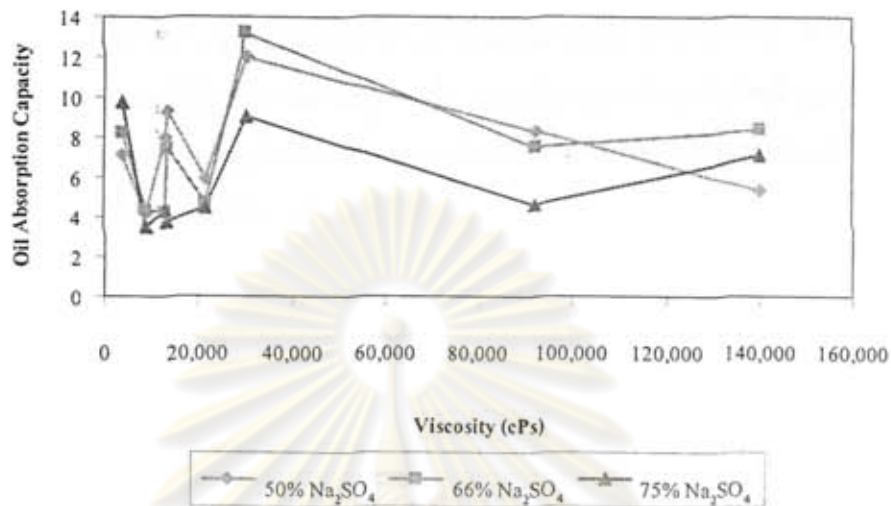
เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยโปรแกรมมินิแท็บพบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลสมีผลต่อค่าความหนืดของของผสมหนืด ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของของผสมหนืดกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันดิบและน้ำทะเลของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติแสดงได้ดังภาพที่ 14 และภาพที่ 15 ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของของผสมหนืดกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันดิบดังแสดงในภาพที่ 13 จากภาพพบว่าที่ความหนืดต่ำกว่า 30,000 cPs ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติกับค่าความ

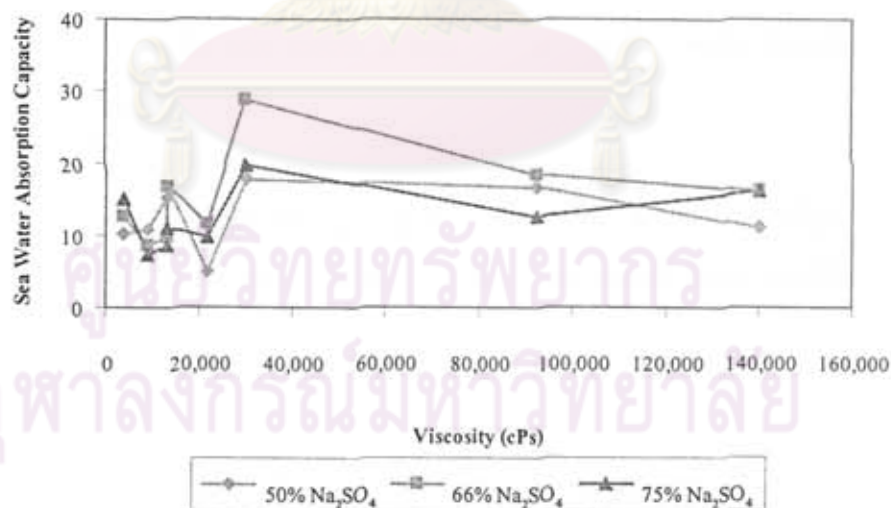
หนืดได้ ความหนืดของของผสมหนืดที่ 30,094 cPs ให้ค่าการดูดซึมน้ำมันดิบที่ดีที่สุด และที่ความหนืดของของผสมหนืดตั้งแต่ 30,094 cPs ขึ้นไป ความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมีค่าต่ำลงเมื่อค่าความหนืดของของผสมหนืดเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน จากภาพที่ 14 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของของผสมหนืดกับความสามารถในการดูดซึมน้ำทะเล ที่ความหนืดต่ำกว่า 30,094 cPs ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซึมน้ำทะเลของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติกับค่าความหนืดได้ ความหนืดของของผสมหนืดที่ 30,094 cPs ให้ค่าการดูดซึมน้ำทะเลที่ดีที่สุด ที่ความหนืดของของผสมหนืดตั้งแต่ 30,094 cPs ขึ้นไป ความสามารถในการดูดซึมน้ำทะเลของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมีค่าต่ำลงเมื่อค่าความหนืดของของผสมหนืดเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 4** ค่าความหนืดของของผสมหนืดที่เตรียมจากสภาวะที่ต่างกัน

รหัส	ความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้		ความหนืด (CPs)
	สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ในการบ่มอัลคาไล เซลลูโลส (องศาเซลเซียส)	ปริมาณคาร์บอนซัลไฟด์ (มิลลิลิตร)	
V1	18	30	25	12,954
V2	18	30	45	140,815
V3	18	95	25	30,094
V4	18	95	45	92,434
V5	22	30	25	8,780
V6	22	30	45	21,777
V7	22	95	25	3,606
V8	22	95	45	13,240



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของของผสมหนืดกับความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบ



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของของผสมหนืดกับความสามารถในการดูดซึมน้ำทะเล

จากผลการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบและน้ำทะเล พบว่าของผสมหนืดที่มีค่าความหนืด 30,094 cPs สามารถเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่มีค่าความสามารถในการดูดซึม

น้ำมันดิบและน้ำทะเลได้ดีที่สุด นอกจากนี้ในระหว่างทำการทดลองพบว่าค่าความหนืดมีผลต่อความยากง่ายในการขึ้นรูปฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ของผสมหนืดที่มีค่าความหนืดต่ำสามารถขึ้นรูปได้ง่ายกว่าของผสมหนืดที่มีค่าความหนืดสูง เนื่องจากเมื่อผสมผลิตภัณฑ์โซเดียมซัลเฟตกับของผสมหนืดจะทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ดังนั้นของผสมหนืดที่มีค่าความหนืดต่ำจึงสามารถเทลงในแม่พิมพ์ได้ง่ายทำให้เกิดฟองอากาศมีน้อยกว่า

### การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไล เซลลูโลส ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟตเป็นปัจจัยที่ได้ศึกษาผลต่อความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติดังกล่าวแล้ว ในการทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมได้ทำการทดลองที่สภาวะต่างกันทั้งสิ้น 24 สภาวะแสดงดังภาพที่ 12 โดยมีขอบเขตในการศึกษาผลของปัจจัยแต่ละตัว ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงร้อยละ 18-22 โดยน้ำหนัก ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลสในช่วง 30-95 องศาเซลเซียส ศึกษาผลของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 25-45 มิลลิลิตร และศึกษาอัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟตร้อยละ 3 ค่าคือร้อยละ 50 ร้อยละ 66 และร้อยละ 75

ความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบแสดงในหน่วยกรัมของน้ำมันดิบที่ถูกดูดซึมต่อวัสดุดูดซึม 1 กรัม เมื่อทดสอบความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมจาก 24 สภาวะเทียบกับวัสดุดูดซึมพอลิพรอพิลีน พบว่าพอลิพรอพิลีนมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบได้เท่ากับ 9.64 เท่าของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติได้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบในช่วงตั้งแต่ 3.50 เท่า ถึง 12 เท่าของน้ำหนักแห้ง โดยฟองน้ำที่สามารถดูดซึมน้ำมันดิบได้มากที่สุดได้แก่ฟองน้ำที่เตรียมจากสภาวะที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก ใช้อุณหภูมิในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลสที่ 95 องศาเซลเซียส ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 25 มิลลิลิตร และปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 50 (S7)

เมื่อวิเคราะห์ผลของค่าการดูดซึมน้ำมันดิบด้วย โปรแกรมมินิแทบ พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลสและปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไลน์เซลลูโลส ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตที่มีต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบที่ละลายโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ย พบว่าการเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 ให้ค่าการดูดซึมน้ำมันดิบที่ต่ำกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 การเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติด้วยการบ่มอัลคาไลน์เซลลูโลสที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ให้ค่าการดูดซึมน้ำมันดิบที่ต่ำกว่าการบ่มอัลคาไลน์เซลลูโลสที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส การเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติด้วยการเติมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 25 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดซึมน้ำมันดิบที่ต่ำกว่าการเติมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 45 มิลลิลิตร และการเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติด้วยอัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 50 ให้ค่าการดูดซึมน้ำมันดิบที่สูงกว่าการเตรียมด้วยอัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 66 และร้อยละ 75

ในทำนองเดียวกันกับการดูดซึมน้ำมันดิบ ความสามารถในการดูดซึมน้ำทะเลแสดงในหน่วยกรัมของน้ำทะเลที่ถูกดูดซึมต่อวัสดุดูดซึม 1 กรัม จากการทดลองพบว่าฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้สามารถดูดซึมน้ำทะเลได้สูงถึง 28.83 เท่าของน้ำหนักแห้ง โดยเป็นฟองน้ำที่เตรียมจากสภาวะที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก ใช้อุณหภูมิในการบ่มที่ 95 องศาเซลเซียส ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 25 มิลลิลิตร และปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 66 (S8)

เมื่อวิเคราะห์ผลของค่าการดูดซึมน้ำทะเลด้วยโปรแกรมมินิแทบ พบว่าทุกปัจจัยที่ศึกษาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำทะเลของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

จากผลการทดลองดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้ พบว่าสามารถดูดซึมได้ทั้งน้ำทะเลและน้ำมันดิบ แม้ว่าฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติสามารถดูดซึมน้ำทะเลได้ดีกว่าน้ำมันดิบ แต่เมื่อพิจารณาถึงการประยุกต์นำไปใช้งานเมื่อเกิดน้ำมันรั่วในทะเลซึ่งน้ำมันดิบจะแพร่กระจายเกิดเป็นฟิล์มปกคลุมผิวหน้าน้ำทะเล ฟองน้ำจะสัมผัสกับน้ำมันดิบก่อนที่จะสัมผัสกับน้ำทะเล นั่นหมายความว่าฟองน้ำจะมีโอกาสดูดซึมน้ำมันดิบได้มากกว่า

ในระหว่างการทดสอบการดูดซึมน้ำมันดิบในห้องทดลอง เมื่อใส่ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันดิบ ฟองน้ำจะดูดซึมน้ำมันดิบทันทีและจะลอยตัวอยู่ติดกับผิวหน้า

น้ำมัน โดยไม่จมลงที่ก้นบีกเกอร์เมื่อนำเข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาทีก็ตาม ในทางกลับกัน เมื่อใส่ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำทะเล ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจะลอยอยู่บนน้ำทะเล เมื่อนำเข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที ฟองน้ำจะลอยตัวอยู่ในน้ำทะเล โดยไม่จมลงที่ก้นบีกเกอร์ จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ง่ายต่อการเก็บฟองน้ำที่ดูดซึมเพื่อนำมากำจัดเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน

เนื่องจากวัตถุประสงค์หนึ่งของงานวิจัยนี้ได้แก่การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมจากทุกสภาวะจึงไม่มีการเติมสารก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (Cross linking Agent) เพื่อให้ฟองน้ำคงสภาพ แม้ว่าฟองน้ำที่เตรียมได้จะมีความยืดหยุ่นแต่ก็เกิดการฉีกขาดเมื่อทดลองฝึกด้วยมือ แต่จากการทดลองพบว่าฟองน้ำที่ดูดซึมน้ำมันดิบแล้วจะแข็งกว่าก่อนดูดซึม ไม่เกิดการเปื่อยยุ่ยหรือฉีกขาดในระหว่างการดูดซึมซึ่งจะสะดวกในการเก็บฟองน้ำเพื่อกำจัด

#### ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

จากการทดลองการดูดซึม พบว่าฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้สามารถดูดซึมได้ทั้งน้ำมันดิบและน้ำทะเล แม้ว่าฟองน้ำสามารถดูดซึมน้ำทะเลได้ดีกว่าน้ำมันดิบ แต่จากเหตุผลที่กล่าวแล้วว่าเมื่อนำไปใช้งาน ฟองน้ำจะสัมผัสกับน้ำมันดิบที่ลอยอยู่บนผิวน้ำทะเลได้ก่อนจึงดูดซึมน้ำมันดิบได้ก่อนดูดซึมน้ำทะเล ในการทดลองส่วนนี้จึงไม่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำทะเลของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ จะศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบเท่านั้น

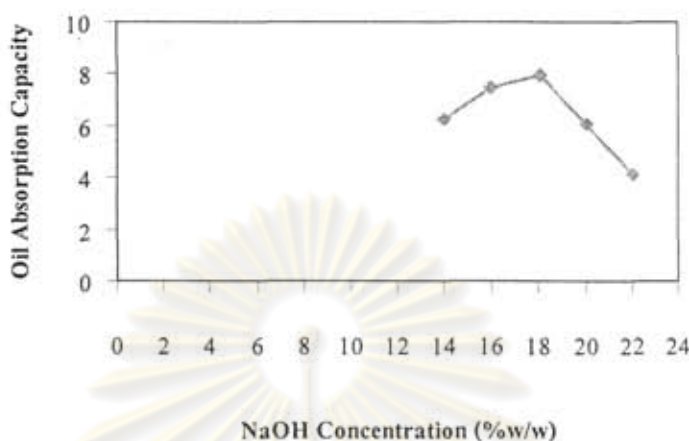
จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบแสดงในภาคผนวก ข ได้ทำการศึกษาเพื่อตรวจสอบหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้มีค่าการดูดซึมน้ำมันดิบที่ดีที่สุด โดยทำการทดลองเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน แต่ใช้อุณหภูมิในการบ่มอัลคาไลเซลล์ูโลส ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตเท่ากันแสดงดังตารางที่ 5



**ตารางที่ 5** สภาวะที่ใช้ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

รหัส	ความเข้มข้นของ สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิที่ใช้ ในการบ่มอัลคาไล เซลลูโลส (องศาเซลเซียส)	ปริมาณคาร์บอน ซัลไฟด์ (มิลลิลิตร)	อัตราส่วน ปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟต
N1	12	30	25	50
N2	14	30	25	50
N3	16	30	25	50
N4	18	30	25	50
N5	20	30	25	50
N6	22	30	25	50

เมื่อทำการทดลองเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ไม่สามารถขึ้นรูปของผสมชนิดเป็นฟองน้ำได้ สำหรับผลการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำที่เตรียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังภาพที่ 15 จากภาพพบว่าที่สภาวะเดียวกัน ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนักมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบได้ดีที่สุด ความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 14 ร้อยละ 16 ถึงร้อยละ 18 โดยดูดซึมน้ำมันดิบได้เท่ากับ 6.25 เท่า 7.44 เท่า และ 7.96 เท่าของน้ำหนักแห้งตามลำดับ จากนั้นความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำลดลงเมื่อเตรียมด้วยความเข้มข้นร้อยละ 20 และมีค่าต่ำสุดเมื่อเตรียมด้วยสารละลายเข้มข้นร้อยละ 22 โดยดูดซึมได้ 6.06 เท่า และ 4.13 เท่าของน้ำหนักแห้งตามลำดับ

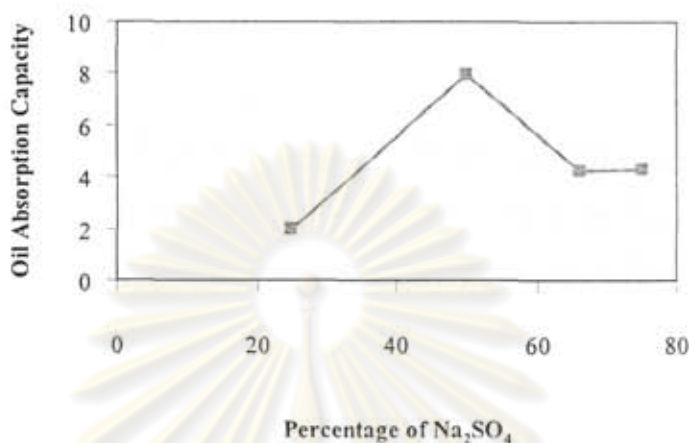


ภาพที่ 15 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้

และเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต ที่ทำให้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้มีค่าการดูดซึมน้ำมันดิบที่ดีที่สุด หลังจากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบ จึงได้ทดลองเตรียมฟองน้ำด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นเท่ากัน ใช้อุณหภูมิเดียวกันในการบ่มอัลคาไลเซลล์ูโลส และใช้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากัน ต่างกันที่อัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต ตารางที่ 6 แสดงสถานะที่ใช้ทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต

ตารางที่ 6 สถานะที่ใช้ศึกษาผลของความเข้มข้นของอัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต

รหัส	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม (องศาเซลเซียส)	ปริมาณคาร์บอนซัลไฟด์ (มิลลิลิตร)	อัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต
NA1	18	30	25	25
NA2	18	30	25	50
NA3	18	30	25	66
NA4	18	30	25	75



ภาพที่ 16 ผลของอัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียม ไฮดรอกไซด์ต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้

ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติซึ่งเตรียมจากอัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟตร้อยละ 25 มีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบต่ำที่สุด โดยดูดซึมได้เพียง 1.98 เท่าของน้ำหนักแห้ง ฟองน้ำที่เตรียมจากอัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟตร้อยละ 66 และร้อยละ 75 มีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบได้ใกล้เคียงกันคือ 4.25 เท่าและ 4.33 เท่าของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ฟองน้ำที่เตรียมด้วยอัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟตร้อยละ 50 มีความสามารถดูดซึมน้ำมันดิบได้ 7.97 เท่าของน้ำหนักแห้ง จึงสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนปริมาณเกลือ โซเดียมซัลเฟตที่ทำให้ฟองน้ำสามารถดูดซึมน้ำมันดิบได้ดีที่สุดคือที่ร้อยละ 50

และจากการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซึมด้วยโปรแกรมมินิแทบ ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลสและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ จึงได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลสและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ โดยทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ แสดงดังภาพที่ 17

เมื่อเตรียมฟองน้ำโดยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ 15 มิลลิลิตร ใช้อุณหภูมิในการบ่มอัลคาไลเซลลูโลสที่ 30 เซลเซียส ฟองน้ำที่ได้สามารถดูดซึมน้ำมันดิบได้ดีที่สุด โดยดูดซึมได้ 6.94 เท่าของ

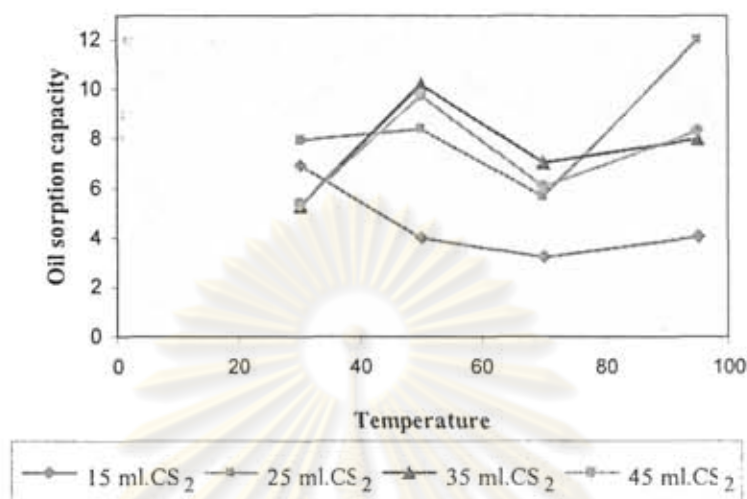
น้ำหนักแห้ง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำมันดิบจะลดลง โดยค่าการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำที่บ่มที่อุณหภูมิ 50 70 และ 95 องศาเซลเซียส เท่ากับ 4 เท่า 3.24 เท่าและ 4.05 เท่าของน้ำหนักแห้งตามลำดับ

สำหรับฟองน้ำที่เตรียมด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาตร 35 มิลลิลิตรและ 45 มิลลิลิตร มีค่าการดูดซึมน้ำมันดิบใกล้เคียงกันในแต่ละอุณหภูมิที่ใช้บ่มอัลคาไลเซลลูโลส โดยดูดซึมน้ำมันดิบได้น้อยเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ประมาณ 5.3 เท่าของน้ำหนักแห้ง เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซึมเพิ่มขึ้นเป็น 10.2 เท่าและ 9.8 เท่าของน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซึมจะลดลง และเพิ่มขึ้นอีกเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เมื่อเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาตร 25 มิลลิลิตร พบว่าการบ่มอัลคาไลเซลลูโลสที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ฟองน้ำที่ได้มีค่าการดูดซึมน้ำมันดิบใกล้เคียงกัน ประมาณ 8 เท่าของน้ำหนักแห้ง เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำลดลงเหลือเพียง 5.7 เท่าของน้ำหนักแห้ง แต่เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาตร 25 มิลลิลิตรมีค่าการดูดซึมน้ำมันดิบสูงที่สุด ประมาณ 12 เท่าของน้ำหนักแห้ง เมื่อใช้อุณหภูมิในการบ่มสูงขึ้นอาจส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาตร 25 มิลลิลิตรมีค่าการดูดซึมน้ำมันดิบสูงขึ้น แต่เนื่องด้วยขีดจำกัดของเครื่องมือ จึงทำการทดสอบได้ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเท่านั้น

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

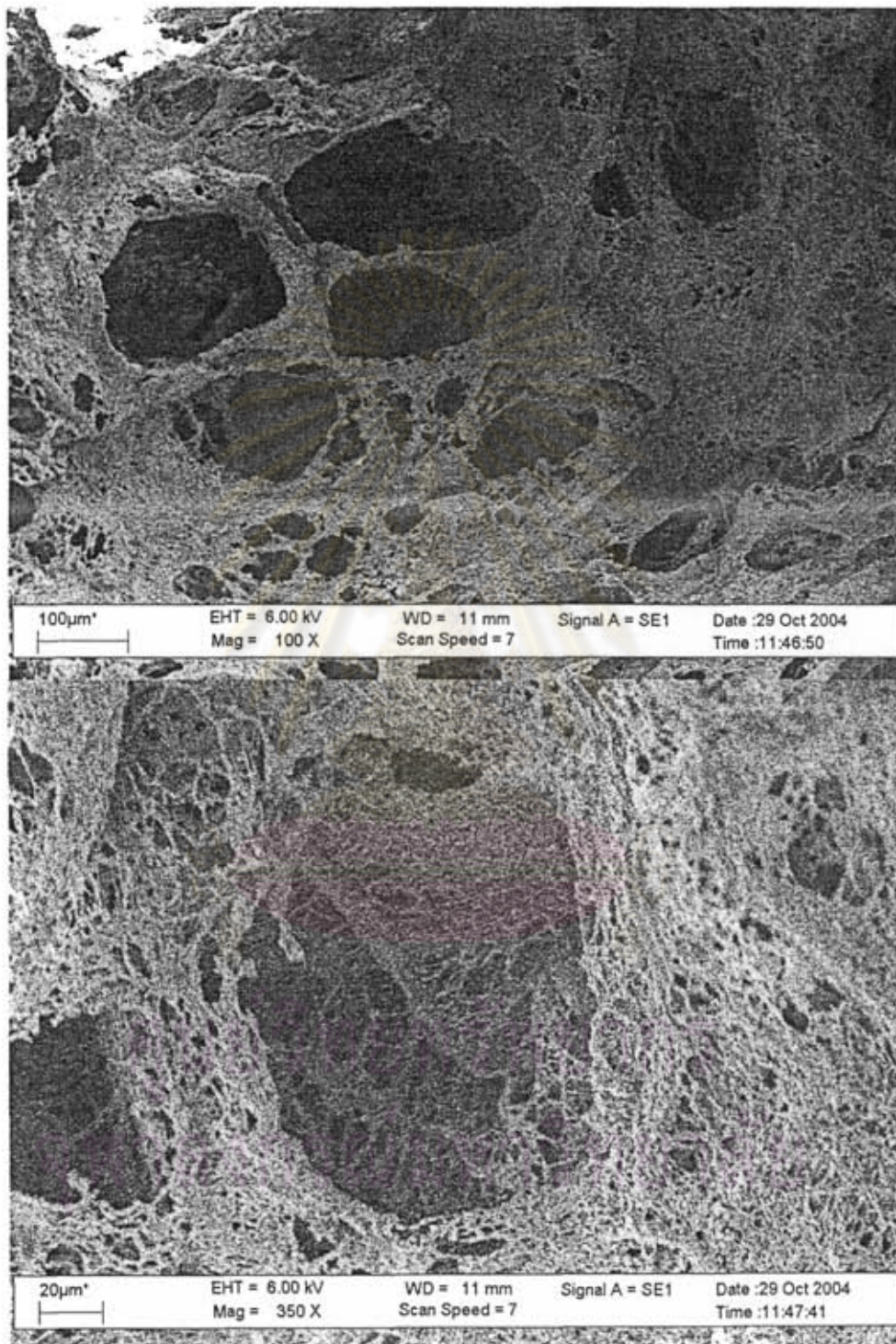




ภาพที่ 18 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มและปริมาณคาร์บอนไดซัลไฟด์ต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันดิบของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้

จากที่กล่าวมาแล้ว สรุปได้ว่าฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันดิบดีที่สุด เตรียมได้จากสถานะที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก บ่มอัลคาไลเซลล์ูโลสที่ 95 องศาเซลเซียส ใช้คาร์บอนไดซัลไฟด์ 25 มิลลิลิตร และอัตราส่วนปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตร้อยละ 50 เมื่อนำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติดังกล่าวมาทดสอบหาค่าความหนาแน่น โดยใช้พิคคาโนมิเตอร์ (pycnameter) พบว่าฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมจากสถานะดังกล่าวมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.0630 กิโลกรัมต่อลิตร และเมื่อนำฟองน้ำไปศึกษาลักษณะรูพรุน โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) แสดงได้ดังภาพที่ 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 19 ลักษณะรูพรุนของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้

จากภาพพบว่ารูพรุนที่ได้มีทั้งขนาดใหญ่และเล็ก ซึ่งเกิดจากในขั้นตอนการรีเจนเนอเรต เซลลูโลสเพื่อขึ้นรูป การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของผสมหนืดกับกรดซัลฟิวริกเป็นรีเจนเนอเรต

เชลลูโลสมีเกลือโซเดียมซัลเฟตเกิดขึ้น โดยเกลือที่เกิดขึ้นนี้มีขนาดเล็กแทรกอยู่ในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ เมื่อล้างฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติด้วยน้ำสะอาด เกลือโซเดียมซัลเฟตซึ่งมีขนาดเล็กก็จะละลายน้ำก่อให้เกิดรูพรุน ในทำนองเดียวกัน ก่อนการขึ้นรูปของผสมหนืดเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ได้ทำการเติมเกลือโซเดียมซัลเฟตเพื่อเพิ่มรูพรุน เกลือที่เติมลงไปนี้มีขนาดใหญ่กว่าเกลือที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา เมื่อขึ้นรูปของผสมหนืดเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ เกลือที่เติมลงไปนี้ยังคงแทรกตัวอยู่ในฟองน้ำ และเมื่อล้างฟองน้ำด้วยน้ำสะอาด เกลือก็จะละลายและทิ้งรูพรุนขนาดใหญ่ที่ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สรุปผลการวิจัย

### สรุปผลการวิจัย

การผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซึมสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยผ่านกระบวนการเตรียมของผสมหนืด เริ่มจากนำขานอ้อยซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักมาบด แล้วแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อทำให้องศาการเกิดโพลีเมอร์ของเซลลูโลสต่ำลง จากนั้นกรองเอาแต่กากแล้วบ่มทิ้งไว้ จากนั้นทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์แล้วนำมาทำปฏิกิริยาอีกครั้งกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก นำของผสมหนืดผสมกับเกลือ โซเดียมซัลเฟตแล้วขึ้นรูปในสถานะกรดได้เป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

1. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของของผสมหนืด ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ค่าความหนืดของของผสมหนืดไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความสามารถในการดูดซึมของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ จึงไม่พิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของของผสมหนืด

2. ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้สามารถดูดซึมได้ทั้งน้ำมันดิบและน้ำทะเล แต่มีค่าการดูดซึมน้ำทะเลสูงกว่าการดูดซึมน้ำมันดิบ

3. ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบ โดยฟองน้ำที่เตรียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก มีค่าการดูดซึมน้ำมันดิบดีที่สุด

4. อัตราส่วนปริมาณเกลือที่ทำให้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบได้ดี คือร้อยละ 50

5. ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบของฟองน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ สภาวะที่ทำให้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้สามารถดูดซึมน้ำมันดิบได้ดีที่สุดคือการเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติด้วยการบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศา

เซลเซียส และใช้ปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ไฟค์ 15 มิลลิลิตร ซึ่งส่งผลให้ฟองน้ำสามารถดูดซึมน้ำมันดิบได้สูงถึง 12 เท่าของน้ำหนักแห้ง

6. สภาวะในการเตรียมฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ทำให้ฟองน้ำมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันสูงที่สุด (12 เท่าของน้ำหนักแห้ง) เตรียมได้จากการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ไฟค์ 25 มิลลิลิตร และผสมกับผลึกเกลือ โซเดียมซัลเฟตร้อยละ 50

7. ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้จากสภาวะที่กล่าวในข้อ 6 มีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบสูงกว่าพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นวัสดุดูดซึมน้ำมันที่ใช้ในทางการค้า 1.25 เท่า โดยพอลิพรอพิลีนมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันดิบได้ 9.64 เท่าของน้ำหนักแห้ง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2536. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ.2535. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ. 58น.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2538. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ.2537. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. แพลนพรีนติ้ง, กรุงเทพฯ. 72น.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2539. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ.2538. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. บริษัทอินทิเกรต โปร โมชั่น เทคโนโลยี, กรุงเทพฯ. 79น.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2537. คู่มือเล่ม1 : คู่มือเจ้าของอาคาร/ภัตตาคารและผู้รับจ้างติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 48น.
- ธิดา วิเชียรเพชร. 2545. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันในน้ำเสียชุมชนโดยใช้ดอกชูปลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประธาน เสนิษฐ์วงศ์ ณ อุซุซา. 2536. การปรับปรุงคุณค่าของฟางข้าวและขาน้อยโดยการหมักด้วยเชื้อราเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2538. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 443น.
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2543. วิทยาศาสตร์เส้นใย. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 323น.

- Adulyanukosol, K. 1995. The status and tendency of declination of dudong population in Thailand. In proceedings of the seminar on Fisheries, Bangkok.
- Buchanan, I. 1987. Methods for Predicting the Physical Changes in Oil Spill at Sea. Report no. 609(OP). Stevenage : Narren Spring Laboratory.
- Buchanan, I., Hurford, N. 1988. Report of the Forties Fate Trial, July 1987. Report no. LR 671(OP). Stevenage : Narren Spring Laboratory.
- Department of Polymer Science. 1995. Cellulose. University of Mississippi. Available Source: <http://www.psrc.usm.edu/macrog/images/cell.htm>, October 13, 2002.
- Edward, D. and Chales, A. 1997. Conversion of Old Newspaper and Other Post-consumer Recycled Paper to Regenerated Cellulose. Journal of solid waste technology and management. 6p.
- Fiber Source. Available Source: <http://www.fibersource.com/f-tutor/rayon.htm>, May 15, 2002.
- Hurford, N. 1992. Report of the Flotta Fate Trial, August 1988. Report no. LR 725(MPBM).
- Indian Valley Industries. Available Source: [http://www.iviindustries.com/spill\\_containment\\_products.htm](http://www.iviindustries.com/spill_containment_products.htm), July 21, 2003.
- ITOPF. 1996. Effects of Marine Oil Spills. Technical Information Paper No.10 London : International Tanker Owners Pollution Federation. 8p.
- Iveson, S.M. and Rutherford, K.F. 2001. Liquid penetration rate into submerged porous particles : theory, experimental validation and implications for iron ore granulation and sintering. Pp 133-143. Mineral Processing and Extractive Metallurgy : Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy.

National Renewable Energy Laboratory. Available Source:

<http://www.nrel.gov/biomass/photos.html>, December 1, 2002.

Powell, E. 1997. Shrimp Hatchery Tour. Thailand.

Van Oudenhaven, J.A.C.M. 1983. Characteristics of Petroleum and the Behaviour at sea. Report no. 8/83 The Hague : CONCAWE.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย