



วิทยานิพนธ์

นวัตกรรมการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าวเพื่อใช้เป็น
วัสดุปลูกพืชแทนการใช้ดิน

**INNOVATIVE PRODUCTION OF CELLULOSE SPONGE
FROM RICE STRAW TO REPLACE SOIL AS A SUBSTRATE
FOR GROWING PLANTS**

นางสาวสุวรรณา ละม้ายอินทร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)
ปริญญา

วิศวกรรมเคมี

วิศวกรรมเคมี

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง นวัตกรรมการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าวเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูกพืช
แทนการใช้ดิน

Innovative Production of Cellulose Sponge from Rice Straw to Replace Soil as a
Substrate for Growing Plants

นามผู้วิจัย นางสาวสุวรรณา ละม้ายอินทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ธีรศักดิ์ ทรัพย์สมบูรณ์

(รองศาสตราจารย์ศิริกัญญา สุวจิตตานนท์, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ไพศาล คงกาญจนาย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ไพศาล คงกาญจนาย, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

ธีระกุล ธีระกุล

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 4 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

นวัตกรรมการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าวเพื่อใช้เป็น
วัสดุปลูกพืชแทนการใช้ดิน

Innovative Production of Cellulose Sponge from Rice Straw to Replace Soil as a Substrate for
Growing Plants

โดย

นางสาวสุวรรณา ละม้ายอินทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)
พ.ศ. 2551

สุวรรณ ละเอียดอินทร์ 2551: นวัตกรรมการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าวเพื่อใช้เป็น
วัสดุปลูกพืชแทนการใช้ดิน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) สาขาวิศวกรรม
เคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:

รองศาสตราจารย์ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, D.Eng. 88 หน้า

ในงานวิจัยนี้ได้นำฟางข้าวซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบมาผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติซึ่งโดย
ปกติเซลลูโลสจะอยู่รวมกับส่วนประกอบอื่น ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ดังนั้นในการผลิตจะต้องทำ
การแยกส่วนประกอบดังกล่าวออกจากโครงสร้างของฟางข้าวในขั้นการปรับสภาพ โดยทำการศึกษาผล
ของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิที่มีผลต่อการปรับสภาพ พบว่าสภาวะที่
เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพ คือ การแช่ฟางข้าวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10
โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะได้ฟางข้าวที่มีเซลลูโลส
ประกอบอยู่ร้อยละ 92.51 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 2.75 ลิกนินและสารแทรกร้อยละ 1.01 นำฟางข้าวที่ผ่าน
การปรับสภาพมาผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ โดยผ่านกระบวนการเตรียมของผสมหนืด (Viscose
Process) โดยนำฟางข้าวมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 โดยน้ำหนักต่อ
ปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ และเจือจางด้วย
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส
เป็นร้อยละ 3 - 6 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักวิสคอส จากนั้นนำมาขึ้นรูปเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ โดย
เติมโซเดียมซัลเฟตในอัตราส่วนระหว่าง วิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต เป็น 1:1 และ 1:2 และเส้นใยร้อยละ
1 - 2 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักวิสคอส แล้วขึ้นรูปในกรดซัลฟิวริก นำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิต
ได้ไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ การพองตัว ปริมาณน้ำผูกพัน และการ
ทนต่อแรงดึง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ สภาวะที่มีปริมาณ
เซลลูโลสในวิสคอสร้อยละ 6 อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต เป็น 1:2 และใส่เส้นใยร้อยละ
1 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักวิสคอส และฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตขึ้นนี้สามารถใช้ปลูกพืชแทน
การใช้ดินได้

สุวรรณ ละเอียดอินทร์
ลายมือชื่อนิสิต

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ 21 / 5 / 51
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Suwanna Lamaiin 2008: Innovative Production of Cellulose Sponge from Rice Straw to Replace Soil as a Substrate for Growing Plants. Master of Engineering (Chemical Engineering), Major Field: Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Sirikalaya Suvachittanont, D.Eng. 88 pages.

Cellulose, the important component in rice straw, can be used as a raw material in the production of cellulose sponge. The other components in rice straw such as hemicellulose and lignin are the contaminant in viscose Process. These must be eliminated in the pretreatment step. This research studies the effect of concentration of sodium hydroxide and temperature on the pretreatment step. The rice straw was treated with sodium hydroxide 10 % by w/v at 70 °C for 90 minutes. The treated rice straw contained 92.51 % cellulose, 2.75 % hemicellulose and 1.01 % lignin and extractive. The pretreated rice straw used as a raw material for produced cellulose sponge via viscose Process. Rice straw was reacted with sodium hydroxide 17.5 % by w/v at room temperature for 3 hours. Then reacted with carbon diSulfide and sodium hydroxide 8 % by w/v to obtain viscose mixture that contain 3 - 6 % cellulose. Viscose mixture was mixed with sodium sulfate and Cotton fiber 1 - 2 % by weight as reinforce material. Then molded by 10 % sulfuric acid to form cellulose sponge. Cellulose sponges were tested for Water absorption, Swelling, bound Water and tensile strength. The cellulose sponges prepared from viscose contain 6 % cellulose, ratio between viscose and sodium sulfate is 1:2 and 1 % Cotton fiber are appropriate for used as substrate for growing plants.

Suwanna Lamaiin

Student's signature

Sirikalaya Suvachittanont

Thesis Advisor's signature

21 / 5 / 51

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ ประธานกรรมการ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ รองศาสตราจารย์ไพศาล คงกาญจนาย กรรมการวิชาเอก ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำเพิ่มเติมสำหรับการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยติดต่อประสานงาน และให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และสถานที่ในการทำงานวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวัดค่า Tensile Strength ตลอดจนผู้มีส่วนช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สถาบันพัฒนาและวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการพัฒนานวัตกรรมและวิจัยด้านวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ADB) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุวรรณา ละม้ายอินทร์

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	41
ผลและวิจารณ์	47
สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุป	74
ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	76
ภาคผนวก	79
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	87

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณต่อชั่งและฟางข้าวในแต่ละภาคของประเทศไทย	4
2	องค์ประกอบทางเคมีในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรบางชนิด	5
3	สมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของเซลลูโลส	20
4	รายละเอียดกระบวนการผลิตวิสคอส	25
5	ปริมาณสารเคมีและเวลาในการบ่มของวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมวิสคอส	35
6	ส่วนผสมของวิสคอสในสัดส่วนโดยปริมาตร	35
7	ปริมาณเซลลูโลสที่สกัดได้จาก Sugar Beet	38
8	สภาวะต่างๆที่ใช้ในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ	44
9	องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว	47
10	องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิต่างๆ	48
11	ผลของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ	54
12	ผลการพองตัวของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ	58
13	ผลปริมาณน้ำผูกพันของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ	63
14	ผลการทนต่อแรงดึงของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ	67

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ฟางข้าวที่ได้จากภาคเกษตรกรรม	4
2 ส่วนประกอบในผนังเซลล์พืช	7
3 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	7
4 การเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนในเซลลูโลส	8
5 การเรียงตัวของโมเลกุลที่เรียงตัวเป็นระเบียบและมีทิศทางขนานไปตามแกนของเส้นใย	9
6 การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลต่ำหรือเรียงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ	9
7 โครงสร้างของเซลโลไบโอสยูนิต	10
8 โครงสร้างของผนังเซลล์พืช	11
9 องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์พืช	12
10 รูปแบบความเป็นผลึกของเซลลูโลสทั้ง 4 ชนิดจากเครื่อง XRD.	13
11 สูตรโครงสร้างแบบ Fischer ของน้ำตาล D-Glucose	14
12 โครงสร้างหน่วยโมเลกุลซ้ำของเซลโลไบโอส	15
13 สูตรโครงสร้างของแอลฟาไกลูโคสและเบต้าไกลูโคส	15
14 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส โดยแสดงการจัดเรียงตัวเป็นแบบเก้าอี้	15
15 พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล	16
16 สูตรโครงสร้างของไซแลน และกลูโคแมนแนนในไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน	22
17 สูตรโครงสร้างของลิกนินที่พบในธรรมชาติ	23
18 สูตรโครงสร้างของ N-Methylmorpholine-N-Oxide	24
19 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลสแซนเทต	25
20 กระบวนการเตรียมของผสมหนืด (Viscose Progress t)	31
21 ร้อยละของเซลลูโลสในฟางข้าวหลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ร้อยละของเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวหลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ	50
23	ร้อยละของลิกนินในฟางข้าวหลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ	51
24	ผลการปรับสภาพฟางข้าวโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	52
25	ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้จากการใช้ฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ	53
26	ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้จากการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว	50
27	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:1	55
28	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2	55
29	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 3	56
30	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 4	56
31	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 5	57
32	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 6	57
33	ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:1	59
34	ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
35 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 3	60
36 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 4	61
37 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 5	61
38 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 6	62
39 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่ อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:1	64
40 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่ อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2	64
41 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 3	65
42 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 4	65
43 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 5	66
44 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 6	66
45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่ อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:1	68
46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่ อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
47	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 3	69
48	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 4	70
49	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 5	70
50	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 6	71
51	ลักษณะทางกายภาพของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ	72
52	การทดลองปลูกผักกาดหอมในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ และในดิน	73
53	การทดลองปลูกถั่วงอกในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ	74

นวัตกรรมการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าวเพื่อใช้เป็น วัสดุปลูกพืชแทนการใช้ดิน

Innovative Production of Cellulose Sponge from Rice Straw to Replace Soil as a Substrate for Growing Plants

คำนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตร โดยเฉพาะการปลูกข้าว ทำให้มีปริมาณฟางข้าวเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เกษตรกรนิยมกำจัดฟางข้าวโดยการเผาทิ้ง เนื่องจากการเผาฟางข้าวเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกที่สุดในการจัดการ และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากหากจัดการในรูปแบบอื่นต้องมีการใช้แรงงานและลงทุนสูง นอกจากทำลายความอุดมสมบูรณ์ของดินในนาข้าวแล้ว ยังอาจเป็นต้นเหตุของไฟป่า ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายตามมาอย่างมากมายมหาศาล โดยเฉพาะการเกิดภาวะโลกร้อน การเผาฟางเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เขม่าควัน เถ้า ฝุ่นละออง ที่เกิดจากการเผาไหม้สามารถแพร่กระจายออกไปในวงกว้าง ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ และบดบังทัศนวิสัยจนอาจเป็นสาเหตุของอุบัติเหตุบนท้องถนนหรือเป็นต้นเหตุของการเกิดไฟป่าได้ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายตามมาอย่างมากมาย หากเราสามารถนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นที่สามารถเพิ่มมูลค่าได้ ก็จะเป็นหนทางที่ดี ในปัจจุบันจึงได้มีการค้นคว้าหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากฟางข้าวอย่างต่อเนื่อง เช่น การนำฟางข้าวมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทานอล ใช้ผลิตสารให้ความหวาน ไซลิทอล (Xylitol) ใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ใช้เป็นวัสดุทางการเกษตร เช่น ปุ๋ย ใช้ปรับปรุงดิน และการใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งให้เซลล์ลูโลส เพื่อนำไปแปรรูปด้วยปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งเป็นการนำวัสดุที่มีปริมาณมากเกินพอจนก่อให้เกิดปัญหาหลายด้านแก้ถึงคนนั้น มาเปลี่ยนเป็นวัสดุที่มีประโยชน์ และช่วยเพิ่มมูลค่า นอกจากจะช่วยลดปัญหาแล้ว ยังก่อให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

จากสาเหตุดังกล่าวจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการศึกษาค้นคว้าทดลองนำฟางข้าวไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกพืชแทนการใช้ดิน เนื่องจากการปลูกพืชในวัสดุปลูกนั้นสามารถทำการเพาะปลูกได้ในบริเวณที่สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม ประหยัดเวลา และแรงงานในการเตรียมดินใช้ปลูกพืช ใช้น้ำและสารอาหารได้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจะมีคุณสมบัติช่วยดูดซับน้ำได้ดี ช่วยให้น้ำไม่ไหล

ออกไปในทันที สามารถลดปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในแต่ละครั้งได้ เมื่อนำฟางข้าวซึ่งมีเส้นใยธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลักมาแปรรูป นอกจากจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติแล้ว ยังถือว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่มีมูลค่าต่ำอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพฟางข้าวก่อนนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ
3. ทดลองปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ผลิตจากฟางข้าวแทนการปลูกลงดิน

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพฟางข้าวก่อนนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ปริมาณเซลล์โลสในวัสดุ ปริมาณของโซเดียมซัลเฟต และปริมาณเส้นใยฟางที่ใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง
3. ศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) การพองตัว (Swelling) ปริมาณน้ำผูกพัน (Bound Water) การทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)
4. นำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมาทดลองปลูกพืช

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หากประสบผลสำเร็จจะสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่มีมูลค่าต่ำ และสามารถใช้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้เป็นวัสดุปลูกพืชแทนการใช้ดิน เนื่องจากการปลูกพืชในวัสดุปลูกนั้นสามารถทำการเพาะปลูกได้ในบริเวณที่สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม อีกทั้งประเทศไทยเป็นเมืองร้อน ทำให้น้ำระเหยไปได้ง่าย การปลูกพืชในวัสดุปลูกที่มีลักษณะเป็นฟองน้ำ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี

การตรวจเอกสาร

ฟางข้าว

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 65 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งประเทศ ได้ผลิตข้าวจำนวน 24 ล้านตัน และปริมาณมีฟางข้าวเฉลี่ยประมาณปีละ 25.45 ล้านตัน ดังนั้นปริมาณฟางข้าวที่เกิดขึ้นในแต่ละปีจึงมีปริมาณที่สูงมาก โดยปริมาณฟางข้าวจะมีมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ จำนวน 13.79 ล้านตันต่อปี รองลงมา คือ ภาคกลางและภาคตะวันออก มีจำนวนฟางข้าว 6.21 ล้านตันต่อปี แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ฟางข้าวที่ได้จากภาคเกษตรกรรม

ตารางที่ 1 ปริมาณตอซังและฟางข้าวในแต่ละภาคของประเทศไทย (ล้านตันต่อปี)

ภาค	ฟางข้าวนาปี	ฟางข้าวนาปรัง	รวม
เหนือ	4.24	0.19	4.43
ตะวันออกเฉียงเหนือ	13.61	0.18	13.79
กลางและตะวันออก	5.01	1.20	6.21
ใต้	0.95	0.07	1.02
ปริมาณรวม	23.81	1.64	25.45

ฟางข้าวเป็นองค์ประกอบประเภทลิกโนเซลลูโลส จากการวิเคราะห์สารอินทรีย์ของฟางข้าว พบว่า องค์ประกอบหลักที่ถือเป็นองค์ประกอบโครงสร้างของผนังเซลล์พืชทั่วไปมี 3 ชนิด คือ

เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) องค์ประกอบส่วนใหญ่จะมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ขึ้นอยู่กับอายุ สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต และพืชต่างชนิดกันจะมีปริมาณองค์ประกอบแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรบางชนิด

Materials	Percentage of Dry Matter		
	Cellulose	Hemicellulose	Lignin
Cereals Straws			
Barley	40.7	23.8	8.0
Rice	39.6	34.3	6.3
Sorghum	42.2	31.6	7.6
Wheat	43.2	22.4	9.5
Legume Straws			
Cowpea	27.8	13.2	14.2
Lupin	53.2	13.4	15.3
Tropical by Products			
Sugarcane Bagasse	38.4	34.2	10.8
Sugarcane Tops	25.7	25.7	7.5

ที่มา: ระวีวรรณ (2538)

เซลลูโลส

เซลลูโลส เป็นองค์ประกอบหลักที่มีความสำคัญที่สุดในพืช เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน 44.4 % ไฮโดรเจน 6.2 % และออกซิเจน 49.4 % (วีระศักดิ์, 2543) โดยธรรมชาติจะไม่พบเซลลูโลสในรูปอิสระแต่มักอยู่รวมกับเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน แสดงดังภาพที่ 2 และมีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยขึ้นพื้นฐานซึ่งเรียกว่า Anhydro-D-Glucose ($C_6H_{10}O_5$) ต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว ดังภาพที่ 3 โดยในแต่ละหน่วยของกลูโคสจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน

ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันยาวเป็นสายโซ่ที่ยาว ทำให้ไม่ละลายน้ำเหมือนกับที่เกิดกับน้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนี้นับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย กล่าวคือ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี อีกทั้งเป็นจุดที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยากับกรดอะซิดิกได้เป็นเซลลูโลสอะซิเตต หรือเส้นใยประดิษฐ์ชนิดอะซิเตตนั่นเอง ลักษณะการเรียงตัวเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวทำให้มีความแข็งแรงสูงตามไปด้วย นอกจากนี้แล้วในโครงสร้างบริเวณที่เป็นการต่อกันของธาตุ -C-O-C- จะเป็นบริเวณที่ถูกทำลายได้ด้วยผลจากการเกิดออกซิเดชัน หรือจากการถูกทำลายด้วยสภาพภูมิอากาศ ทำให้โมเลกุลยาวขาดลง กลายเป็นส่วน เล็ก ๆ คล้ายน้ำตาลและสลายกลายเป็นอาหารของพืชและสัตว์ต่อไป

สายโซ่โมเลกุลยาวของกลูโคสที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถทำการตรวจวิเคราะห์ได้โดยดูจากค่าของน้ำหนักโมเลกุล ในกรณีของฝ้ายมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 100,000 ไปจนถึง 1-2 ล้าน ส่วนของลินิน ป่านและปอ อาจมีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 6 ล้าน เส้นใยเรยอนที่เป็นเส้นใยประดิษฐ์มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 20,000 – 230,000 หรือเยื่อกระดาษมีน้ำหนักโมเลกุลเพียงประมาณ 4,000 เท่านั้น น้ำหนักโมเลกุลนี้โดยทั่วไปมักจะคำนวณในลักษณะของค่าเฉลี่ยจากหน่วยย่อยที่เป็นกลูโคส แล้วคูณด้วยจำนวนหน่วยย่อยที่ซ้ำกัน ทำให้สามารถเขียนสูตรทางเคมีทั่วไปของเซลลูโลสได้เป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ โดย n คือ ค่าระดับขั้นของการเกิดโพลิเมอร์ ค่า n ยิ่งมากน้ำหนักโมเลกุลยิ่งสูงถึงแม้เส้นใยเซลลูโลสในธรรมชาติมีอยู่มากมายหลายชนิดก็ตาม แต่เนื่องจากทุกชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีในหน่วยย่อยที่เหมือนกันคือน้ำตาลกลูโคส ดังนั้นจึงทำให้สมบัติของเซลลูโลสเหมือนกัน

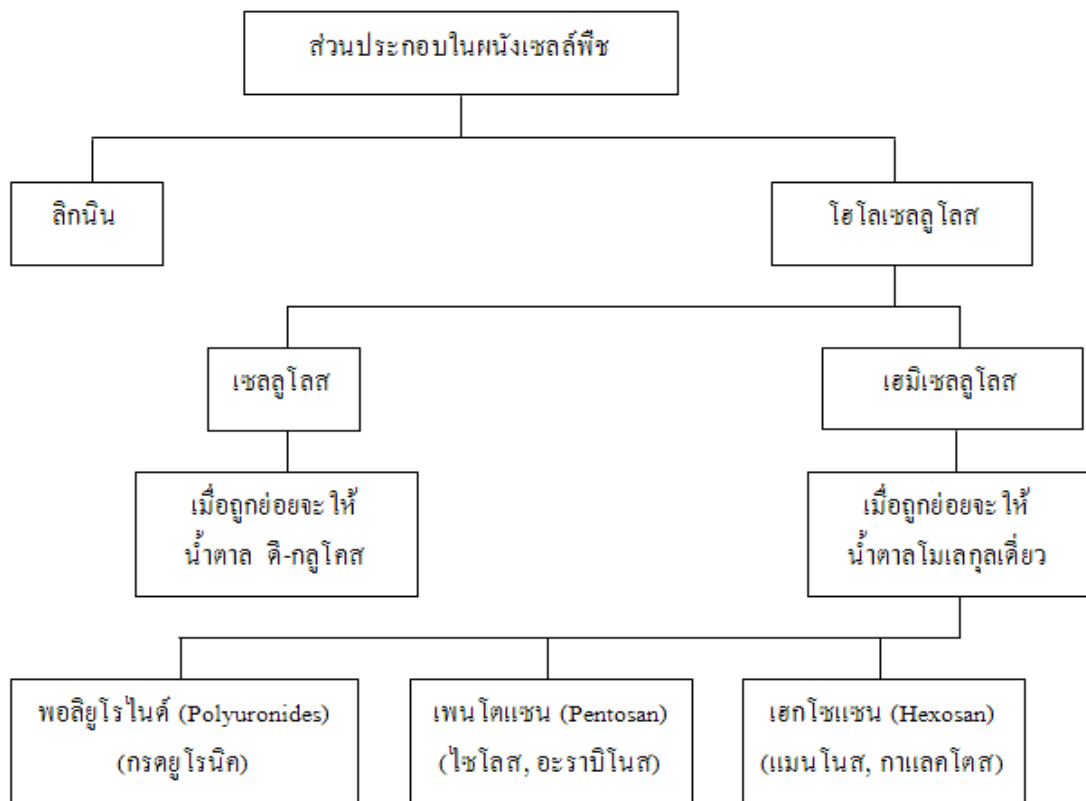
สมบัติต่าง ๆ ของเซลลูโลสในธรรมชาติ

1. เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -(1,4) Glycosidic Linkage
2. เซลลูโลสเกิดจากการประกอบกันด้วยน้ำตาล โมเลกุลเดียวชนิดเดียว คือ กลูโคส
3. เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง และมีองศาการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์สูง

(Degree of Polymerization ; DP)

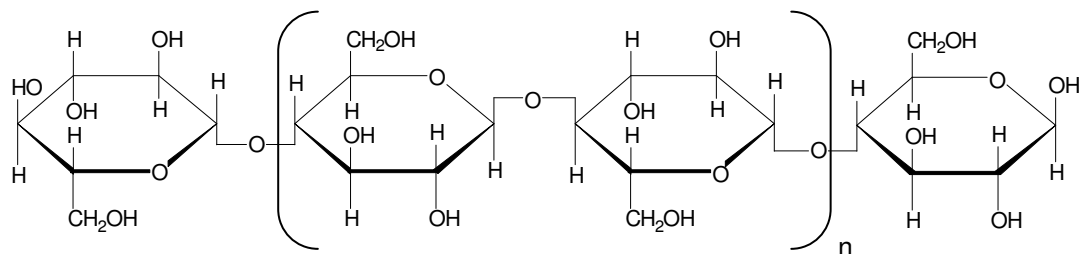
4. เซลลูโลสจะมีลักษณะเป็นเส้นด้ายยาวเรียกว่าไมโครไฟบริล (Microfibril)
5. มีคุณสมบัติที่เหมือนกันทั้งในไม้เนื้ออ่อน (Soft Wood) และในไม้เนื้อแข็ง (Hard Wood)

6. เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์เส้นตรงไม่มีกิ่งแขนง (Side Chain) เพราะฉะนั้น เซลลูโลสจึงไม่ละลายในน้ำ



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบในผนังเซลล์พืช

ที่มา: ระวีวรรณ (2538)



ภาพที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

ที่มา : Herbert (2006)

เซลลูโลสที่พบในธรรมชาติจะเชื่อมอยู่กับพอลิแซ็กคาไรด์อื่นๆ ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ในผนังชั้นที่ 2 (Secondary Wall) ของพืชเป็นชั้นที่พบเซลลูโลสหนาแน่นที่สุด ส่วนลิกนิน จะพบมากในชั้น Middle Lamella หรือช่องว่างระหว่างไฟเบอร์ในผนังเซลล์ของพืช เซลลูโลสจะเรียงตัวเป็นกลุ่มยาว เรียกว่าไมโครไฟบริล แต่ละสายของไมโครไฟบริลจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ดังภาพที่ 4 ในเส้นใยธรรมชาติจะมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลทั้งแบบที่เป็นระเบียบและแบบที่ไม่เป็นระเบียบ โดยบริเวณที่โมเลกุลของเซลลูโลสจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่าบริเวณที่เป็นผลึก (Crystalline) แสดงดังภาพที่ 5 คือบริเวณที่พอลิเมอร์เรียงตัวชิดกัน สายโมเลกุลจะยึดตรงเรียงขนานทำให้มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลน้อย พันธะเคมีที่ยึดระหว่างโมเลกุลด้านข้างเกิดขึ้นได้มาก ลักษณะการเรียงตัวขนานเป็นระเบียบของพอลิเมอร์ เรียกว่า ลักษณะแนวผลึก (Crystalline Region) การเรียงตัวขนานกันของโมเลกุลอาจอยู่ในลักษณะขนานไปกับแกนของเส้นใย หรือไม่ขนานกับแนวแกนของเส้นใย พอลิเมอร์ที่มีความยาวมากก็จะมีส่วนที่เกิดบริเวณแนวผลึกมาก บางส่วนของโมเลกุลจากแนวผลึกหนึ่งอาจจะเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ แล้วไปจัดเรียงเป็นระเบียบกับอีกกลุ่มพอลิเมอร์ได้ ทำให้เกิดลักษณะการเรียงตัวเป็นระเบียบปะปนกับการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ส่วนในบริเวณที่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบเรียกว่าบริเวณที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous Region) แสดงดังภาพที่ 6 พอลิเมอร์จะเรียงตัวระเกะระกะ สายพอลิเมอร์อาจบิดตัวโค้งงอหรือพาดทับไปบนอีกพอลิเมอร์ ทำให้เกิดมีที่ว่างระหว่างโมเลกุลมากกว่าแบบที่เป็นระเบียบ พันธะเคมีที่ยึดจับด้านข้างของโมเลกุลก็จะมีน้อยกว่าบริเวณดังกล่าวจะทำให้เส้นใยมีการยืดตัวได้และส่วนที่เป็นอสัณฐานนี้ถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าบริเวณที่เป็นผลึก (มณฑา, 2542)



ภาพที่ 4 การเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนในเซลลูโลส

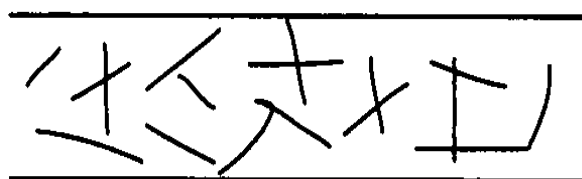
คำว่าเซลลูโลสบริสุทธิ์ เป็นการเรียกเซลลูโลสชนิดแอลฟาเซลลูโลส (α -Cellulose) คือเซลลูโลสที่ไม่สามารถละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 ส่วนเซลลูโลสชนิดเบต้าเซลลูโลส (β -Cellulose) และแกมมาเซลลูโลส (γ -Cellulose) จะไม่ใช่เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ โดยเบต้าเซลลูโลสนั้นเป็นส่วนหนึ่งของแอลฟาเซลลูโลสที่ถูกทำให้องศาการ

เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ลดลง ซึ่งเบต้าเซลลูโลสสามารถละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 แต่สามารถตกตะกอนได้ง่ายในสภาพที่เป็นกรด ส่วนแอมมวเซลลูโลสสามารถละลายได้ในทุกสภาพความเป็นกรดและด่าง และถูกคิดว่าเป็นส่วนของเฮมิเซลลูโลส เช่น ไซแลน (Xylans) แมนแนน (Mannans) และ กาแลคแทน (Galactans) เป็นต้น



ภาพที่ 5 การเรียงตัวของโมเลกุลที่เรียงตัวเป็นระเบียบและมีทิศทางนานไปตามแกนของเส้นใย

ที่มา: นวลแข (2542)



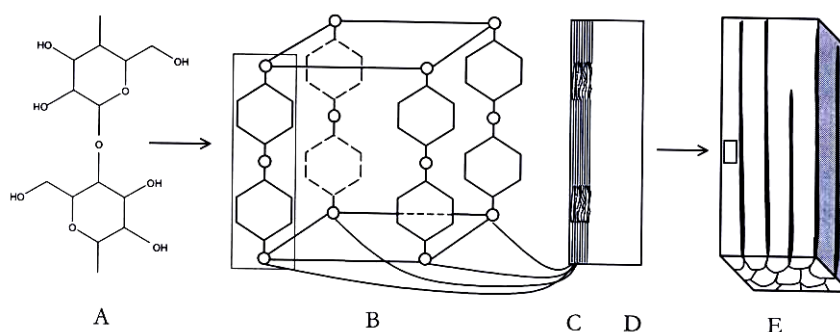
ภาพที่ 6 การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลค้ำหรือเรียงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ

ที่มา: นวลแข (2542)

โดยปกติพบว่าเซลลูโลสธรรมชาติหรือเนทีฟเซลลูโลส (Native Cellulose) คือเซลลูโลสที่ได้มาจากธรรมชาติยังไม่ได้มีการปรับปรุงคุณภาพใด ๆ ส่วนคำว่ารีเจนเนอเรตเซลลูโลส (Regenerated Cellulose) คือเซลลูโลสที่ตกตะกอนออกมาจากสารละลายซึ่งโดยทั่วไปเป็นสารละลายด่าง ส่วนคำว่าโฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) คือส่วนที่เป็นผนังเซลล์ของพืชที่ได้ถูกกำจัดส่วนที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต หรือลิกนินออก (Holocellulose = Cellulose + Hemicellulose) และคำว่าเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) คือ ส่วนที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharine) ซึ่งถูกสกัดได้ง่ายด้วยสารละลายด่างเจือจาง

1. โครงสร้างทางกายภาพ

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเซลลูโลสเกิดจากการรวมตัวกันของหน่วยซ้ำของเซลโลไบโอสยูนิต และเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-glycosidic แสดงดังภาพที่ 7

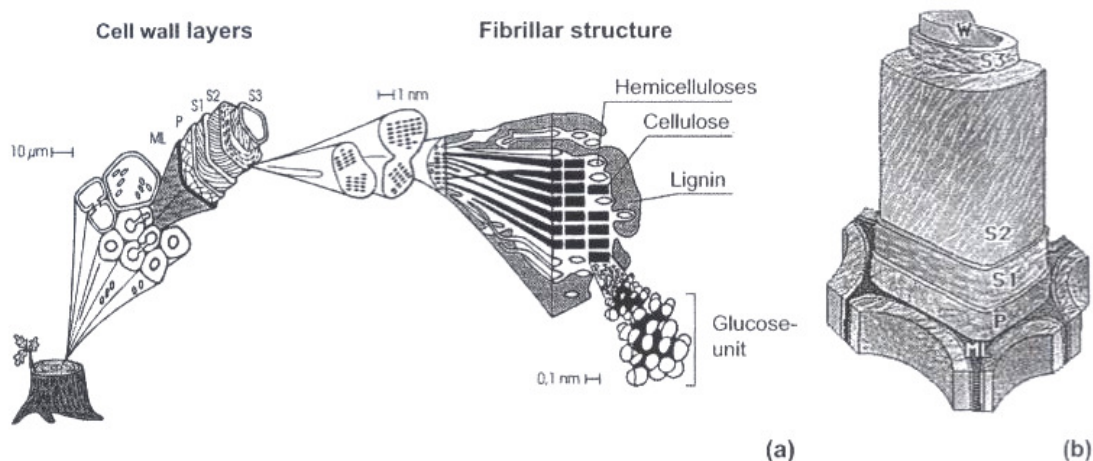


ภาพที่ 7 (A) เซลโลไบโอสยูนิต (B) ยูนิตเซลลูล์ขนาดใหญ่ (C) รูปแบบส่วนที่เป็นผลึก (D) ส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานปะปนกันอยู่ในไมโครไฟบริล (E) ไฟบริล

ที่มา: Luukkonen (2001)

1.1 โครงสร้างเส้นใยของเซลลูโลส

เซลลูโลสที่พบในธรรมชาติจะเชื่อมอยู่กับพอลิแซ็กคาไรด์อื่นๆ ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่า ผนังเซลล์พืชประกอบด้วย ผนังเซลล์ชั้นแรก P (Primary Wall) และส่วนทั้งสามของผนังเซลล์ชั้นที่สอง (Secondary Wall) คือ S1, S2 และ S3 ประกอบด้วยเซลลูโลสที่รวมตัวกันเป็นมัดเรียกว่าไมโครไฟบริล (Microfibril) ในผนังเซลล์ชั้นแรก ไมโครไฟบริลของเซลลูโลสมีโครงสร้างซับซ้อนไขว้กันอย่างไม่เป็นระเบียบคล้ายร่างแห ที่ผนังเซลล์ชั้นแรกนี้ยังประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีปริมาณมากกว่าเซลลูโลสอีกด้วย ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์แต่ละชั้นแสดงดังภาพที่ 9 ในผนังเซลล์ชั้นที่สอง ไมโครไฟบริลของเซลลูโลสในส่วนนอกสุด (S1) จะจัดเรียงตัวเป็นสองกลุ่ม ในทิศทางตรงข้ามกัน ซ้อนบดกันไปมาเป็นเกลียว (Spirals) ผนังเซลล์ส่วนกลางของชั้นที่สอง (S2) เป็นส่วนที่มีความหนาแน่นมากกว่าเนื่องจากมีเซลลูโลสรวมตัวกันอยู่หนาแน่นกว่าบริเวณอื่นของเซลล์ ประกอบด้วยเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นเกลียว ระหว่างไมโครไฟบริลจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน



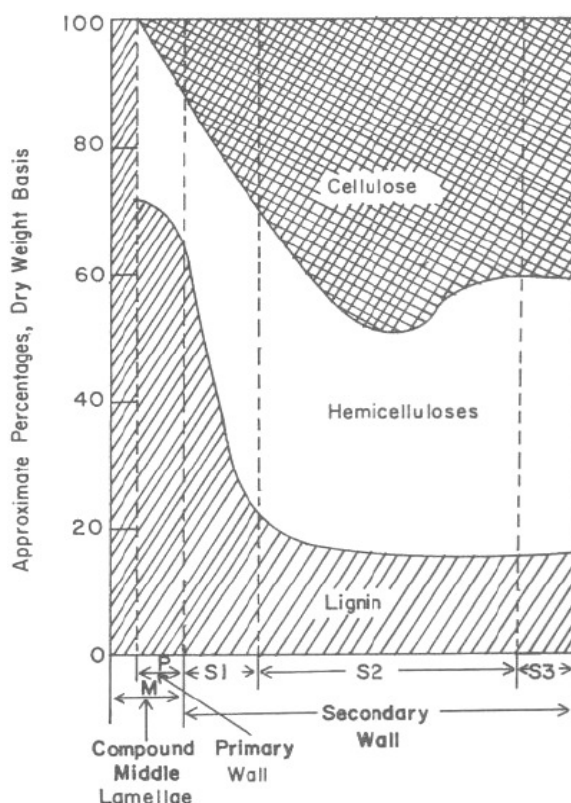
ภาพที่ 8 (a) แต่ละชั้นของผนังเซลล์ และองค์ประกอบทางเคมี (b) โครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลส
ML คือ Middle Lamella; P คือ ผนังเซลล์ชั้นแรก; S คือ ผนังเซลล์ชั้นที่ 2 (S1, S2, S3)

ที่มา: Herbert (2006)

1.2 โครงสร้างผลึก

จากที่ทราบมาแล้วว่า โมเลกุลขนาดใหญ่ภายในเส้นใยเซลลูโลสจะไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งโครงสร้างของเซลลูโลส โดยจะมีส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก และส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย โดยส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย จะเรียกว่าส่วนที่เป็นอสัณฐาน ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะถูกเรียกว่าส่วนที่เป็นผลึก

การทดลองในปัจจุบันได้แสดงให้เห็นว่า การแปลผลโดยใช้แบบจำลองที่มี 2 เฟส (Two Phases Model) ซึ่งมีสมมุติฐานว่ามีแค่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นอสัณฐานและส่วนที่เป็นผลึก โดยจะไม่คำนึงถึงปริมาณวัตถุที่อยู่ระหว่างบริเวณส่วนที่เป็นผลึกและบริเวณที่เป็นอสัณฐาน ซึ่งจะมีปริมาณค่อนข้างน้อย โดยส่วนที่เป็นผลึกปกติจะสามารถวัดได้จากการวัดการกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์เรย์ หรือสามารถหาค่าได้จากค่าสเปกตรัมจากนิวเคลียสแมกเนติกเรโซแนนซ์ (NMR) และค่าองศาความเป็นผลึก (Degree of Crystallinity) โดยปกติจะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40 - 60 โดยการหาจะหาคอบคลุมจากช่วงกว้างของการตรวจวัดที่ต้องการหา และค่าองศาความเป็นผลึกจะขึ้นกับชนิดของตัวอย่างและขั้นตอนการเตรียมของตัวอย่าง



ภาพที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์พืช

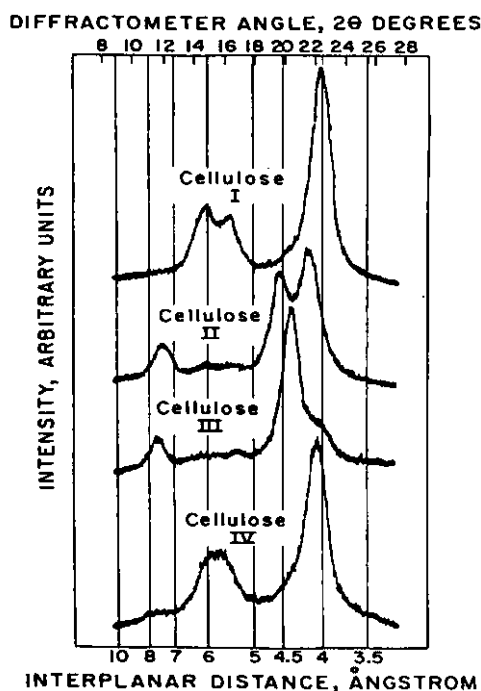
ที่มา: Navard (2006)

1.3 รูปร่างของเซลลูโลสชนิดต่าง ๆ

เซลลูโลสในปัจจุบันสามารถแบ่งรูปแบบของโครงสร้างผลึกออกได้เป็น 4 รูปแบบ คือ เซลลูโลส I, II, III และ IV โดยเซลลูโลส I หรือเนทีฟเซลลูโลส (Native Cellulose) คือ เซลลูโลสที่ได้มาจากธรรมชาติยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพใด ๆ เซลลูโลส II คือ เซลลูโลสที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นประมาณ 17 - 20 % โดยกระบวนการนี้ เรียกว่า กระบวนการเมอร์เซอร์ไรเซชัน (Mercerization Progress) ซึ่งกระบวนการเมอร์เซอร์ไรเซชันเป็นกระบวนการที่ใช้เปลี่ยนรูปแบบของเซลลูโลส I กลายเป็นเซลลูโลส II โดยปกติทั่วไป กระบวนการนี้จะไม่ผันกลับ เซลลูโลส III คือ เซลลูโลสที่ผ่านการแช่เซลลูโลส I หรือ เซลลูโลส II ในแอมโมเนีย ภายใต้อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส และทำให้แอมโมเนียระเหย และเซลลูโลส IV

คือ เซลลูโลสที่เกิดจากแซ่เซลลูโลส I เซลลูโลส II หรือ เซลลูโลส III ในของเหลวที่เหมาะสมที่อุณหภูมิสูง (Klemm, 1998)

การศึกษาถึงความเป็นผลึกของเซลลูโลส จะอาศัยเครื่องมืออินฟราเรดสเปกโตรโกปี (Infrared Spectroscopy) และการกระจาย (Diffraction) ของรังสีเอ็กซ์ และการจัดเรียงตัวของเซลลูโลสในพืช แสดงให้เห็นว่าเซลลูโลสถูกจัดเรียงอยู่ในส่วนของโครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบกับส่วนอสัณฐานที่มีการจัดเรียงตัวต่ำ และอยู่กันอย่างกระจัดกระจายทั่วไป ในการวิเคราะห์ด้วยรังสีเอ็กซ์ (X-ray Analysis) แสดงให้เห็นว่าเนทีฟเซลลูโลส I มีหน่วยเซลล์เป็นแบบโมโนคลินิก (Monoclinic) ซึ่งสามารถถูกทำให้แตกตัวโดยการพองตัว (Swelling) ในสารละลายต่างเข้มข้น รูปแบบของความเป็นผลึกของเซลลูโลสทั้ง 4 ชนิดที่ได้ศึกษาจากเครื่อง XRD แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 รูปแบบความเป็นผลึกของเซลลูโลสทั้ง 4 ชนิดจากเครื่อง XRD.

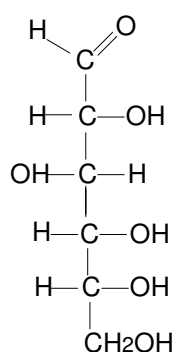
ที่มา: O'Connor (1972)

เนื่องจากในส่วนที่เป็นผลึก จะมีความเป็นระเบียบสูง และมีพันธะไฮโดรเจน น้ำจึงไม่สามารถผ่านหรือแทรกเข้าไปในส่วนนี้ได้ อย่างไรก็ตาม สารละลายต่างเข้มข้นหรือสารเคมี

อื่นสามารถทำให้เซลลูโลสจากธรรมชาติพองตัว หรือสามารถเข้าไปแทรกตัวได้อย่างสมบูรณ์ ปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเซลลูโลส ทำให้เกิดเป็นสารประกอบอัลคาไลน์เซลลูโลส (Alkali Cellulose) เมื่อทำให้เซลลูโลส I เกิดเป็นสารประกอบอัลคาไลน์เซลลูโลส เมื่อล้างและทำให้แห้งแล้ว พบว่าเซลลูโลส I จะเปลี่ยนไปเป็นเซลลูโลส II (Nissan, 1986)

2. โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

หน่วยพื้นฐานของเซลลูโลส คือ โมโนแซ็กคาไรด์ (Monosaccharine) D-Glucose ที่มีสูตรทางเคมี $C_6H_{12}O_6$ สามารถแสดงสูตรโครงสร้างของ Fischer ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 สูตรโครงสร้างแบบ Fischer ของน้ำตาล D-Glucose

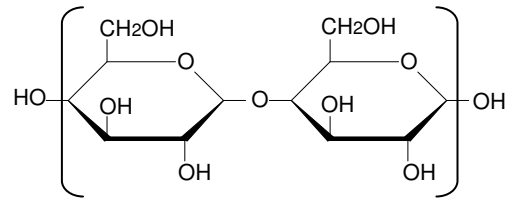
ที่มา: Nissan (1986)

2.1 โมโนเมอร์ยูนิตของเซลลูโลส

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าโมเลกุลของเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat Unit) ยึดจับกันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลที่ซ้ำกันคือ เซลโลไบโอส (Cellobiose) จะเกิดจากเบต้ากลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ $-C-O-C-$ แสดงดังภาพที่ 12

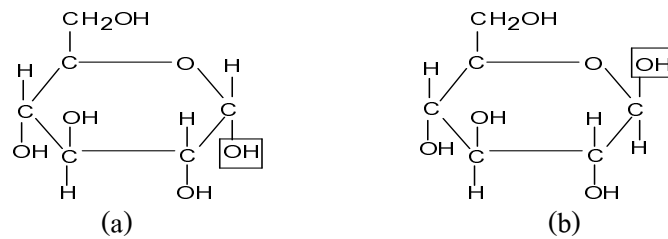
เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่ไม่มีกิ่งก้านสาขา โดยเกิดจากกลูโคสหลายโมเลกุลเรียงต่อกัน แต่ละโมเลกุลจับกันด้วยพันธะไกลโคสิติก (Glycosidic Bond) ระหว่างคาร์บอนตัวที่หนึ่งของกลูโคสกับคาร์บอนตัวที่สี่ของกลูโคสตัวถัดไป โดยลักษณะการเชื่อมโยงของพันธะไกลโคสิติก จะเป็นแบบ แอลฟา (Alpha) หรือ เบต้า (Beta) ขึ้นอยู่กับหมู่ไฮ

ดรอกซิล (Hydroxyl Group, - OH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 แสดงดังภาพที่ 13 เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตัวที่หนึ่งอยู่ในตำแหน่งเบต้า จึงเรียกพันธะนี้ว่า เบต้า-1, 4-ไกลโคซิดิก (β -1,4-Glycosidic Bond)



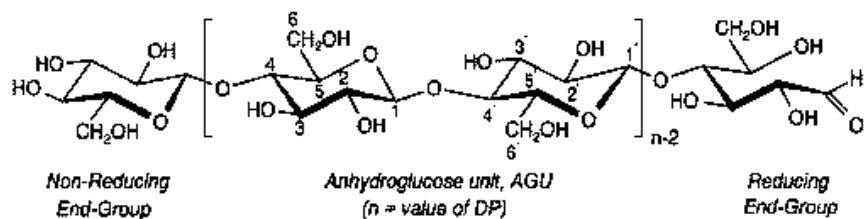
ภาพที่ 12 โครงสร้างหน่วยโมเลกุลซ้ำของเซลลูโลส

ที่มา: Nissan (1986)



ภาพที่ 13 สูตรโครงสร้างของกลูโคส (a) แอลฟากลูโคส (b) เบต้ากลูโคส

ที่มา: Nissan (1986)

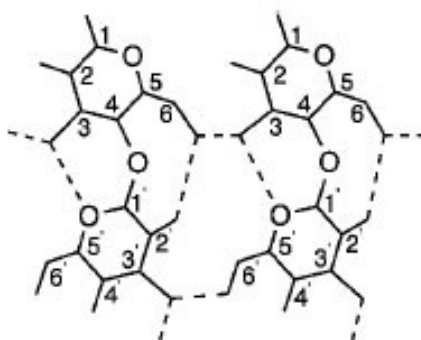


ภาพที่ 14 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส โดยแสดงการจัดเรียงตัวเป็นแบบเก้าอี้

ที่มา: Klemm (1998)

2.2 พันธะไฮโดรเจน

พันธะไฮโดรเจนภายในเซลลูโลสจะมีการจับพันธะกันได้สองรูปแบบ คือ การจับพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล (Intramolecular Hydrogen Bonding) และการจับพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (Intermolecular Hydrogen Bonding) พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของเซลลูโลส เป็นพันธะที่จับกันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-3 ของกลูโคสตัวที่หนึ่งกับออกซิเจน O-5 ที่ตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน และมีพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลอีกหนึ่งตำแหน่งจับกันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-6 และ C-2 ที่โมเลกุลกลูโคสใกล้เคียง ดังภาพที่ 15 พันธะไฮโดรเจนไม่ได้ส่งผลเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพเท่านั้น แต่ส่งผลถึงความว่องไวต่อปฏิกิริยาทางเคมีด้วย ปฏิกิริยา เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ที่ตำแหน่ง C-6 ในโมเลกุลของกลูโคส เร็วกว่าที่ตำแหน่งอื่นถึง 10 เท่า ปฏิกิริยา อีเทอร์ริฟิเคชัน (Etherification) ที่ตำแหน่ง C-2 เร็วกว่าที่ตำแหน่ง C-6 ในโมเลกุลของกลูโคส จะเห็นได้ชัดเจนว่าความว่องไวของปฏิกิริยาที่ตำแหน่ง C-6 ในโมเลกุลของกลูโคสแตกต่างกัน เนื่องจากการหมุนแบบไอโซเมอร์ (Rotational Isomer) ที่พันธะระหว่างตำแหน่ง C-5 และ C-6 ในโมเลกุลของกลูโคส



ภาพที่ 15 พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล

ที่มา: Klemm (1998)

3. คุณสมบัติของเซลลูโลส (Nissan, 1986)

3.1 คุณสมบัติการดูดซับ (Absorption)

เนื่องจากในเซลลูโลสมีหน่วยย่อย คือ กลูโคส ทำให้เซลลูโลสมีความสามารถในการดูดและคายไอน้ำ และของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ซึ่งสมดุลของ

ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสจะเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบๆ การดูดซับน้ำในเซลลูโลสมีความสำคัญต่อกระบวนการการดูดซับ และเป็นกระบวนการทั่วๆ ของกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ หรืออุตสาหกรรมเส้นใย การดูดซับน้ำโดยเซลลูโลสพบได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน

3.2 การพองตัว (Swelling)

การพองตัวของเซลลูโลสโดยน้ำและสารอื่นๆ จะลดความเป็นผลึกและเพิ่มความสามารถในการเข้าถึงได้ในการทำปฏิกิริยาทางเคมี การปรับปรุงด้วยเอนไซม์ และการเสื่อมสภาพของเซลลูโลส

เซลลูโลสจะค่อยๆ พองตัวอย่างช้าๆ เมื่อสัมผัสกับน้ำ เมื่อนำเซลลูโลสที่แห้งมาตั้งทิ้งไว้ในพื้นที่ควบคุมและให้ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงร้อยละ 100 เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 20 - 25 ถ้านำเส้นใยดังกล่าวนี้มาจุ่มลงในน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลางก็จะยังสามารถเพิ่มขึ้นได้อีกถึงร้อยละ 20-25 ซึ่งการเพิ่มขนาดของเส้นใยนี้จะเป็นไปในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าที่จะเกิดในแนวตามยาว

การพองตัวของเซลลูโลสสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การพองตัวระหว่างผลึก (Intercrystalline Swelling) และการพองตัวภายในผลึก (Intracrystalline Swelling) โดยการพองตัวระหว่างผลึกจะมีสาเหตุมาจากการแทรกตัวอยู่ของส่วนที่เป็นอสัณฐานระหว่างผลึก ส่วนการพองตัวภายในผลึก จะมีสาเหตุมาจากการแทรกตัว และการแตกกระจายของส่วนที่เป็นผลึกในโมเลกุลของเซลลูโลส

ความสามารถของสารละลายในการทำให้เซลลูโลสพองตัวได้ โดยทั่วไป จะเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ < น้ำ < เกลือ < กรด < ด่าง โดยสารละลายอินทรีย์สามารถทำให้เซลลูโลสเกิดการพองตัวระหว่างผลึกได้แก่ เมทานอล เอทานอล อะนิลีน เบนซิลดีไฮด์ และไนโตรเบนซีน สารเหล่านี้สามารถทำให้เซลลูโลสเกิดการพองตัวได้น้อยกว่าน้ำ เนื่องจากความมีขั้วของสาร ถ้าสารมีความเป็นขั้วสูง จะมีความสามารถในการทำให้เซลลูโลสพองตัวได้มากกว่าการพองตัวระหว่างผลึก สามารถสังเกตได้จากการที่ผ่านลำแสงของรังสีเอ็กซ์เรย์นั้น จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลังจากเซลลูโลสเกิดการพองตัว และส่วนโครงสร้างผลึกที่สำคัญของ

เซลลูโลสยังคงอยู่ แต่เป็นส่วนอสังฐานที่ทำให้เกิดการทำให้ปฏิกิริยาเคมี หรือเกิดการแตกออก ทำให้สารที่เข้าทำปฏิกิริยาสามารถเข้าถึงได้

การพองตัวของเซลลูโลส จะมีการเปลี่ยนรูปร่างของรังสีเอ็กซ์เรย์เมื่อผ่านลำแสงเข้าไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างนั้นๆ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด ถ้าสารที่ทำให้เซลลูโลสสามารถเกิดการพองตัวได้นั้นเข้าไปรวมตัวกับเซลลูโลสในสัดส่วนโมลที่สัมพันธ์กันจนเกิดเป็นสารประกอบขึ้น เมื่อผ่านลำแสงของรังสีเอ็กซ์เรย์เข้าไป ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เป็นไปในแนวโน้มที่แสดงถึงการลดลงของโครงสร้างผลึกในโมเลกุลของเซลลูโลส ถ้ากระบวนการหยุดลงที่จุดนี้ และทำให้โครงสร้างผลึกมีความเสถียรภาพ แสดงว่าที่จุดนี้เป็นจุดจำกัดในการพองตัวของเซลลูโลส ในทางตรงกันข้ามถ้ากระบวนการไม่หยุดลง การพองตัวของเซลลูโลสจะดำเนินต่อไป จนส่วนของโครงสร้างผลึกถูกทำลายและละลายได้ในที่สุด

สารที่สามารถทำให้เซลลูโลสเกิดการพองตัวมีหลายชนิด ได้แก่ สารอัลคาไลน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกลืออนินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก และสารละลายเกลือของโลหะ ความสามารถในการทำให้เซลลูโลสเกิดการพองตัวของสารจำพวกอัลคาไลน์ มีความสัมพันธ์เป็นส่วนกลับของประจุบวก คือ $\text{Li}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Rb}^+ > \text{Cs}^+$

3.3 ความสามารถในการละลาย

เนื่องจากเซลลูโลสเป็นสารประกอบโพลิเมอร์ที่มีขั้ว อีกทั้งยังมีลักษณะโครงสร้างภายในเป็นผลึก จึงเป็นการยากที่จะหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการละลายสารประกอบเซลลูโลส

$$\Delta G_{\text{diss}} = \Delta H_{\text{diss}} - T\Delta S_{\text{diss}} \quad (1)$$

จากทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic) สำหรับปฏิกิริยาต่างๆ หรือความสามารถในการละลายจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อพลังงานอิสระ (Gibb free energy, ΔG_{diss}) ของการละลายจะต้องมีค่าเป็นลบ แต่จากสมการ ΔH_{diss} มีค่าเป็นบวกและมีค่าที่สูงมากและ ΔS_{diss} มีค่าเป็นบวกและมีค่าต่ำ ดังนั้น ΔG_{diss} โดยทั่วไปจึงมีค่าออกมาเป็นบวกสำหรับน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้นเซลลูโลสจึงไม่สามารถละลายได้ในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์

3.4 การทำให้เสื่อมสภาพ

ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ด้วยกรด ขึ้นอยู่กับขอบเขตในส่วนผลึก หรือส่วนอสัณฐาน รวมทั้งความเข้มข้นของกรด ชนิดของกรด และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ความว่องไวของเซลลูโลสต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมากแล้วจะประเมินจากความสามารถในการเข้าถึงได้ของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา เช่น กรดแก่ เอนไซม์ชนิดพิเศษ หรือจุลินทรีย์ การสัมผัสได้โดยตรงในทางกายภาพระหว่างสารเข้าทำปฏิกิริยาเหล่านี้กับเซลลูโลสเป็นสิ่งแรกที่ต้องการของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เนื่องจากเซลลูโลสเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำและมีโครงสร้างที่ซับซ้อน การสัมผัสกันของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสนั้นเกิดขึ้นได้เฉพาะการแพร่ ในกรณีของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาไปสู่โครงสร้างของเซลลูโลส จะจำกัดความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของเซลลูโลสต่อสารที่เข้าทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสลดลง

4. สมบัติทางกายภาพ

ถึงแม้เซลลูโลสในธรรมชาติ จะมีอยู่อย่างมากมายหลายชนิด แต่เนื่องจากทุกชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีในหน่วยย่อยที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงทำให้สมบัติของเซลลูโลสในธรรมชาติมีความคล้ายคลึงกัน โดยสมบัติทางกายภาพต่างๆ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพต่างๆ ของเซลลูโลส

คุณสมบัติต่างๆ	ค่าระดับ
ความถ่วงจำเพาะ	
ในเฮปเทน	1.540
ในเบนซีน	1.570
ในน้ำ	1.604 - 1.609
รีเจนเนอเรตเซลลูโลส	1.522
ความหนาแน่นเมื่อวัดด้วย X-ray (g/ml)	
ส่วนของผลึก	1.590 - 1.630
ส่วนของอสัณฐาน	1.48 - 1.489
ความเป็นผลึกเฉลี่ย (%)	
เนทีฟเซลลูโลส	70
รีเจนเนอเรตเซลลูโลส	40
ค่าความร้อนจำเพาะ (J/g°C)	1.22
จุดไหม้ไฟ (°C)	>290
พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ (kJ/g)	17.43
ค่าคงที่ของฉนวนไฟฟ้า	
เยื่อกระดาษแบบแผ่น	2.2-2.6
ส่วนของผลึก	5.7
ค่าความเป็นฉนวน (kV/cm)	2×10^4

ที่มา: Nissan (1986)

เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบเฮเทอโรโพลิแซ็กคาไรด์ (Heteropolysaccharides) มีความแตกต่างจากเซลลูโลส เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลหลายประเภท มีกิ่งก้านสาขา และมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า หน่วยย่อยของน้ำตาลที่ต่อกันเป็นโมเลกุลของเฮมิ

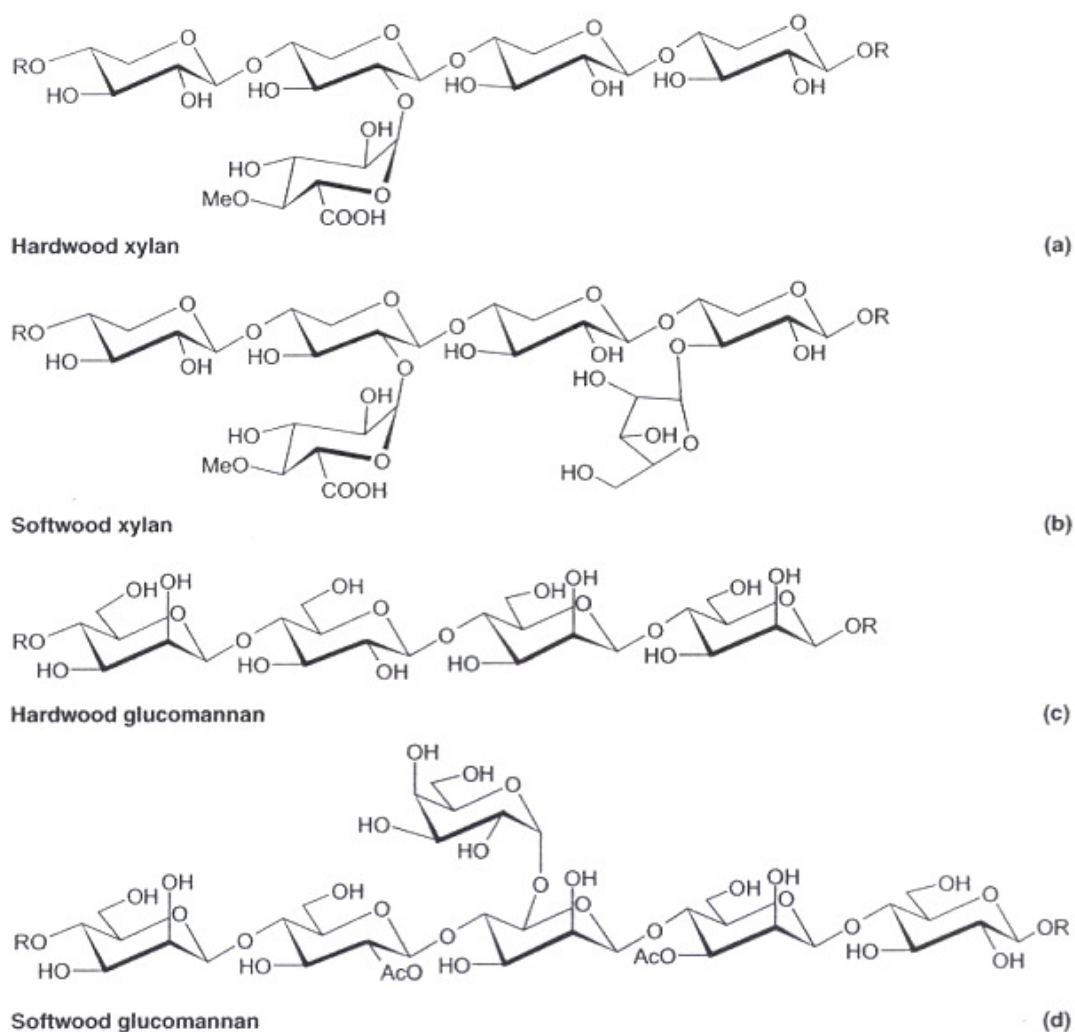
เซลลูโลส สามารถแบ่งได้เป็นกลุ่ม เช่น เพนโตส (ไซโลส และอะราบินอส), เฮกโซส (กลูโคส และแมนโนส) เฮกซูโรนิก (กรดกลูคูโรนิก) และดีออกซีเฮกโซส (แรมโนส) สายโซ่หลักของเฮมิเซลลูโลสสามารถประกอบด้วยน้ำตาลประเภทเดียว (โฮโมพอลิเมอร์, เช่น ไซแลน) หรือประกอบด้วยน้ำตาลสองประเภทขึ้นไป (เฮเทอโรโพลิเมอร์, เช่น กลูโคแมนแนน) ดังภาพที่ 16 ซึ่งเฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อน (Soft Wood) และไม้เนื้อแข็ง (Hard Wood) มีความแตกต่างกัน คือในไม้เนื้ออ่อนจะมีปริมาณแมนโนสและกาแลคโตสมากกว่าในไม้เนื้อแข็ง ขณะที่ในไม้เนื้อแข็งจะมีปริมาณไซโลส และหมู่อะซิทิล (Acetyl Group) มากกว่าไม้เนื้ออ่อน

สายโซ่ของไซแลนในไม้เนื้อแข็งมีหน่วยของกรด 4-O-Methylglucuronic จับกับหน่วยของไซโลสด้วยพันธะ α -(1,2)-ไกลโคซิดิก ดังภาพที่ 16 (a) ส่วนสายโซ่ของไซแลนในไม้เนื้ออ่อนต่างจากไม้เนื้อแข็ง เนื่องจากมีหน่วยของอะราบินอสจับกับไซแลนด้วยพันธะ α -(1,3)-ไกลโคซิดิก ดังภาพที่ 16 (b) โครงสร้างของกลูโคแมนแนนในไม้เนื้อแข็งประกอบด้วย หน่วยของกลูโคสและแมนโนสจับกันด้วยพันธะ β -1,4-ไกลโคซิดิก ดังภาพที่ 16 (c) ส่วนโครงสร้างของกลูโคแมนแนนในไม้เนื้ออ่อนแสดงดังภาพที่ 16 (d)

ในปัจจุบันได้นำเฮมิเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ไซแลน ซึ่งมีน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลักจะนำมาใช้ในการผลิตไซโลส ไซลิทอล (Xylitol) เฟอร์ฟูรอล (Furfural) อะราบินอกาแลคแทนถูกใช้เป็น Binder, Emulsifier และ Stabilizer ในอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนกลูโคแมนแนนสามารถหมักด้วยจุลินทรีย์เพื่อผลิตเป็นเอทานอลได้

เฮมิเซลลูโลสมีคุณสมบัติทั่ว ๆ ไปดังนี้ คือ :-

1. มีน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์มากกว่า 1 ชนิด ประกอบอยู่
2. เฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้อแข็ง (Hard Wood) และในไม้เนื้ออ่อน (Soft Wood) จะต่างกัน และจะมีมวลโมเลกุลต่ำกว่าเซลลูโลส
3. มีน้ำตาลที่เป็นกิ่งแขนงจึงสามารถละลายน้ำได้
4. ไม่มีคุณสมบัติความเป็นผลึก
5. มีความว่องไวในปฏิกิริยามากกว่าเซลลูโลส



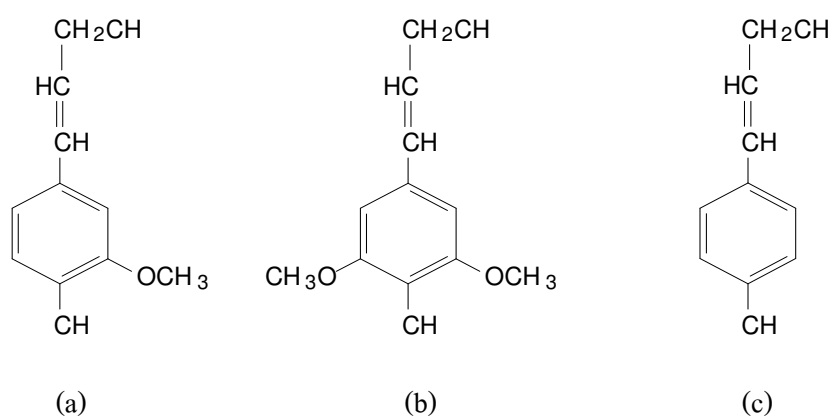
ภาพที่ 16 สูตรโครงสร้างของไซแลน และกลูโคแมนแนนในไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน (a) ไซแลนในไม้เนื้อแข็ง (b) ไซแลนในไม้เนื้ออ่อน (c) กลูโคแมนแนนในไม้เนื้อแข็ง (d) กลูโคแมนแนนในไม้เนื้ออ่อน

ที่มา: Herbert (2006)

ลิกนิน

ลิกนินเป็นหนึ่งในส่วนประกอบที่สำคัญในองค์ประกอบของพืชที่พบในธรรมชาติ โดยในพืชแต่ละชนิดจะพบปริมาณของลิกนินแตกต่างกัน โดยลิกนินในพืชที่พบอยู่โดยทั่วไป จะมีปริมาณอยู่ในช่วง 10 - 30 % ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการดีไฮโดรจีเนชันของฟีนิลโพเพน

(Phenylpropanes) (Berggren, 2003) โดยทั่วไปลิกนินจะไม่ละลายในน้ำ แต่จะสามารถละลายในกรดได้เล็กน้อย และจะสามารถละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง อีกทั้งยังสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ในบรรยากาศ เนื่องจากลิกนินไม่มีสมบัติทางการยึดหยุ่น จึงทำให้ต้นไม้หรือพืชที่มีปริมาณลิกนินมาก จะมีความแข็งแรงมากตามไปด้วย ลิกนินในไม้เนื้ออ่อนประกอบด้วย Guaiacyl Units เกิดจากกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชันของ Tran-Coniferyl Alcohol ดังแสดงในภาพที่ 17 (a) ลิกนินในไม้เนื้อแข็งประกอบด้วย Guaiacyl และ Syringyl Units เกิดจากกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชันของ Trans-coniferyl และ Trans-sinapyl Alcohol ดังแสดงในภาพที่ 17 (b) ส่วนลิกนินในหญ้า ประกอบด้วย P-Hydroxyphenyl Units เกิดจากกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน ของ Trans-P-Coumaryl Alcohol ดังแสดงในภาพที่ 17 (c) (David, 2001)



รูปที่ 17 สูตรโครงสร้างของลิกนินที่พบในธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด

ที่มา: David (2001)

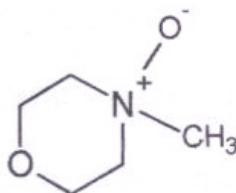
ลิกนินเป็นส่วนที่ป้องกันเซลล์โลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ และจะทำหน้าที่ห่อหุ้ม และเชื่อมต่อระหว่างเซลล์โลสและเฮมิเซลล์โลสให้ยึดติดกัน

วิธีการทำให้เซลล์โลสอยู่ในรูปของเหลว (Cellulose Liquefaction Methods)

การเปลี่ยนเซลล์โลสให้อยู่ในรูปของเหลวมีหลายวิธีด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการละลายโดยใช้ตัวทำละลายโดยตรง หรือการทำให้เกิดเป็นอนุพันธ์ เช่น

1. การละลายในเมทิลมอร์โฟลีนออกไซด์ (N-methylmorpholine-N-oxide)

ในปัจจุบันเทอร์เทียรีเอมีนออกไซด์ ได้รับความนิยมอย่างมากในการใช้เป็นตัวทำละลาย เซลลูโลส โดยตัวทำละลายที่ใช้กันทั่วไป คือ N-Methylmorpholine-N-Oxide ภาพที่ 18 แสดงสูตร โครงสร้างของ NMMO ความมีขั้วที่แข็งแรงของโมเลกุลของ NMMO ทำให้พันธะไฮโดรเจนใน เซลลูโลสแตกออก โดยนิยมใช้สัดส่วนระหว่าง NMMO ต่อ น้ำ เป็นร้อยละ 87 ต่อ 13 โดยน้ำหนัก (Koo *et al.*, 2002), (Fink *et al.*, 2001) ดังที่ Wang (2003) ได้ทำการผลิตเส้นใยเซลลูโลสจาก สารละลายของเซลลูโลสใน NMMO โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง NMMO ต่อ น้ำ เป็นร้อยละ 87 ต่อ 13 เป็นตัวทำละลาย เส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตขึ้นได้มีความแข็งแรงกว่าการผลิตจากวิธีอื่น โดยที่ NMMO สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การใช้ NMMO เป็นตัวทำละลายเซลลูโลสนั้น เป็นวิธีที่ไม่ ทำลายสิ่งแวดล้อม เส้นใยที่ผลิตจากวิธีการละลายเซลลูโลสด้วย NMMO เรียกว่า ไลโอเซล (Lyocell)



ภาพที่ 18 สูตรโครงสร้างของ N-Methylmorpholine-N-Oxide

ที่มา: Ryan (2005)

2. การละลายใน LiCl/DMAC

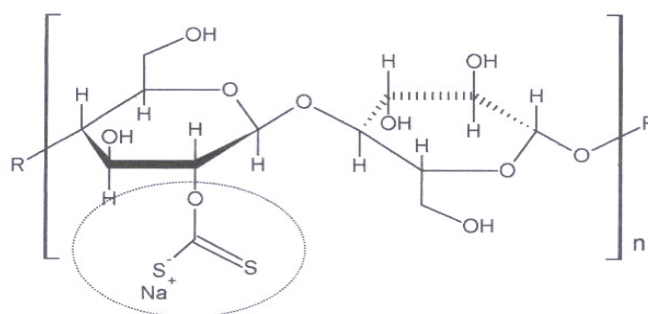
สารละลาย LiCl/N,N' – Di Methyl Acetamide (DMAC) เป็นอีกตัวทำละลายหนึ่งที่ใช้ใน การละลายเซลลูโลส การละลายในสารละลายนี้จะไปทำลายพันธะไฮโดรเจน โดย DMAC จะ รวมตัวกับลิเทียมไอออน (Lithium Ion) และปล่อยคลอไรด์ไอออน (Chloride Ion) ออกมา ซึ่งไป เกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลส (Swatloski *et al.*, 2002). ดังที่ Jing *et al.* (2007) ได้ ศึกษาการละลายของเซลลูโลสจากไม้ ในสารละลาย LiCl/DMAC จากผลการทดลองพบว่า LiCl ทำให้เกิดสารประกอบกับเซลลูโลส ซึ่งการละลายเกิดได้โดยพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของ เซลลูโลสอ่อนแรงลง และเซลลูโลสจากไม้สามารถละลายในสารละลาย LiCl/DMAC ได้อย่าง สมบูรณ์

3. การผลิตวิสคอสเรยอน (Viscose Rayon Method)

การผลิตวิสคอสเป็นวิธีเก่าแก่ที่ใช้ในการละลายเซลลูโลส ค้นพบโดย Cross, Bevan, และ Beadle โดยการนำอัลคาไลน์เซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) ทำให้เกิดเป็นเซลลูโลสแซนเทต (Cellulose Xanthate) ภาพที่ 19 แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลสแซนเทต ซึ่งสามารถละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง สารละลายที่ได้จะมีความเหนียว จึงเป็นสาเหตุที่เรียกว่า วิสกอส เมื่อได้วิสคอสแล้ว นำไปผ่านกระบวนการเพื่อให้รีเจนเนอเรตเป็นของแข็ง ซึ่งกระบวนการผลิตวิสคอสมีหลายขั้นตอนด้วยกัน สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดกระบวนการผลิตวิสคอส

	Laskiewicz et al.	Mobarak et al.	Sun et al.
Steeping	19 % NaOH at 55 °C for 0.5 hours	19.6 % NaOH at 30 °C for 1 hours	18 % NaOH at room temp. for 3 hours
Aging	120 minutes at 55 °C	Overnight at 10 °C	65 hours at room temp.
Xanthation	32 % CS_2 relative to wt. of cellulose	35 % CS_2 at 30 °C for 150 minutes and reduced pressure (40 mmHg)	1 ml CS_2 per gram of pulp at room temp. for 2 hours
Dissolving	4 % aqueous NaOH at 4 - 5 °C	Dilute NaOH so as to result in 8 % cellulose	6 % aqueous NaOH at room temp. for 2 hours
Ripening	To complete dissolution	To complete dissolution	To complete dissolution



ภาพที่ 19 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลสแซนเทต

ที่มา: Ryan (2005)

อนุพันธ์ของเซลลูโลส

อนุพันธ์ต่างๆ ของเซลลูโลสถูกผลิตขึ้นมามากมายขึ้น เพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิต เส้นใย พลาสติก วัตถุระเบิด สารเคลือบผิว และสารให้ความชื้น ผลึกภัณฑ์ที่เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส โดยทั่วไปแล้วมีความต้องการที่จะต้องใช้เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ในปริมาณที่สูง ซึ่งสามารถได้มาโดยใช้เทคนิคที่ให้ได้มาซึ่งแอลฟาเซลลูโลส ซึ่งเป็นเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ที่สุด ปฏิบัติการในการเตรียมอนุพันธ์ของเซลลูโลส โดยส่วนใหญ่แล้วผลึกภัณฑ์ที่ได้นี้ ได้จากการเปลี่ยนเซลลูโลสไปให้อยู่ในรูปเอสเทอร์ และอีเทอร์ ปฏิบัติการเอสเทอร์ริฟิเคชันและอีเทอร์ริฟิเคชันที่เกิดขึ้นกับเซลลูโลส เป็นปฏิบัติการการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลและการทำให้พันธะไกลโคซิดิกแตกออก สำหรับอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตเส้นใยเล็กๆ พลาสติกแข็ง แบบหล่อพลาสติก หรือแล็กเกอร์ชนิดสเปรย์

อนุพันธ์ของเซลลูโลสส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ เซลลูโลสเอสเทอร์ (Cellulose ester) และเซลลูโลสอีเทอร์ (Cellulose ether)

1. เซลลูโลสเอสเทอร์

กระบวนการดัดแปลงเซลลูโลสที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิล โดยการทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน สามารถทำได้โดยใช้กรดอินทรีย์และอนินทรีย์ซึ่งจะมีคุณสมบัติเป็นตัวคั่งน้ำ หรืออาจทำปฏิกิริยากับเอซิคคลอไรด์ โดยทั่วไปแล้วปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่หมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ จะถูกแทนที่ด้วยหมู่เอซิล (Acyl Group) ของกรดอินทรีย์

เซลลูโลสเอสเทอร์ ที่ใช้ในทางการค้าที่สำคัญๆ มี 3 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลสแซนเทต (Cellulose Xanthate) เซลลูโลสไนเตรต (Cellulose Nitrate) และเซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose Acetate)

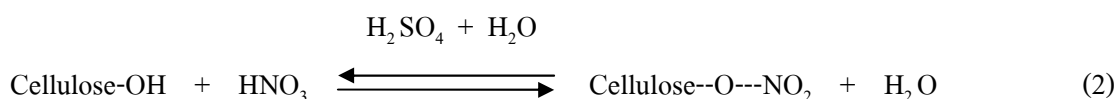
1.1 เซลลูโลสแซนเทต

เซลลูโลสแซนเทตไม่ได้เป็นผลผลิตในขั้นสุดท้าย แต่ถูกสร้างขึ้นมามาเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตเรยอนชนิดเหนียว และเซลโลเฟน ทำได้โดยแช่เซลลูโลสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 17.5 หลังจากแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกแล้วทำปฏิกิริยากับคาร์บอน

ไคซัลไฟด์ ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นอนุพันธ์ที่เป็นแซนเทต หลังจากนั้นละลายเซลลูโลสแซนเทตที่ได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางได้เป็นสารละลายหนืด (Viscose) และจากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาต่อกับกรด กระบวนการผลิตนี้เรียกว่า กระบวนการเตรียมของผสมหนืด (Viscose Progress t) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

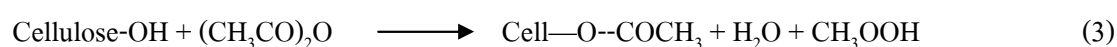
1.2 เซลลูโลสไนเตรต

เซลลูโลสไนเตรตเป็นเซลลูโลสเอสเทอร์ชนิดแรกที่ใช้เป็นพลาสติกสังเคราะห์และเป็นเอสเทอร์ของกรดอินทรีย์ของเซลลูโลสที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เซลลูโลสไนเตรตเตรียมได้โดยแช่เซลลูโลสในสารละลายกรด HNO_3 ที่มีกรด H_2SO_4 และน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย



1.3 เซลลูโลสอะซิเตต

เซลลูโลสอะซิเตตเป็นเอสเทอร์ของกรดอินทรีย์ที่สำคัญของเซลลูโลส เพราะสามารถใช้งานได้หลายอย่าง ใช้เป็นเส้นใยพลาสติก และสารเคลือบผิว ซึ่งสามารถเตรียมโดยให้เซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ โดยมีกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายและกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



2. เซลลูโลสอีเทอร์

เซลลูโลสอีเทอร์ เป็นอนุพันธ์ที่ถูกนำไปใช้ในการผลิตสารเพิ่มความข้น สารเพิ่มการกระจายตัว กาว ส่วนผสมในการทำสี (Extender) ฟิล์ม ในอุตสาหกรรมอาหารและเภสัชกรรม เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำ และสมบัติการเป็นเจล ส่วนใหญ่แล้วเกิดจากการที่พันธะไฮโดรเจน ในโครงสร้างแบบผลึกถูกรบกวน อนุพันธ์อีเทอร์โดยส่วนใหญ่แล้ว เกิดจากปฏิกิริยาของเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ในด่างด้วยการใช้อัลคิลเฮไลด์ เช่น เมทิลคลอไรด์ และคาร์บอกซีเมทิลคลอไรด์ ทำให้เกิดเมทิลเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ตามลำดับ

เซลลูโลสอีเทอร์ที่สำคัญๆ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม ได้แก่ เมทิลเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีไฮดรอกซีอัลคิลอีเทอร์ (HEC) และไซยาโนเอทิลเซลลูโลส เป็นต้น โดยสารทั้งหมดเหล่านี้มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันดังนี้

2.1 เมทิลเซลลูโลส

เมทิลเซลลูโลสที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตมาจากปฏิกิริยาการแทนที่ โดยการนำเซลลูโลสไปทำให้เป็นค่าด้วยเมทิลคลอไรด์ ลำดับการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดที่ตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลหมู่ที่ 2 ไปหมู่ที่ 6 และหมู่ที่ 3 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเมทิลเลชัน (Methylation) นี้สามารถละลายได้ในน้ำเย็นและสารละลายจะเสถียรที่ค่าความเป็นกรดต่างในช่วง pH 2-12 เมทิลเซลลูโลสที่สามารถละลายน้ำได้นี้ เมื่อนำมาผสมกับไฮดรอกซีโพรพิลและไฮดรอกซีบิวทิลสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายๆ ประเภทได้ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตสี อาทิเช่น สารเพิ่มความข้น ไบอนด์เดอร์ และอิมัลชัน เป็นต้น

2.2 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ที่เป็นอีเทอร์ ที่นำมาใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุด สามารถเตรียมได้โดยการทำให้เป็นค่าด้วยโซเดียมคลอโรอะซิเตต คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสส่วนใหญ่แล้วถูกผลิตขึ้นในไอโซโพรพานอล คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางคือ การนำไปใช้เป็นอิมัลชันที่ทำให้เกิดความเสถียร ไซซิงเอเจนต์ (Sizing Agent) สารที่ทำให้ดินตกตะกอน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ไม่สามารถละลายน้ำได้

2.3 ไฮดรอกซีอัลคิลอีเทอร์

ไฮดรอกซีอัลคิลอีเทอร์ ผลิตได้โดยปฏิกิริยาที่ทำให้เซลลูโลสเป็นค่า ด้วยเอทิลีนออกไซด์ในสารอินทรีย์ที่เจือจาง เช่น ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และอะซีโตน ไฮดรอกซีอัลคิลอีเทอร์ที่สามารถละลายน้ำได้ ถูกใช้อย่างกว้างขวางในส่วนที่เป็นสารเพิ่มความข้น สารที่ช่วยให้ผสมกับน้ำได้ และสารที่ช่วยให้เกิดความเสถียร

2.4 ไชยาโนเอทิลเซลลูโลส

ไชยาโนเอทิลเซลลูโลส เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส ทำปฏิกิริยากับอะครีโลไนไตรในสารละลายต่าง ไชยาโนเอทิลเซลลูโลสถูกไฮโดรไลสภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง ทำให้ได้ผลผลิตเป็น คาร์บอกซีเอทิลเซลลูโลส

การปรับสภาพวัสดุลิกโนเซลลูโลส

เนื่องจากเซลลูโลสที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต อยู่ในรูปที่เป็นของสารประกอบเชิงซ้อน (Complex) กับลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ส่วนที่นำมาใช้จริงคือส่วนของเซลลูโลสเท่านั้น ดังนั้นขั้นแรกของการผลิตจึงต้องแยกเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบก่อน โดยสามารถแบ่งประเภทของการปรับสภาพได้ 4 วิธีใหญ่ๆ ดังนี้

1. วิธีทางกายภาพ (Physical Pretreatment)

เป็นการปรับสภาพ โดยการลดขนาดของวัตถุดิบ และทำให้เส้นใยเซลลูโลสแตกออกเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา เช่น การบด การใช้ความร้อน เช่น การปรับสภาพด้วยไอน้ำ

Cadoche และ Gerardo (1989) พบว่าถ้านำวัตถุดิบ เช่น ไม้เนื้อแข็ง ฟางข้าวและข้าวโพดมาบดด้วยเครื่อง Knife Mill หรือเครื่อง Hammer Mill จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว ในการทำปฏิกิริยา และลดความเป็นผลึกของเซลลูโลสลง

Brownell และ Saddler (1987) ศึกษาการปรับสภาพในไม้เนื้อแข็ง โดยใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง (170 ถึง 250 องศาเซลเซียส) ในช่วงเวลาสั้นๆ (30 ถึง 60 วินาที) เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียสภาพของเซลลูโลสที่อุณหภูมิสูง (260 องศาเซลเซียส) แล้วลดความดันลง อย่างรวดเร็ว วัตถุดิบจะแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการปฏิกิริยาวีธีการนี้ เรียกว่า การระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam Explosion) เนื่องจากการทำงานภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง

2. วิธีทางเคมี (Chemical Pretreatment)

เป็นการปรับสภาพวัตถุดิบโดยใช้สารละลายกรด สารละลายด่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตัวทำละลายอินทรีย์ หรือสารออกซิเดนต์ (Oxidant Reagent) เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยเซลลูโลส ในกรณีใช้สารละลายกรด เพราะเซลลูโลสสามารถย่อยได้ในสารละลายกรดได้ดีกว่าเซลลูโลส หรือเพื่อเพิ่มปริมาณการละลายของเซลลูโลสและลิกนิน ในกรณีใช้สารละลายด่าง และยังทำให้เกิดการพองตัว (Swelling) ของโครงสร้างซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการทำปฏิกิริยา

3. วิธีทางเคมีฟิสิกส์ (Physico Chemical Pretreatment)

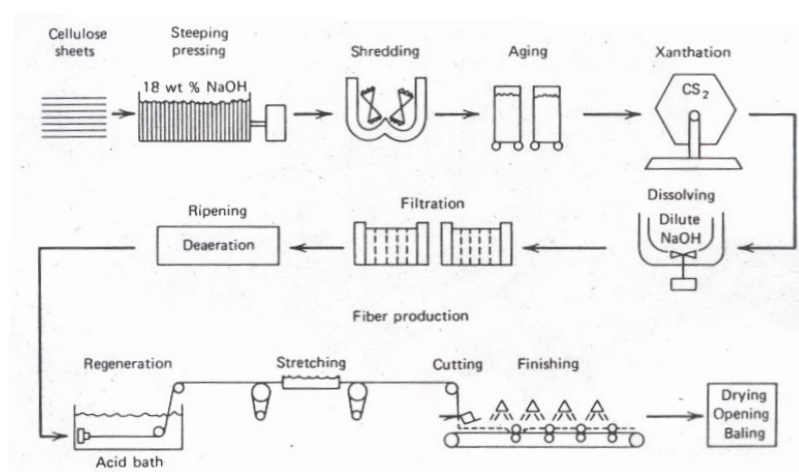
เป็นการปรับสภาพวัตถุดิบ โดยใช้วิธีทางกายภาพร่วมกับการใช้สารเคมี เช่น การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และความร้อน ภายใต้อุณหภูมิสูง

4. วิธีทางชีวภาพ (Biological Pretreatment)

เป็นการใช้เอนไซม์จากเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างที่ซับซ้อนของเซลลูโลสให้เปลี่ยนอยู่ในรูปโซ่ตรง และช่วยลดความเป็นพิษ

กระบวนการเตรียมของผสมหนืด (Viscose Progress t)

กระบวนการเตรียมของผสมหนืด เป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใย แสดงดังภาพที่ 20 โดยใช้เซลลูโลสเป็นวัตถุดิบซึ่งอาจใช้เยื่อไม้หรือเส้นใยฝ้าย เริ่มจากนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และคาร์บอนไดซัลไฟด์ เกิดเป็นเซลลูโลสแซนเทต จากนั้นละลายเซลลูโลสแซนเทตที่ได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางอีกครั้ง จะได้ของผสมหนืด (Viscose) เส้นใยเรยอนสามารถเตรียมได้จากการผ่านของผสมหนืดเข้าไปในแม่พิมพ์แบบรูเปิด แล้วลงสู่สารละลายกรดเพื่อขึ้นรูป จะได้เส้นใยเรยอนตามแบบของแม่พิมพ์รูเปิดนั้นๆ แม้ว่าในปัจจุบันจะมีกระบวนการผลิตเรยอนด้วยวิธีอื่นๆ แต่กระบวนการเตรียมของผสมหนืดซึ่งค้นพบครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อชาร์ลส์ เฟรดเดอริก คروس (Charles Frederick Cross) กระบวนการเตรียมของผสมหนืด (Viscose Progress t) สามารถแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

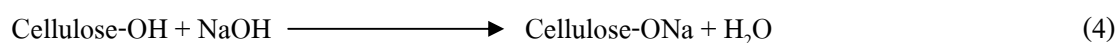


ภาพที่ 20 กระบวนการเตรียมของผสมหนืด (Viscose Process)

ที่มา: Ryan (2005)

1. การแช่ (Steeping)

โดยปกติแล้วทำได้โดยแช่เซลลูโลสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5-20 ที่อุณหภูมิห้อง ขึ้นอยู่กับแหล่งของเซลลูโลสที่ใช้ เยื่อไม้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ ฝ้ายใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 19.5 - 20 เนื่องจากโครงสร้างของฝ้ายมีความแข็งแรง ทำให้แทรกซึมได้ยากกว่าไม้ การแช่เซลลูโลสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นี้ เรียกว่า กระบวนการเมอร์เซอร์ไรซ์ (Mercerization) เซลลูโลสจะเกิดการบวมตัว (Swell) และโซเดียมไอออน (Na^+) เข้าไปแทนที่ตรงตำแหน่งไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิล เกิดเป็นอัลคาไลน์เซลลูโลส (Alkali Cellulose) ซึ่งจะว่องไวในการทำปฏิกิริยามากกว่าเซลลูโลสบริสุทธิ์ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ เช่น เฮมิเซลลูโลสละลายออกไป การที่มีเฮมิเซลลูโลสเหลืออยู่มาก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเปราะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



2. การบ่ม (Aging)

นำอัลคาไลน์เซลลูโลสมาบ่มเพื่อทำลายพันธะของพอลิเมอร์ (Depolymerize Anhydroglucose Chain) เนื่องจากมีโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลส ทำให้ออกซิเจนในบรรยากาศสามารถผ่านไปที่ตำแหน่ง β -1,4-Glucosidic Bonds ได้ ระยะเวลาในการบ่มมีผลต่อความหนืดของของผสมหนืด ถ้าระยะเวลาในการบ่มนานจะยิ่งเป็นการลดพันธะลง (Depolymerize) ทำให้ได้ของผสมหนืดที่มีความหนืดต่ำ แต่ถ้าระยะเวลาในการบ่มน้อยเกินไปจะได้ของเหลวหนืดที่มีความหนืดสูง โดยทั่วไปใช้เวลาในการบ่ม 48 - 72 ชั่วโมง แม้การบ่มเป็นการลดพันธะของพอลิเมอร์ แต่การแช่เซลลูโลสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก็ทำให้พันธะของพอลิเมอร์ลดลงด้วย

3. แชนเทชัน (Xanthation)

นำอัลคาไลน์เซลลูโลสหลังจากผ่านการบ่มมาเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) ซึ่งคาร์บอนไดซัลไฟด์จะไปแทนที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยปกติจะเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ร้อยละ 32 - 35 โดยน้ำหนัก เทียบกับปริมาณเซลลูโลส ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเดือดของคาร์บอนไดซัลไฟด์ คือ 46.3 องศาเซลเซียส เกิดเป็นเซลลูโลสแชนเทตซึ่งมีสีส้ม เซลลูโลสแชนเทตที่บริสุทธิ์จะมีสีขาว แต่ที่มีสีส้มเนื่องจากเกิด By Product โดยทั่วไป คาร์บอนไดซัลไฟด์ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก จะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็น By Product คือ โซเดียม ไตรไทโอคาร์บอเนต (Sodium Trithiocarbonate) แต่จะสลายตัวไปเมื่อแช่ในกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และเกิดก๊าซพิษไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide; H_2S) ซึ่งลดการเกิดก๊าซพิษได้โดยการลดอุณหภูมิ ส่วนคาร์บอนไดซัลไฟด์อีกร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก จะทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสเกิดเป็นเซลลูโลสแชนเทต

Aged Alkali Cellulose + Carbon DiSulfide $\rightarrow$ Cellulose Xanthate



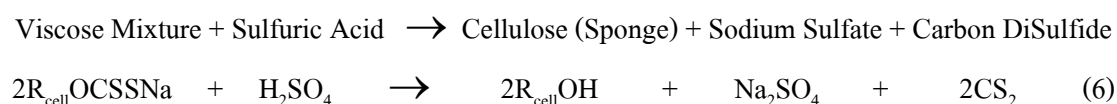
4. การเจือจาง (Dissolving)

เจือจางเซลลูโลสแชนเทตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง Xanthate Group ทำให้พันธะไฮโดรเจนอ่อนลง ได้ของเหลวที่มีความหนืด และมีลักษณะคล้ายน้ำผึ้ง เรียกว่า วิสคอส

5. Ripening

หลังจากเจือจางเซลลูโลสแซนเทตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางแล้วยังไม่สามารถนำวิสคอสมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ทันที เนื่องจากเซลลูโลสมีส่วนที่เป็นผลึกอยู่มาก ทำให้เซลลูโลสแซนเทตไม่สามารถละลายได้ทั้งหมดภายในเวลาอันรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาการเกิดแซนเทตนั้นสามารถย้อนกลับได้ ซึ่งหมายความว่า Xanthate Group กลับไปเป็นหมู่ไฮดรอกซิล และปล่อยคาร์บอนไดซัลไฟด์ออกมา ทำให้สามารถไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลอื่นๆได้ ทำให้ส่วนที่เป็นผลึกของเซลลูโลสแตกออกทีละน้อยเมื่อคาร์บอนไดซัลไฟด์เข้าไปทำปฏิกิริยา เกิดเป็นหมู่แซนเทต ซึ่งทำให้พันธะแตกออก ปฏิกิริยาย้อนกลับและปล่อยคาร์บอนไดซัลไฟด์ออกมาเพื่อไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลอื่น ทำให้ผลึกของเซลลูโลสแตกออก เกิดปฏิกิริยาเช่นนี้กลับไปกลับมาจนกระทั่งละลายได้อย่างสมบูรณ์

ในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ สามารถทำได้โดยนำวิสคอสผสมกับโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) แล้วขึ้นรูปด้วยกรดซัลฟิวริก ผลึกโซเดียมซัลเฟตจะถูกละลายด้วยกรดซัลฟิวริก ทำให้ส่วนที่หายไปของเกลือโซเดียมซัลเฟตกลายเป็นรูปุน



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rawski and Cole (1997) ศึกษาการเตรียมวิสคอสจากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า เพื่อนำมาก่อตัวขึ้นรูปใหม่เป็นผลิตภัณฑ์เซลลูโลสที่มีประโยชน์ในรูปของ แผ่นฟิล์มเซลโลเฟน และฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ นอกจากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า (Old Newspaper, ONP) ในงานวิจัยนี้ยังมีการทดลองใช้กระดาษสำเนาจากสำนักงาน (Office Copies Paper, OCP) กระดาษถุงใส่สินค้า (Grocery Bag Paper, GB) กระดาษแข็งลูกฟูก (Cardboard Corrugated, CB) และกระดาษนิตยสารเก่า (Old Magazine Paper, OMP)

เตรียมวิสคอสได้จากการตัดวัตถุดิบให้เป็นชิ้นเล็กๆ ประมาณ 1 ตารางนิ้ว เตรียมสารละลายดังนี้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 และ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ผสมวัตถุดิบกับสารละลายโซเดียมไฮ

ดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 ในปริมาณมากเกินไปบ่ม ริดสารละลายส่วนเกินออกจะได้ อัลคาไลน์เซลลูโลส ทำให้เป็นชิ้นเล็กๆ เก็บในภาชนะปิด นำไปบ่ม จากนั้นเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ เพื่อทำให้เป็นเซลลูโลสแซนเทต ซึ่งจะนำไปบ่มอีกครั้งแล้วเจือจางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 เพื่อให้เป็นวิสคอส หลังจากการบ่ม นำวิสคอสไปทำให้เรียบเสมอบนแผ่นกระจกบาง จุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้นร้อยละ 10 เพื่อก่อตัวขึ้นใหม่เป็นแผ่นฟิล์มเซลโลเฟน เมื่อผสมวิสคอสกับผลึกโซเดียมซัลเฟต จุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้นร้อยละ 10 เพื่อก่อตัวขึ้นใหม่เป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ (Cellulose Sponge)

สำหรับวัตถุดิบชนิดอื่นสามารถใช้กรรมวิธีการเตรียมวิสคอส ได้ในลักษณะเดียวกับกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า แต่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านปริมาณของสารเคมีที่ใช้ และระยะเวลาในการบ่ม ดังตารางที่ 5

ผสมวิสคอสจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ เข้าด้วยกันดังตารางที่ 6 ส่วนผสมของวิสคอส ทั้งสามได้มีการนำมาปาดให้เรียบเสมอบนแผ่นกระจกบาง และจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 อีกส่วนหนึ่งผสมกับโซเดียมซัลเฟต แล้วจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10

วิสคอสจากฝ้ายเมื่อก่อตัวขึ้นใหม่ จะมีความแข็งแรงสูง และมีความยืดหยุ่นได้ดี ผลิตภัณฑ์เซลลูโลสมีสีขาวกัลลายนุ่ม ฟองน้ำเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะเป็นก้อนหนาแน่น แผ่นฟิล์มเซลโลเฟน ซึ่งมีรูปทรงที่ผลิตได้มีลักษณะคล้ายพลาสติก

การก่อดำเนินรูปใหม่ของวิสคอส ที่ผลิตจากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าใช้เวลา 5 นาที ขณะที่วิสคอสจากวัตถุดิบอื่นใช้เวลาในการก่อดำเนินรูปใหม่ในช่วงวินาที ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมีลักษณะอ่อนนุ่ม แตกออกจากกันได้ง่าย แต่ยังมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรักษารูปร่างได้เมื่อเปียกน้ำ วิสคอสจากกระดาษสำเนาจากสำนักงานมีลักษณะคล้ายดินเหนียวอาจจะมีสาเหตุมาจาก Kaolin ที่ได้เติมลงไป เพื่อให้กระดาษสำเนาทึบแสง ลักษณะของวิสคอสที่คล้ายดินเหนียวทำให้การผสมกับคาร์บอนไดซัลไฟด์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเนื้อเดียวกันได้ยาก แต่เมื่อผสมกันได้แล้ว นำไปก่อดำเนินรูปใหม่เป็นฟองน้ำเซลลูโลสที่ไม่มีสี มีความแข็งแรงมากกว่าผลิตภัณฑ์ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าหลายเท่า

ตารางที่ 5 ปริมาณสารเคมีและเวลาในการบ่มของวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมวิสคอส

	ONP	ฝ้าย	OCP	GB	CB	OMP
น้ำหนักวัตถุดิบ(กรัม)	40	13.1	17.5	17.5	17.5	17.5
ปริมาณของ NaOH เข้มข้นร้อยละ 20 (มิลลิลิตร)	900	295	300	300	300	300
เวลาในการบ่มอัลคาไลน์ (ชั่วโมง:นาที)	0:35	0:35	0:30	0:30	0:30	0:30
อัตราส่วนของอัลคาไลน์/น้ำหนักวัตถุดิบ (กรัม/กรัม)	6.34	6.48	4.38	6.26	6.00	5.19
เวลาในการบ่มอัลคาไลน์ (ชั่วโมง:นาที)	19:45	28:25	22:50	29:33	22:22	29:04
ปริมาณของคาร์บอนไดซัลไฟด์ (มิลลิลิตร)	35.0	11.5	17.0	20.0	17.0	17.0
เวลาในการบ่มแซนเทต (ชั่วโมง:นาที)	1:05	1:05	1:09	1:00	1:00	1:00
ปริมาณของ NaOH เข้มข้นร้อยละ 4	138.0	95.2	150.0	100	100	100
เวลาในการบ่มวิสคอส (ชั่วโมง:นาที)	22:00	23:05	196:30	166:20	143:10	93:00

ตารางที่ 6 ส่วนผสมของวิสคอสในสัดส่วนโดยปริมาตร

	ONP	Cotton	OCP	GB	CB	OMG
ONP/Cotton	2.0	1.0	---	---	---	---
ONP/OCP/GB/CB/OMG	2.4	---	1.0	1.4	1.2	1.0
ONP/OCP/GB/CB/OMG/Cotton	2.4	4.0	1.0	1.4	1.2	1.0

วิสคอสจากถุงกระดาศไส่สินค้ำ มีความข้นมากคล้ายเจลลาติน มีสีน้ำตาลเข้มสามารถก่อตัวขึ้นรูปใหม่ได้ทั้งผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มเซลโลเฟน และฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

วิสคอสจากกระดาศแจ่งมีสีคล้ายวิสคอสจากถุงกระดาศไส่สินค้ำ แต่มีความหนืดต่ำกว่า ซึ่งสามารถก่อตัวขึ้นรูปใหม่ได้ทั้งแผ่นฟิล์มเซลโลเฟน และฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติได้เช่นกัน

วิสคอสจากกระดาศนิตยสารเก่า มีลักษณะคล้ายดินเหนียวเช่นเดียวกับวิสคอสจากกระดาศสำเนาจากสำนักงาน ซึ่งมีสาเหตุมาจาก Kaolin ที่เติมลงไปเพื่อให้เกิดความทึบแสงเช่นเดียวกัน

สามารถก่อตัวขึ้นรูปใหม่ได้ทั้งแผ่นฟิล์มเซลโลเฟน และฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ สำหรับส่วนผสมของวิสคอส ทั้ง 3 แบบตามตารางที่ 6 จะก่อตัวขึ้นรูปใหม่เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มเซลโลเฟน และฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ที่แข็งแรงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวิสคอสจากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าเพียงอย่างเดียว ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ถ้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์จากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่ามีความแข็งแรงมากขึ้น ต้องเติมเซลลูโลสชนิดอื่นๆ ที่มีความแข็งแรงมากกว่าในขั้นตอนวิสคอส ได้แก่ ฝ้ายและกระดาษชนิดอื่นๆ เรียงลำดับความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์จากวิสคอส ชนิดต่างๆ จากแข็งแรงมากที่สุดจนถึงความแข็งแรงต่ำที่สุด ดังนี้ ฝ้าย ทุ่งกระดาษใส่สินค้า กระดาษสำเนาจากสำนักงาน ส่วนผสมของกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า / กระดาษสำเนาจากสำนักงาน / กระดาษถุงใส่สินค้า / กระดาษแข็งลูกฟูก/กระดาษนิตยสารเก่า / ฝ้าย ส่วนผสมของกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า / กระดาษสำเนาจากสำนักงาน / กระดาษถุงใส่สินค้า / กระดาษแข็งลูกฟูก/กระดาษนิตยสารเก่า ส่วนผสมของกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า / ฝ้าย กระดาษนิตยสารเก่า และกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า ผลิตภัณฑ์จากส่วนผสมของกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า / ฝ้าย มีความแข็งแรงปานกลาง มีความอ่อนนุ่มบ้าง ผลิตภัณฑ์จากนิตยสารเก่าไม่สามารถสังเกตความอ่อนนุ่มได้แต่ก็กดได้ง่าย ผลิตภัณฑ์จากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าก็กดได้ง่าย อ่อนนุ่ม และมีความแข็งแรงต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบชนิดอื่น

Sanderson *et.al* (1997) ได้ทำการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติซึ่งเกิดพันธะเชื่อมโยง โดยเตรียมอัลคาไลน์เซลลูโลส จากเส้นใยธรรมชาติ 137.5 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 77.5 กรัม และน้ำ 285 กรัม โดยของสารเกิดพอลิเมอร์ถูกกลดลงเหลือประมาณ 200 เนื่องจากการเสียสภาพจากการออกซิเดชันของอัลคาไลน์ ถ้ายัลคาไลน์เซลลูโลสลงในเครื่องผสม และทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ 90 กรัม ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 19 จำนวน 250 กรัม และน้ำเย็น 1,275 กรัม เพื่อทำให้เป็นวิสคอส แล้วนำวิสคอสที่ได้จำนวน 1,500 กรัม ผสมกับฝ้าย 32 กรัม และผลึกโซเดียมซัลเฟตเดคาไฮเดรต (Sodium Sulphate Decahydrate) ซึ่งมีขนาดอนุภาคในช่วง 1,000 - 3,000 ไมโครเมตร จำนวน 5,000 กรัม แล้วนำเข้าแม่พิมพ์ (Mold) และกำจัดเอาโซเดียมซัลเฟตออกที่ 95 องศาเซลเซียส (วิธีที่ 1)

หรือนำวิสคอส 1,500 กรัม ผสมกับเส้นใยฝ้าย 32 กรัม และผลึกโซเดียมซัลเฟตเดคาไฮเดรต ซึ่งมีขนาดอนุภาคในช่วง 200-400 ไมโครเมตรจำนวน 3,900 กรัม และผงแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 ไมโครเมตรจำนวน 1,000 กรัม แล้วนำเข้าแบบพิมพ์ จากนั้นกำจัดเอาโซเดียมซัลเฟตออกที่ 95 องศาเซลเซียส (วิธีที่ 2)

หรือนำวิสกอส 1,500 กรัมผสมกับเอพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) 15 มิลลิลิตร ผ่าฝ้าย 80 กรัมและผลึกโซเดียมซัลเฟตเดคาไฮเดรต ซึ่งมีขนาดอนุภาคในช่วง 1,000-3,000 ไมโครเมตรจำนวน 5,000 กรัมและผงแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 ไมโครเมตรจำนวน 1,000 กรัม แล้วนำเข้าแบบพัมป์ จากนั้นกำจัดเอพิคลอโรไฮดรินที่ 95 องศาเซลเซียส จะได้วัสดุที่มีปริมาตรรูพรุนร้อยละ 91 และมีค่ารีเทนชัน 3.2 โดยในวิธีนี้จะเกิดพันธะเชื่อมโยงอย่างทันทีเมื่อเกิดเป็นฟองน้ำ (วิธีที่ 3)

นำฟองน้ำที่ได้ตามวิธีที่ 1 จำนวน 50 กรัม ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5-5.0 โมลาร์และไดคลอโรไฮดริน (Dichlorohydrin) เข้มข้นร้อยละ 1-5 โดยปริมาตรต่อปริมาตรเป็นเวลานานกว่า 1 ชั่วโมง แล้วบ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นานกว่า 1 ชั่วโมง จะได้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติซึ่งเกิดพันธะเชื่อมโยง และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกกับไอออนลบ มีค่ารีเทนชัน 3.4 และเมื่อหาปริมาตรรูพรุน พบว่ามีปริมาตรรูพรุนร้อยละ 92 เมื่อทำการตรวจสอบโดยใช้ SEM (Scanning Electron Microscope) พบว่าความหนาของผนังมีค่าประมาณ 20 ไมโครเมตร ในทำนองเดียวกันสามารถทำการทดลองที่ค่ารีเทนชันในช่วง 2 - 6 และมีปริมาตรรูพรุนในช่วงร้อยละ 70 - 98 และนำมาตัดเพื่อให้ได้พื้นที่ตัดขวางที่สะอาด นำมาทำให้แห้งโดยใช้ความเย็นเพื่อกำจัดน้ำออก และพบว่าความหนาของผนังปฐุมภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 2-300 ไมโครเมตร โดยความแตกต่างความหนาผนังปฐุมภูมิเป็นผลเนื่องมาจากองค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติในวิสกอส จำนวนผ้าฝ้าย และปริมาณสารที่ทำให้เกิดฟองในแป้งเปียก (วิธีที่ 4)

Hasan Togrul et. al. ได้ทำการสกัดเซลลูโลสจาก Sugar Beet โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 อุณหภูมิ 25, 35, 45 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 10, 16, 22 ชั่วโมง เพื่อกำจัดแพคติน และเฮมิเซลลูโลส การสกัดเซลลูโลสทำได้โดยนำ Sugar Beet มาตากแห้ง บดละเอียด แล้วนำมาให้ความร้อน 97 องศาเซลเซียส ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นนำมากรอง และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 แลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 10, 16, 22 ชั่วโมง นำมากรองและล้างด้วยน้ำกลั่นให้เป็นกลาง จากนั้นเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร กรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ 2 กรัม นำมาแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที แล้วกรอง นำส่วนที่ได้จากการกรองมาล้างน้ำกลั่นและเอทานอล เพื่อกำจัดกรด และนำมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เซลลูโลสที่ได้แสดงผลดังตารางที่ 7 สามารถสังเกตได้ว่า สามารถสกัดเซลลูโลสได้ระหว่างร้อยละ 17 ถึง 32.01 เซลลูโลสที่สกัดได้มีปริมาณลดลง เมื่อใช้เวลาและความ

เข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น และสภาวะที่สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกไปได้มากที่สุด คือ การสกัดเซลลูโลสโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ซึ่งสามารถกำจัดสิ่งเจือปนออกไปได้ร้อยละ 82.8 แทนที่จะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ซึ่งสามารถกำจัดสิ่งเจือปนออกไปได้ร้อยละ 83 เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถกำจัดสิ่งเจือปนออกไปได้เพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะเกิดความไม่คุ้มค่าในการลงทุน

ตารางที่ 7 ปริมาณเซลลูโลสที่สกัดได้จาก Sugar Beet

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นของ NaOH (%)	เวลา (ชั่วโมง)		
		10	16	22
25	5	32.01	27.11	26.64
	10	30.45	23.44	21.42
	15	30.27	21.68	18.32
35	5	29.87	26.93	23.02
	10	29.40	25.32	17.20
	15	26.78	25.25	17.00
45	5	28.61	25.47	23.82
	10	26.71	22.95	22.80
	15	26.40	22.90	19.50

อภิชาติ (2543) ได้ศึกษาการนำฟางข้าวมาเป็นวัตถุดิบ ในการผลิตเส้นใยเรยอน จากการศึกษพบว่า ฟางข้าวมีส่วนประกอบที่เป็นเซลลูโลสประมาณร้อยละ 24 - 34 โดยน้ำหนัก ซึ่งวิธีการสกัดเซลลูโลสจากฟางข้าว ทำได้โดยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการฟอกขาวเพื่อกำจัดสีตามธรรมชาติ และสิ่งเจือปนที่หลงเหลือออกไป

เมื่อได้เซลลูโลสแล้ว นำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วบีบให้พองหมาดๆ บ่มเป็นเวลา 3 วัน เพื่อควบคุมระดับการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (DP) หลังกระบวนการนี้ จะได้แอลคาไลน์เซลลูโลส เดิมคาร์บอนไดซัลไฟด์ลงในแอลคาไลน์เซลลูโลส คนให้เข้ากันแล้วเก็บในภาชนะที่ปิดสนิทที่อุณหภูมิ 30 - 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากขั้นตอนนี้ จะได้สารละลายสีส้ม เรียกว่า เซลลูโลสเซนเทต แล้วทำการเจือจางด้วย

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส บ่มต่อเพื่อให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 วัน กรองเอาส่วนที่ไม่ละลายออก จะได้สารละลายหนืดมีลักษณะคล้ายน้ำผึ้ง เรียกว่า วิสคอส นำไปฉีดลงในสารละลายที่ประกอบด้วย กรดซัลฟิวริก ซิงค์ซัลเฟต เกลือซัลเฟต กลูโคส และน้ำ จากนั้นทำการคั่งยัดหรือกรอง และล้างทำความสะอาด จะได้เส้นใยเรยอน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์

- 1.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)
- 1.2 เตาอบ (Hot Air Oven)
- 1.3 เครื่องบด
- 1.4 โถดูดความชื้น
- 1.5 เครื่องกรอง (Buchner Funnel)
- 1.6 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดถึงตำแหน่งที่ 4
- 1.7 เครื่องแก้ว
- 1.8 เครื่องกวน

2. วัตถุดิบและสารเคมี

- 2.1 ฟางข้าวจาก อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา
- 2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ความบริสุทธิ์ 99 % ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน
- 2.3 คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon disulphide, CS₂) ความบริสุทธิ์ 99.9 % ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน
- 2.4 กรดอะซิติก (Acetic acid, CH₃COOH) ความบริสุทธิ์ 99.7 % ผลิตโดยบริษัท J.T. Baker ประเทศไทย
- 2.5 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H₂SO₄) ความบริสุทธิ์ 98 % ผลิตโดยบริษัท J.T. Baker ประเทศไทย
- 2.6 โซเดียมคลอไรต์ (Sodium Chlorite, NaClO₂) ความบริสุทธิ์ 80 % ผลิตโดยบริษัท APS AJAX Finechem ประเทศออสเตรเลีย
- 2.7 โซเดียมซัลเฟต (Sodium Sulfate, Na₂SO₄) เกรดสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม
- 2.8 อะซิโตน (Acetone) ความบริสุทธิ์ 99 % ผลิตโดยบริษัท J.T. Baker ประเทศไทย

วิธีการ

1. การเตรียมฟางข้าว

นำฟางข้าวตัวอย่างที่ได้มาจากอำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ตู้อบลมร้อนและทิ้งไว้ให้เย็นในอากาศ หลังจากนั้นนำมาลดขนาดและคัดขนาดของเส้นใยด้วยเครื่องบดย่อยขนาด จนมีขนาดความยาวของเส้นใยประมาณ 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำฟางข้าวที่ผ่านการบดแล้วไปเก็บในภาชนะปิดเพื่อป้องกันความชื้น

ตัวอย่างของฟางข้าวจะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ เช่น ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เถ้า (ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI)

2. การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการปรับสภาพฟางข้าว

ในกระบวนการเตรียมสารละลายวิสคอสที่ใช้สำหรับการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ เพื่อให้ได้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ดี และมีความแข็งแรงสูง จึงจะต้องทำการเตรียมสารละลายวิสคอสให้มีความบริสุทธิ์สูง และมีร้อยละของเซลลูโลสที่สูงตามไปด้วย ฉะนั้นในการทดลองนี้ จึงจะได้มีการปรับสภาพด้วยวิธีการทางเคมีของฟางข้าวก่อนที่จะนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ดังนี้ :-

2.1 นำฟางข้าวที่ผ่านการบดแล้วมากำจัดลิกนินโดยชั่งฟางข้าวจำนวน 30 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาณ 1.6 ลิตร กรดอะซิติกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ 15 กรัม หลังจากนั้นนำไปตั้งในอ่างที่ควบคุมอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วนำมาเติมกรดอะซิติกเข้มข้นอีกจำนวน 5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ 15 กรัม เขย่าขวดเป็นระยะ เมื่อครบ 1 ชั่วโมง นำมากรองและล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นจึงนำฟางข้าวที่ได้ไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำมาเก็บไว้ในโถสุญญากาศจนกระทั่งเย็นตัวลง

2.2 นำฟางข้าวที่ผ่านการกำจัดลิกนินแล้วมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของฟางข้าวต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1 ต่อ 15 ที่อุณหภูมิ 30, 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที

นำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนมีสภาพเป็นกลาง นำฟางข้าวที่ได้ไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้นจนกระทั่งเย็นตัวลง จากนั้นนำมาวิเคราะห์น้ำหนักฟางข้าวที่หายไปในช่วงการปรับสภาพ และวิเคราะห์หาปริมาณส่วนประกอบในฟางข้าวที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการปรับสภาพ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้าต่อน้ำหนักแห้ง

ขั้นตอนการปรับสภาพเป็นการเตรียมฟางข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองให้มีร้อยละของเซลลูโลสสูงขึ้น แต่มีร้อยละของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสต่ำลง โดยในช่วงการปรับสภาพจะมีน้ำหนักฟางข้าวที่หายไป ซึ่งในการทดลองนี้เลือกสภาวะในการปรับสภาพที่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวมีค่าที่สูงขึ้น และน้ำหนักฟางข้าวที่หายไปหลังการปรับสภาพไม่สูงนักมาใช้ในการปรับสภาพฟางข้าวก่อนนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติในขั้นต่อไป

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

3.1 การแช่ (Steeping) แช่ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพแล้วในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของฟางข้าวต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1 ต่อ 15 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะเกิดเป็นอัลคาไลน์เซลลูโลส หลังจากครบ 3 ชั่วโมงแล้วทำการแยกสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนเกินออกจากฟางข้าวด้วยการกรอง

3.2 การบ่ม (Aging) บ่มอัลคาไลน์เซลลูโลสที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.3 แชนเทชั่น (Xanthation) ทำได้โดยเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ร้อยละ 35 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของเซลลูโลสลงไปในอัลคาไลน์เซลลูโลส ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีกร

คนเป็นระยะ เพื่อให้อัลคาไลน์เซลลูโลสทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดซัลไฟด์อย่างทั่วถึงเกิดเป็นเซลลูโลสแซนเทต

3.4 การเจือจาง (Dissolving) เดิมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรลงในเซลลูโลสแซนเทต ให้ปริมาณเซลลูโลสในวิสคอสเป็นร้อยละ 3, 4, 5 และ 6 โดยน้ำหนัก โดยกวนด้วยเครื่องกวน จนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน

3.5 Ripening นำวิสคอสมาแช่เย็นไว้ 48 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ ได้วิสคอส ซึ่งเป็นของเหลวที่มีความเหนียว และมีลักษณะคล้ายน้ำผึ้ง

3.6 การขึ้นรูปเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ (Cellulose Sponge Formation) ทำได้โดยนำวิสคอสมาขึ้นรูปเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติในแบบพิมพ์รูปวงกลม โดยในการทดลองจะใช้สัดส่วนปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส 3, 4, 5 และ 6 และเติมโซเดียมซัลเฟตในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต เท่ากับ 1:1 และ 1:2 จากนั้นใส่เส้นใยฝ้ายยาว 5 มิลลิเมตรร้อยละ 1-2 โดยน้ำหนักของวิสคอส เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ดังรายละเอียดในตารางที่ 8 แล้วขึ้นรูปในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร

ตารางที่ 8 สภาวะต่างๆที่ใช้ในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

ตัวอย่าง	ปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส (%)	วิสคอส:โซเดียมซัลเฟต (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณเส้นใยฝ้าย (%)
1	3	1:1	0
2			1
3			2
4		1:2	0
5			1
6			2
7	4	1:1	0
8			1
9			2
10		1:2	0
11			1
12			2
13	5	1:1	0
14			1
15			2
16		1:2	0
17			1
18			2
19	6	1:1	0
20			1
21			2
22		1:2	0
23			1
24			2

4. การทดสอบคุณสมบัติของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

นำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้มาทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความสามารถดูดซึมน้ำ (Water Absorption) การพองตัว (Swelling) ปริมาณน้ำผูกพัน (Bound Water) และการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) โดยตัดฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติเป็นแผ่นยาวขนาด 1.5 X 8.5 เซนติเมตร

4.1 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

นำแผ่นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมาอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่ มาแช่น้ำเป็นเวลา 5 นาที และนำออกมาชั่งน้ำหนัก โดยความสามารถในการดูดซึมน้ำแสดงเป็นปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ต่อฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ 1 กรัม (Ryan 2005)

4.2 การพองตัว

นำแผ่นฟองน้ำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมาแช่น้ำเป็นเวลา 5 นาที และนำออกมาวัดขนาดเทียบกับขนาดของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติขณะแห้ง โดยค่าการพองตัวแสดงเป็นร้อยละโดยปริมาตรเทียบกับปริมาตรของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติขณะแห้ง (Ryan 2005)

4.3 ปริมาณน้ำผูกพัน

ปริมาณน้ำผูกพัน คือ น้ำที่ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติดูดซึมไว้ ซึ่งไม่สามารถบีบออกได้ แต่สามารถถูกกำจัดได้โดยวิธีการทำให้ระเหยเท่านั้น หาได้โดยนำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมาแช่น้ำเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นบีบน้ำออก และบีบโดยใช้กระดาษซับเป็นเวลา 1 นาที นำไปชั่งน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักขณะแห้ง (Ryan 2005)

4.4 การทนต่อแรงดึง

นำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมาวัดค่าการทนต่อแรงดึง โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ HOUNSFIELD รุ่น H50KS ที่อัตราการดึง 1 มิลลิเมตรต่อวินาที

5. การศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

การทดสอบนี้ทำการถ่ายภาพโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น S-2500 โดยนำตัวอย่างไปทำการโค้ด Pt/Pd เพื่อให้อนุภาคอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

6. ทดลองปลูกพืชในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

ทำการทดลองปลูกพืชในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติเทียบกับการปลูกลงดิน พืชที่ใช้ คือ ผักกาดหอม โดยใช้เมล็ดพันธุ์ของบริษัท เจียไต๋ จำกัด ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ความงอกร้อยละ 65 ปลูกลงในกระถางๆละ 20 เม็ด ให้น้ำในปริมาณเท่าๆ กัน และถ่วงอก โดยใช้เมล็ดถั่วเขียวตราไร่ทิพย์

ผลและวิจารณ์

การผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติผ่านกระบวนการเตรียมของผสมหนืด ประกอบด้วย ขั้นตอนการปรับสภาพฟางข้าว การผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ การทดสอบคุณสมบัติ และการนำ ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมาทดลองปลูกพืช

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว

ฟางข้าวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองนี้เป็นฟางข้าวที่ได้จากอำเภอสองเนิน จังหวัด นครราชสีมา เมื่อทำการลดขนาดของฟางข้าวและนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของฟาง ข้าวด้วยวิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน TAPPI (ภาคผนวก ก) จะพบว่าฟางข้าวจะมีเซลลูโลสเป็น องค์ประกอบร้อยละ 40.33 โดยน้ำหนัก และมีเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 30.57 โดยองค์ประกอบทางเคมี ของเส้นใยฝ้ายแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละขององค์ประกอบ
เซลลูโลส	40.33
เฮมิเซลลูโลส	30.57
ลิกนินและสารแทรก	9.45
เถ้า	19.65

หมายเหตุ ค่าแอลฟาเซลลูโลส + เฮมิเซลลูโลส + ลิกนินและสารแทรก + เถ้า เท่ากับร้อยละ 100

2. ผลการปรับสภาพฟางข้าว

การปรับสภาพฟางข้าวจะเป็นกระบวนการที่ทำให้ร้อยละของเซลลูโลสในฟางข้าวสูงขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำหนักโดยการกำจัดองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไป โดยการนำฟางข้าวมา ฟอกขาวด้วยโซเดียมคลอไรด์ และกรดอะซิติก และนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่

ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของฟางข้าวต่อสารละลายเท่ากับ 1 ต่อ 15 โดยองค์ประกอบทางเคมีหลังการปรับสภาพแล้วจะแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ

ความเข้มข้น NaOH (%)	อุณหภูมิที่ใช้ ทำปฏิกิริยา (°C)	องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว หลังจากการปรับสภาพ (%)				น้ำหนักฟาง ข้าวที่หายไป ในการปรับ สภาพ(%)
		เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เถ้า	
4	30	71.86	15.11	3.00	10.03	40.55
	50	76.34	12.12	2.67	8.87	51.76
	70	81.22	9.61	2.01	7.16	54.72
	90	82.79	8.86	1.85	6.50	57.27
6	30	74.05	13.86	2.81	9.28	42.17
	50	80.77	9.74	2.39	7.10	54.08
	70	85.38	7.13	1.84	5.65	56.34
	90	87.71	5.52	1.32	5.45	60.46
8	30	79.22	11.77	2.33	6.68	47.71
	50	85.91	7.68	1.87	4.54	56.76
	70	88.15	5.88	1.41	4.56	58.21
	90	91.38	4.27	1.15	3.20	61.56
10	30	82.47	9.67	1.91	5.95	51.67
	50	87.23	6.36	1.37	5.04	58.36
	70	92.51	2.75	1.01	3.73	61.51
	90	92.98	2.43	0.90	3.69	64.87

หมายเหตุ ค่าแอลฟาเซลลูโลส + เฮมิเซลลูโลส + ลิกนินและสารแทรก + เถ้า เท่ากับร้อยละ 100

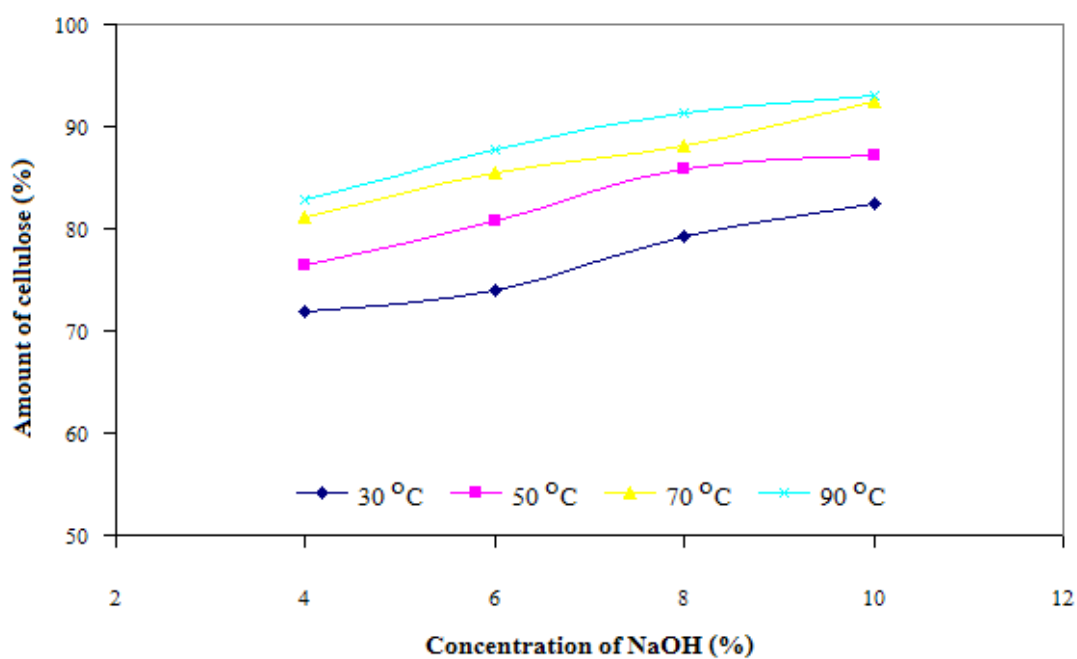
จากตารางที่ 10 พบว่าที่ทุกๆ สภาวะที่ใช้ในการทดลองจะมีผลทำให้ร้อยละของแอลฟาเซลลูโลสมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนเฮมิเซลลูโลส ลิกนินและเถ้ามีค่าลดลงเทียบกับก่อนการปรับสภาพดังแสดงในภาพที่ 21, 22 และ 23

2.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อกระบวนการปรับสภาพฟางข้าว

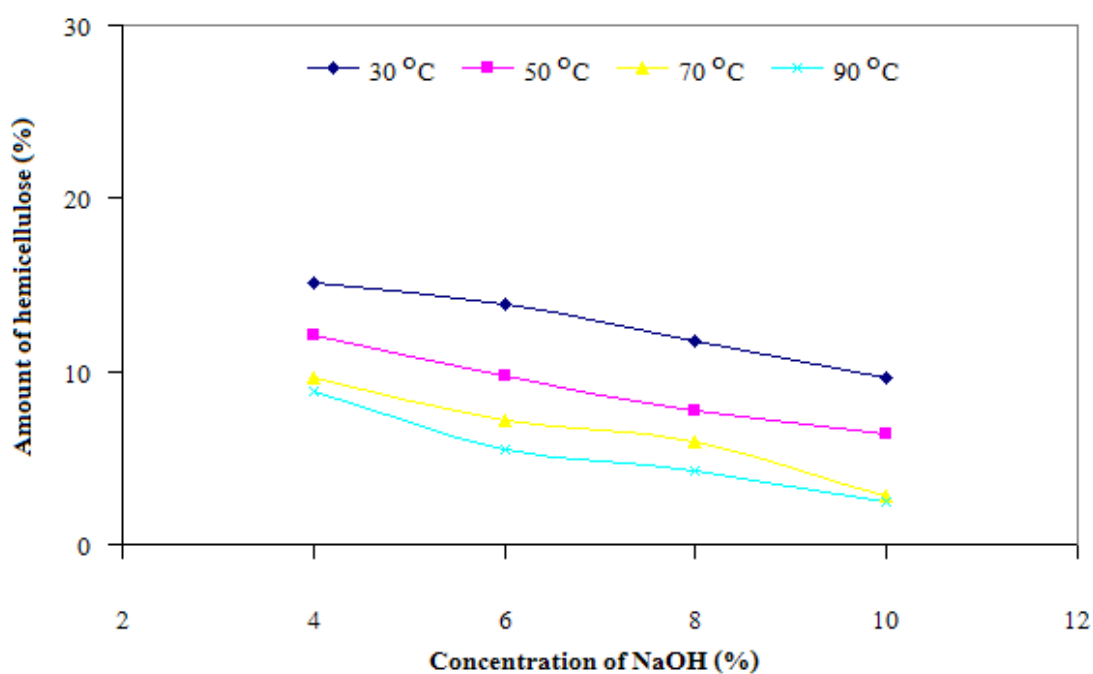
จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อกระบวนการปรับสภาพ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีค่าสูงมากขึ้น ร้อยละของเซลลูโลสในฟางข้าวก็จะมีค่าสูงมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งตรงกันข้ามกับองค์ประกอบอื่นที่จะมีค่าลดลงได้แก่ เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า โดยเกิดจากการที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปย่อยสลายกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ และยังทำหน้าที่ในการย่อยสลายลิกนินให้มีค่าลดน้อยตามลงไปด้วย และพบว่าที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 มีแนวโน้มที่จะให้ร้อยละของแอลฟาเซลลูโลสในฟางข้าวสูงที่สุด

2.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการปรับสภาพฟางข้าวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

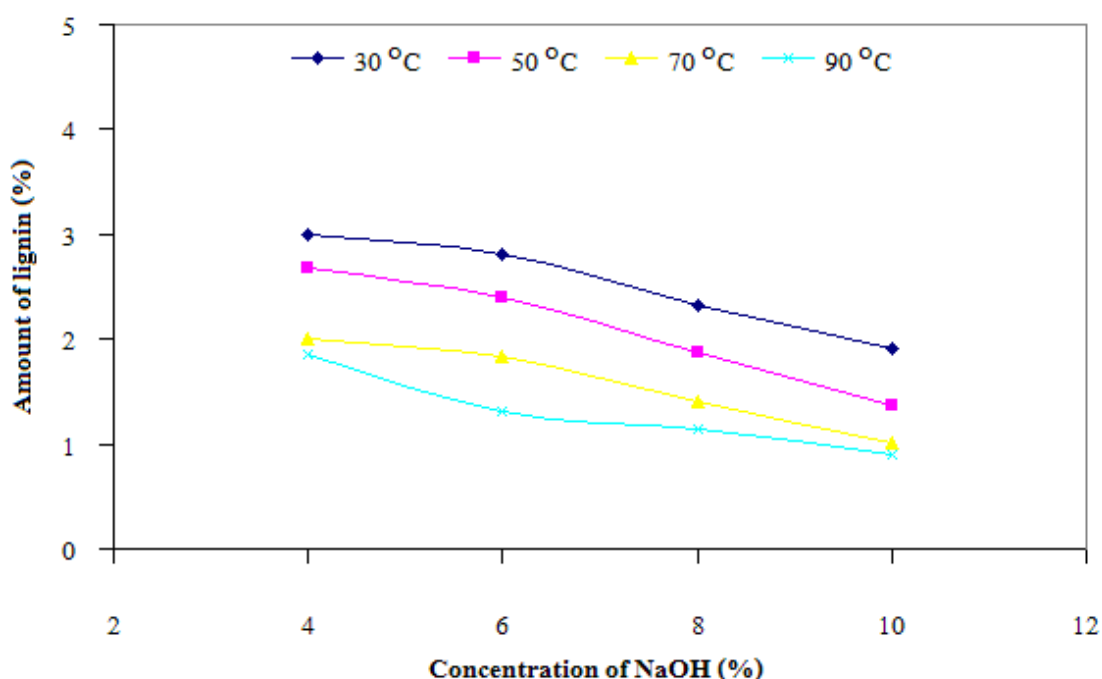
จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการย่อยสลายในสภาวะต่าง จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้มีค่าสูงมากขึ้น ร้อยละของแอลฟาเซลลูโลสก็จะมีค่าสูงมากขึ้นตามไปด้วยในทุกๆ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และจะพบว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มที่จะให้ร้อยละของแอลฟาเซลลูโลสในฟางข้าวสูงที่สุด



ภาพที่ 21 ร้อยละของเซลลูโลสในฟางข้าวหลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 22 ร้อยละของเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวหลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 23 ร้อยละของลิกนินในฟางข้าวหลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิให้มีค่าสูงขึ้น จะมีน้ำหนักฟางข้าวที่หายไปในช่วงการปรับสภาพสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาผลการปรับสภาพที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีเซลลูโลสร้อยละ 92.51 ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาขึ้นเป็น 90 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละของแอลฟาเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยมีแอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 92.98 ดังนั้น การทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จึงไม่เพิ่มประสิทธิภาพในการปรับสภาพเท่าใดนัก และยังมีน้ำหนักฟางข้าวที่หายไปในช่วงการปรับสภาพสูงกว่า ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพฟางข้าว คือ ที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที โดยฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสภาวะดังกล่าว แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 การปรับสภาพฟางข้าวโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (a) ฟางข้าวก่อนการปรับสภาพ (b) ฟางข้าวหลังการปรับสภาพ

3. การผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าว

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากฟางข้าว โดยเมื่อนำฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับสภาพมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยกระบวนการเตรียมของผสมหนืดพบว่าฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้ มีลักษณะเป็นรูปพูน มีสีน้ำตาล เนื่องจากองค์ประกอบของลิกนินในฟางข้าวที่ยังไม่ได้ถูกกำจัดออกไป จึงทำให้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้ยังคงมีสีอยู่ อีกทั้งฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ได้ไม่มีความเหนียวหรือยืดหยุ่น เปราะและแตกหักง่าย เนื่องจากการที่ไม่ได้กำจัดองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ที่ไม่ใช่แอลฟาเซลลูโลสในวัตถุดิบออกก่อน ดังแสดงในภาพที่ 25 ดังนั้นการปรับสภาพของฟางข้าวที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติก่อนจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

เมื่อนำฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแล้วมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ โดยในขั้นตอนการขึ้นรูป เซลลูโลสจะค่อยๆ รีเจนเนอเรตขึ้นเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งการขึ้นรูปจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์นั้น ใช้เวลาประมาณ 2 วัน และเปลี่ยนกรดที่ใช้ในการขึ้นรูป 2 ครั้ง พบว่าฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้มีสีขาว มีความแข็งแรง และยืดหยุ่น ดังภาพที่ 26 สามารถนำไปใช้งานได้เหมือนฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติทั่วไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว เป็นวัตถุดิบในการผลิตที่สภาวะต่างๆ และนำฟองน้ำที่ผลิตได้มาทดสอบคุณสมบัติ ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ดูดซับได้ การพองตัว ปริมาณน้ำผูกพัน และการทนต่อแรงดึง



ภาพที่ 25 ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้ (a) ผลิตจากฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ (b) ผลิตจากฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว

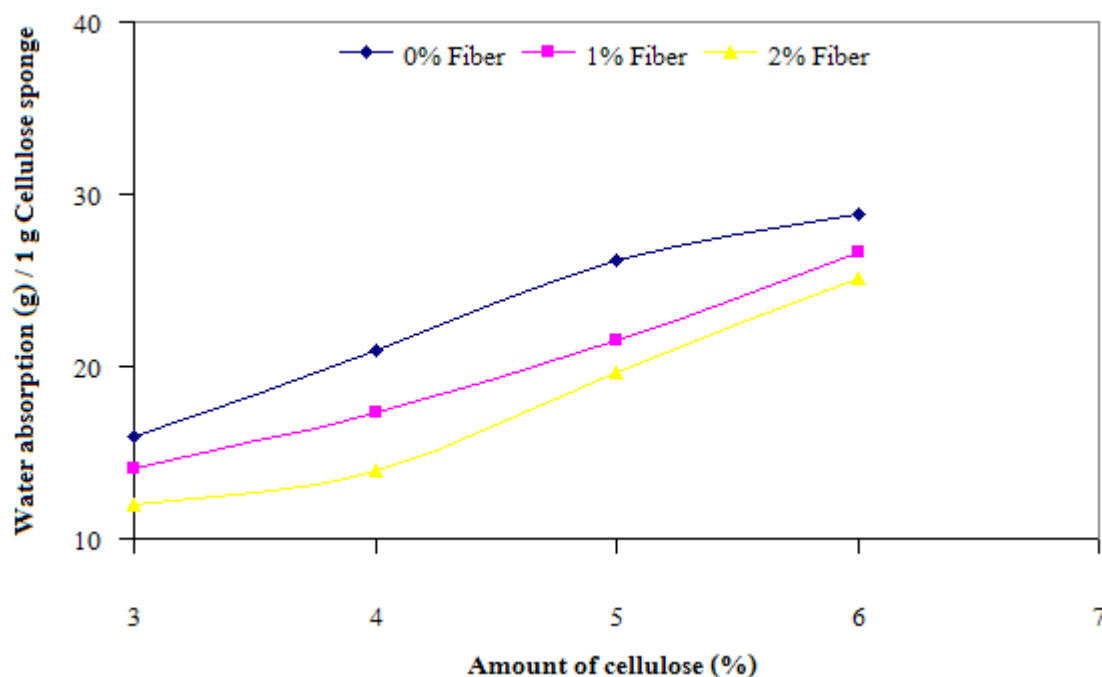
4. การทดสอบคุณสมบัติของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

4.1 ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้

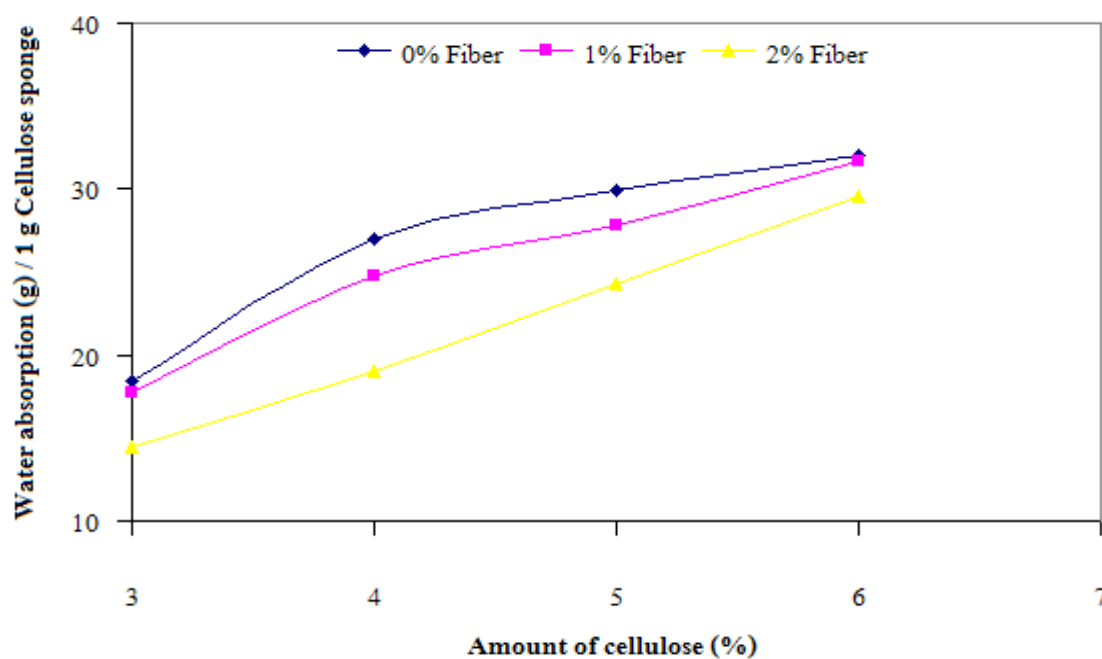
จากตารางที่ 11 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในวิสคอสให้มีความสูงขึ้นจากร้อยละ 3 ไปยังร้อยละ 6 ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจะมีความสูงขึ้นไปด้วย และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต จะพบว่าที่อัตราส่วน 1:2 มีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าที่อัตราส่วน 1:1 เนื่องจากปริมาณโซเดียมซัลเฟตที่ใส่เข้าไป ทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็ก เมื่อใส่ในสัดส่วนที่มาก ทำให้เกิดรูพรุนปริมาณมาก จึงมีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในภาพที่ 27 และ 28 และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณเส้นใยฝ้าย พบว่าที่ทุกๆ การทดลองที่ไม่ใส่เส้นใยฝ้ายจะให้ค่าปริมาณการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าเมื่อใส่เส้นใยฝ้ายร้อยละ 1 และ 2 แสดงดังภาพที่ 29, 30, 31 และ 32 เนื่องมาจากการเพิ่มเส้นใยฝ้ายเข้าไปในฟองน้ำจะทำให้ฟองน้ำมีความแน่นและแข็งแรงขึ้น จึงเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้มีค่าลดน้อยลงตามปริมาณที่ใส่ไปด้วย และจากผลการทดลองจะพบว่าเมื่อทำการขึ้นรูปโดยใช้วิสคอสที่มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 6 อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต เป็น 1:2 และไม่ใส่เส้นใยฝ้าย จะให้ค่าปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้สูงมีค่าที่สุดคือ 32.06 เท่าของน้ำหนักฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

ตารางที่ 11 ผลของปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

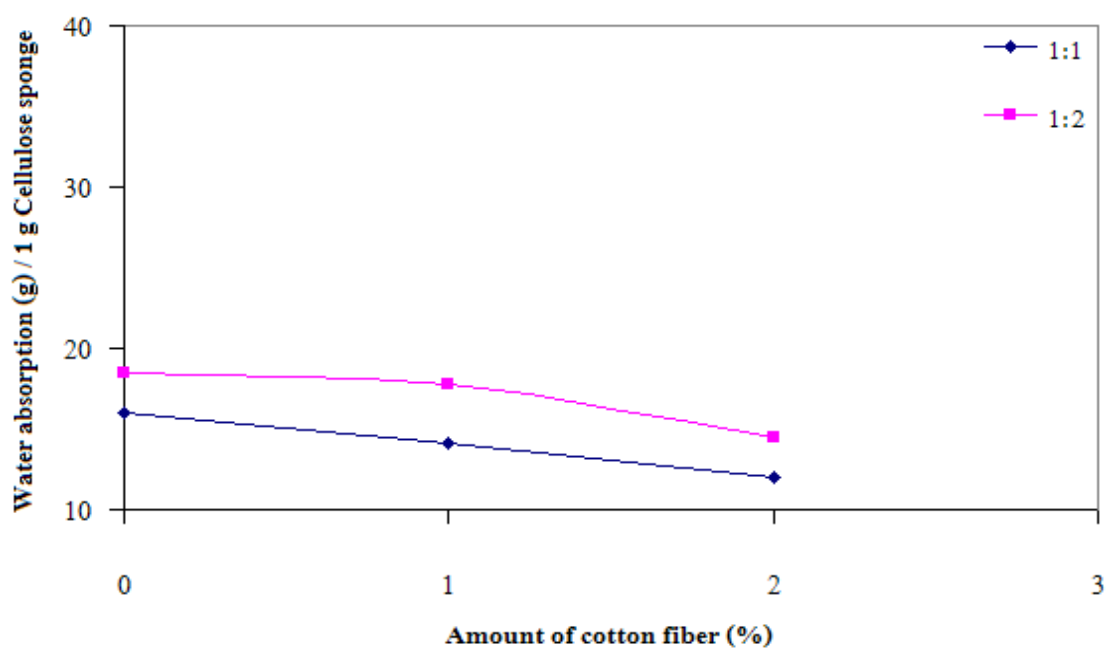
ปริมาณเซลลูโลส (%)	วิสกอสต่อโซเดียมซัลเฟต	ปริมาณเส้นใยฝ้าย (%)	ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ (กรัมต่อฟองน้ำ 1 กรัม)
3	1:1	0	15.96
		1	14.09
		2	12.02
	1:2	0	18.42
		1	17.71
		2	14.46
4	1:1	0	20.94
		1	17.31
		2	13.93
	1:2	0	27.03
		1	24.72
		2	18.99
5	1:1	0	26.13
		1	21.48
		2	19.67
	1:2	0	29.89
		1	27.84
		2	24.33
6	1:1	0	28.78
		1	26.59
		2	25.11
	1:2	0	32.06
		1	31.67
		2	29.61



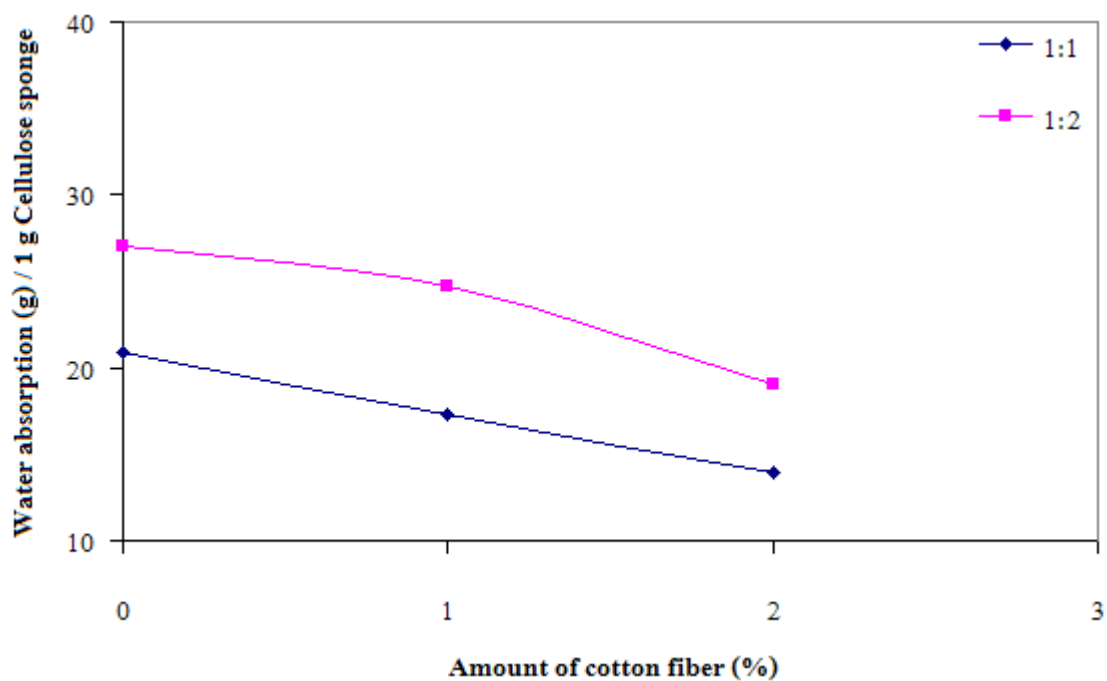
ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:1



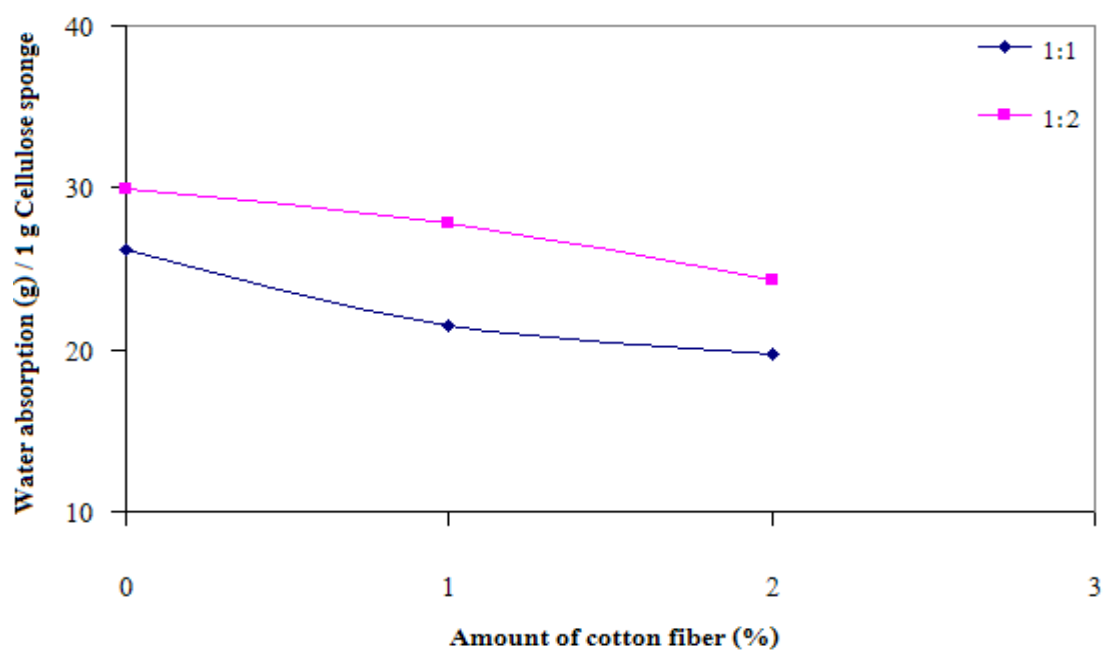
ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2



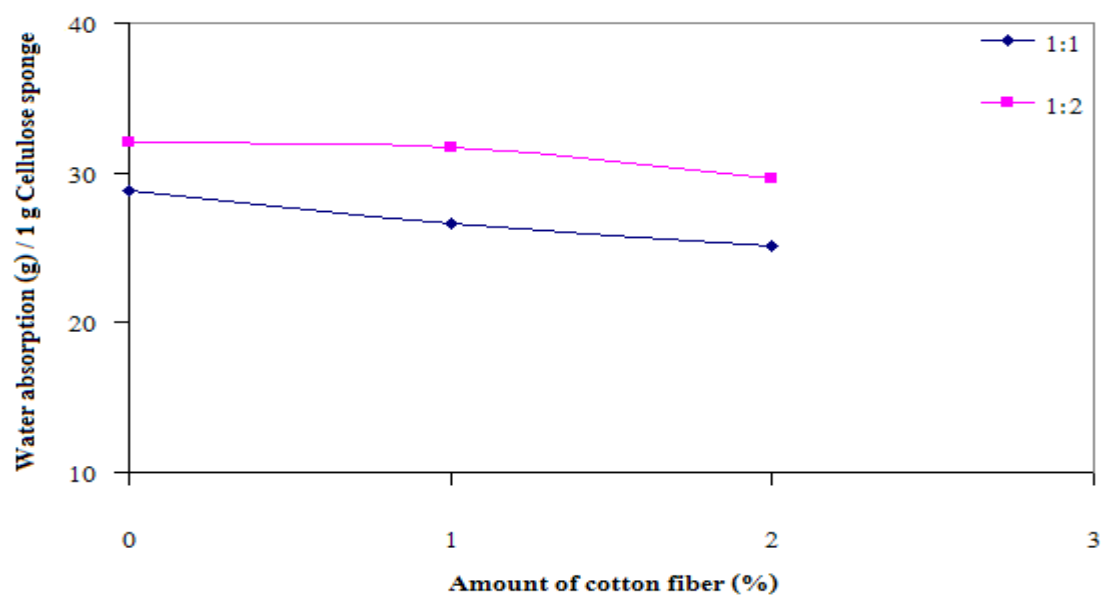
ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 3



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 4



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 5



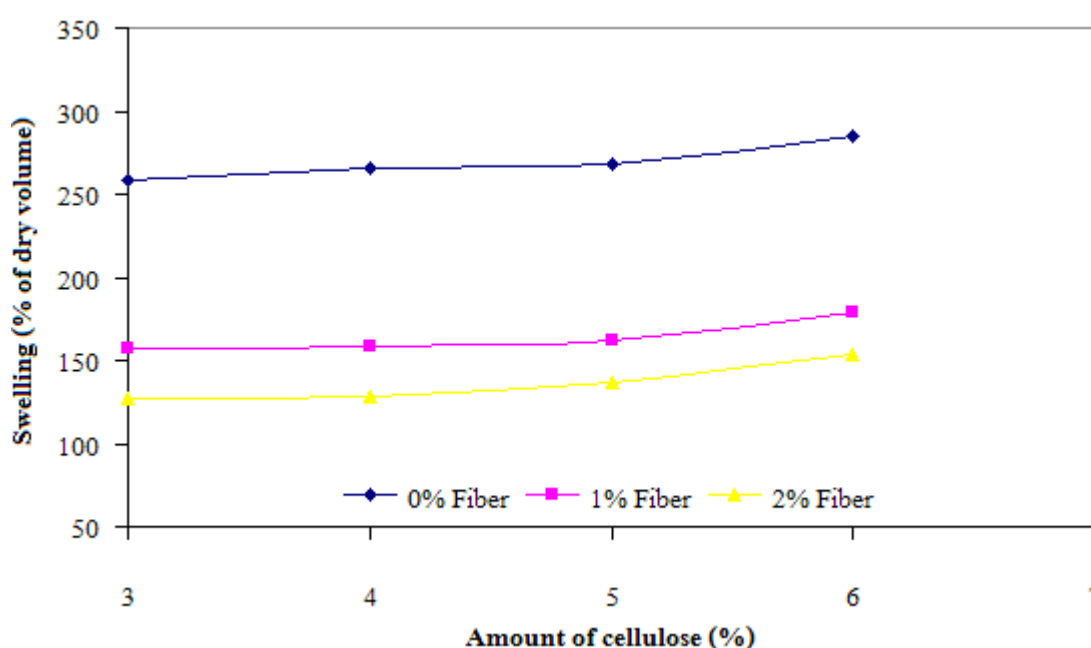
ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 6

4.2 การพองตัว

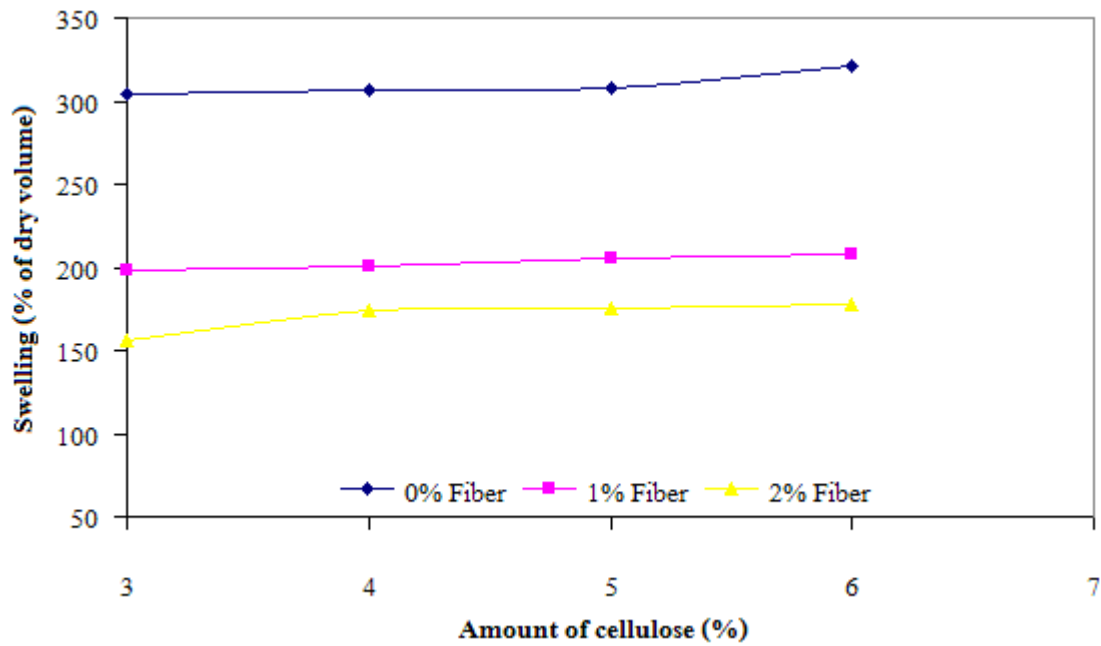
ตารางที่ 12 ผลการพองตัวของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

ปริมาณเซลลูโลส (%)	วิสกอสต่อโซเดียมซัลเฟต	ปริมาณเส้นใยฝ้าย (%)	การพองตัว (% of dry volume)
3	1:1	0	258.04
		1	157.31
		2	127.45
	1:2	0	303.85
		1	197.98
		2	155.66
4	1:1	0	265.11
		1	158.61
		2	128.23
	1:2	0	306.38
		1	200.13
		2	174.57
5	1:1	0	267.64
		1	162.51
		2	136.43
	1:2	0	308.11
		1	205.32
		2	175.04
6	1:1	0	285.03
		1	179.24
		2	153.89
	1:2	0	320.97
		1	207.31
		2	177.43

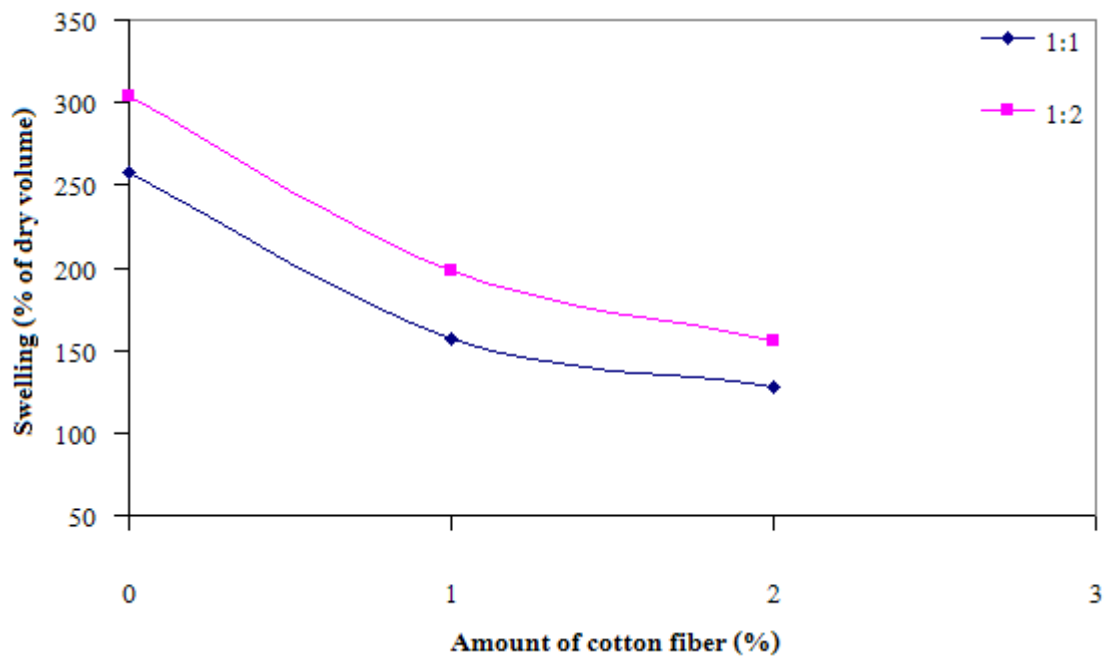
จากตารางที่ 12 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในวิสคอสจากร้อยละ 3 ไปยังร้อยละ 6 ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมีการพองตัวในขณะที่เป็ยกคิดเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับปริมาตรขณะแห้ง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นแสดงดังภาพที่ 33 และ 34 และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตจะพบว่าที่อัตราส่วน 1:2 จะเกิดการพองตัวมากกว่า 1:1 อันเนื่องจากปริมาณของโซเดียมซัลเฟตที่มีมากกว่า เมื่อนำมาขึ้นรูปในกรดซัลฟิวริก เกิดการรีเจนเนอเรตของเซลลูโลส และละลายโซเดียมซัลเฟตออกไป ทำให้โครงสร้างที่เกิดมีความพรุนมากกว่า จึงเกิดการพองตัวได้มากกว่า และเมื่อพิจารณาผลของเส้นใยฝ้ายที่มีผลต่อการพองตัวของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ จะพบว่าที่ทุกๆ การทดลองที่ไม่ใส่เส้นใยฝ้ายจะให้ค่าการพองตัวของฟองน้ำที่สูงกว่าเมื่อใส่เส้นใยฝ้ายร้อยละ 1 และ 2 เสมอ ดังภาพที่ 35, 36, 37 และ 38 เนื่องมาจากปริมาณเส้นใยที่ใส่เพิ่มเข้าไปนี้จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างของเซลลูโลสที่เกิดขึ้นใหม่และยึดติดกับโครงสร้างของเซลลูโลสที่เกิดขึ้นใหม่ ทำให้ฟองน้ำเกิดการพองตัวได้ไม่เต็มที่ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการขึ้นรูปโดยใช้วิสคอสที่มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 6 อัตราส่วนของวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2 และไม่ใส่เส้นใยฝ้ายเพิ่มจะให้ค่าการพองตัวที่สูงที่สุด คือ ร้อยละ 320.97 เมื่อเทียบกับปริมาตรขณะแห้ง



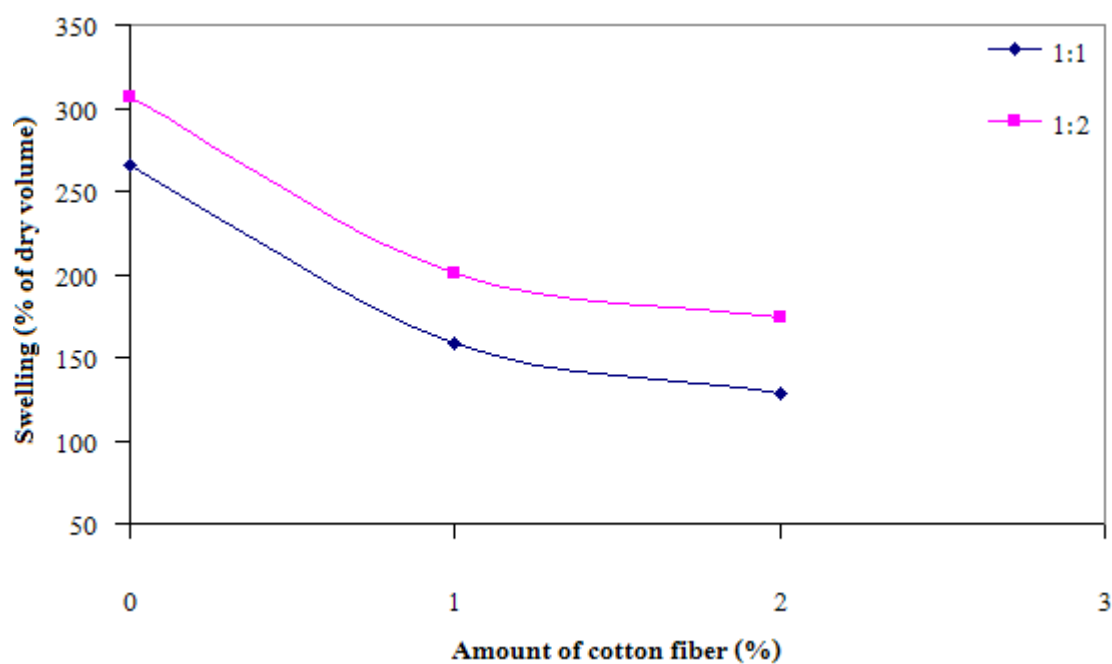
ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:1



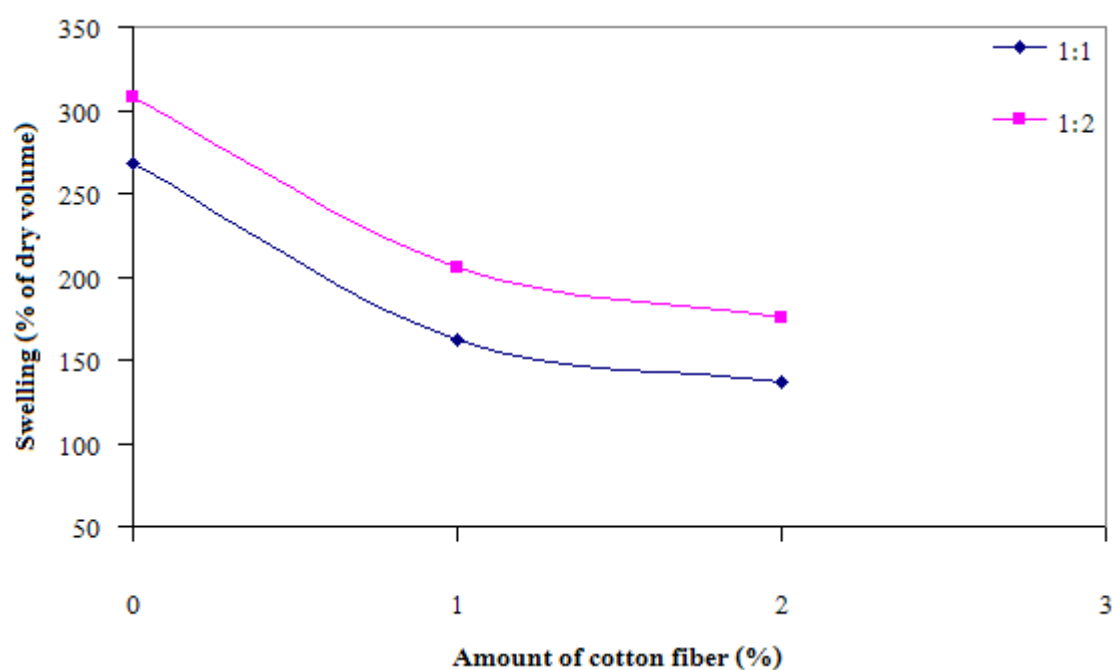
ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2



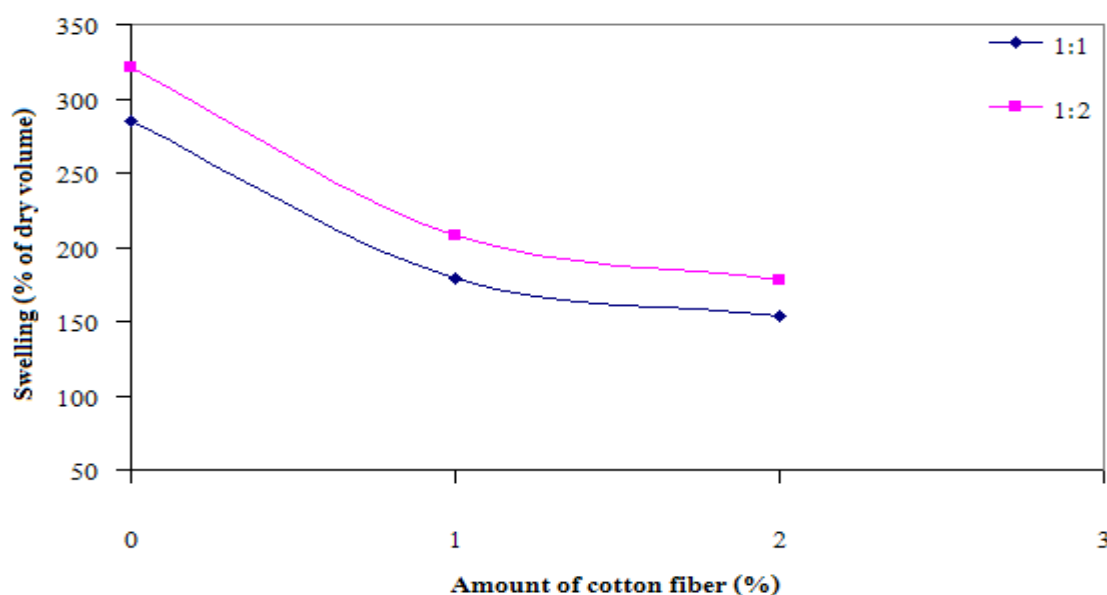
ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 3



ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 4



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 5



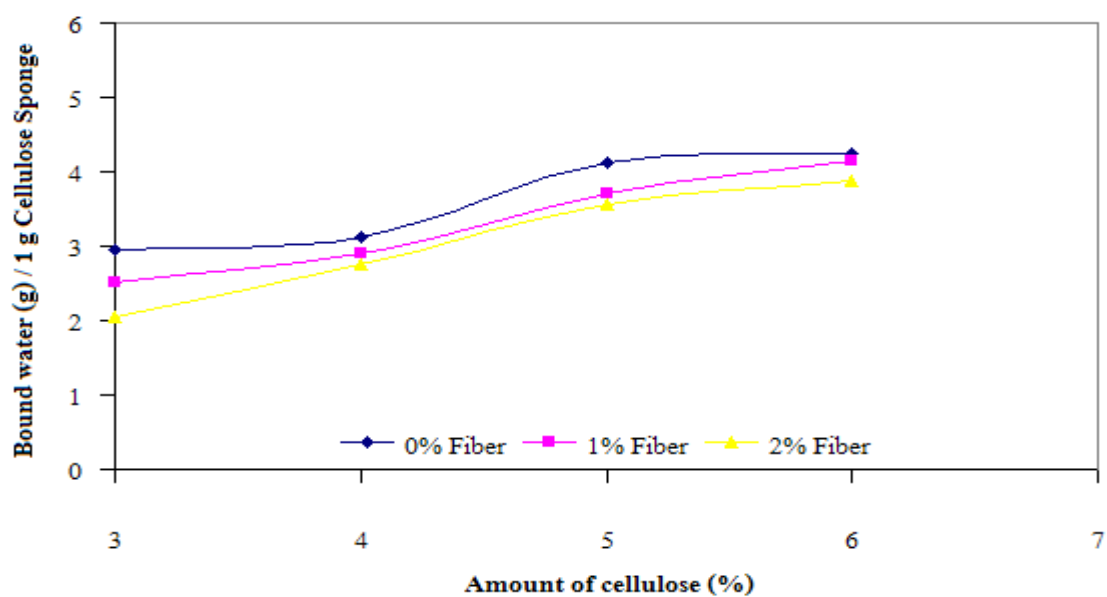
ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 6

4.3 ปริมาณน้ำผูกพัน

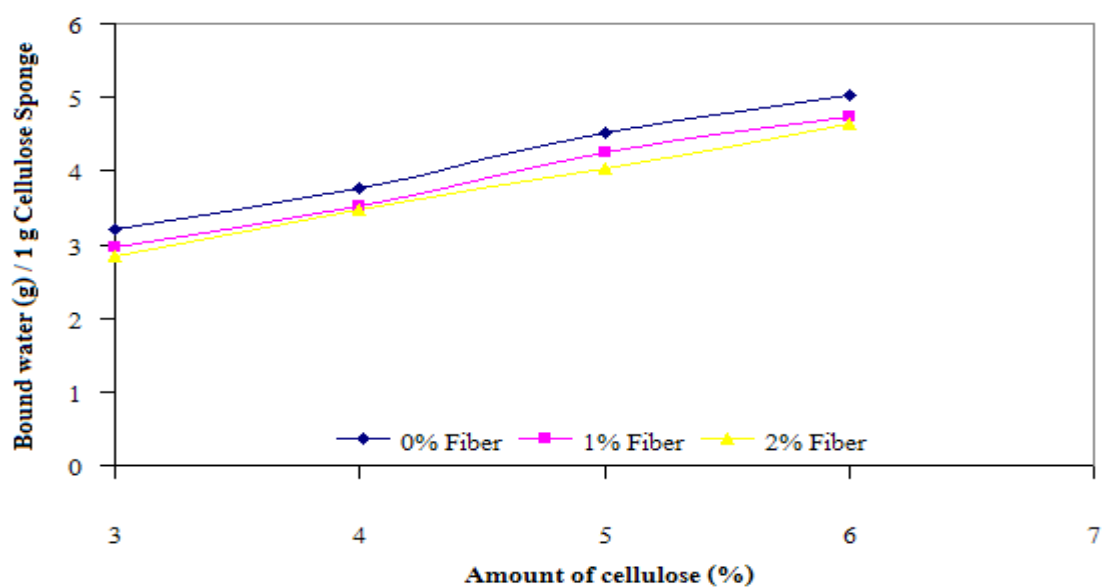
จากตารางที่ 13 พบว่าปริมาณน้ำผูกพันของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในวิสคอสให้มีความสูงชันจากร้อยละ 3 ไปยังร้อยละ 6 ดังภาพที่ 39 และ 40 เนื่องมาจากปริมาณเซลลูโลสที่เกิดขึ้นใหม่ขณะทำการรีเจนเนอเรต จะเกิดขึ้นมากตามปริมาณเซลลูโลสที่ละลายอยู่ในสารละลายวิสคอส จึงทำให้โครงสร้างของฟองน้ำมีปริมาณเซลลูโลสมากกว่า ส่งผลให้ปริมาณน้ำผูกพันของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต พบว่าที่อัตราส่วน 1:2 มีแนวโน้มที่จะให้ค่าปริมาณน้ำผูกพันสูงกว่า 1:1 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากที่อัตราส่วน 1:2 มีปริมาณรูพรุนในโครงสร้างที่สูงมากกว่าที่อัตราส่วน 1:1 จึงเป็นผลทำให้ปริมาณน้ำผูกพันของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมีแนวโน้มที่สูงตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาผลของเส้นใยฝ้าย พบว่าที่ทุกๆ การทดลองที่ไม่ใส่เส้นใยฝ้ายจะมีปริมาณน้ำผูกพัน สูงกว่าเมื่อใส่เส้นใยฝ้ายร้อยละ 1 และ 2 ตามลำดับ ดังภาพที่ 41, 42, 43 และ 44 เนื่องจากการเพิ่มเส้นใยฝ้ายเข้าไปในฟองน้ำทำให้ฟองน้ำมีการเกาะตัวกันแน่น มีสมบัติการยืดหยุ่นน้อยลง จึงส่งผลให้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติเก็บกักน้ำไว้ในรูปของปริมาณน้ำผูกพันได้น้อยลงตามปริมาณเส้นใยฝ้ายที่ใส่เข้าไป จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการขึ้นรูปโดยใช้วิสคอสที่มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 6 อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2 และไม่ใส่เส้นใยฝ้ายจะทำให้มีปริมาณน้ำผูกพันสูงสุดคือ 5.03 เท่าของน้ำหนักฟองน้ำ

ตารางที่ 13 ผลปริมาณน้ำผุกพันของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

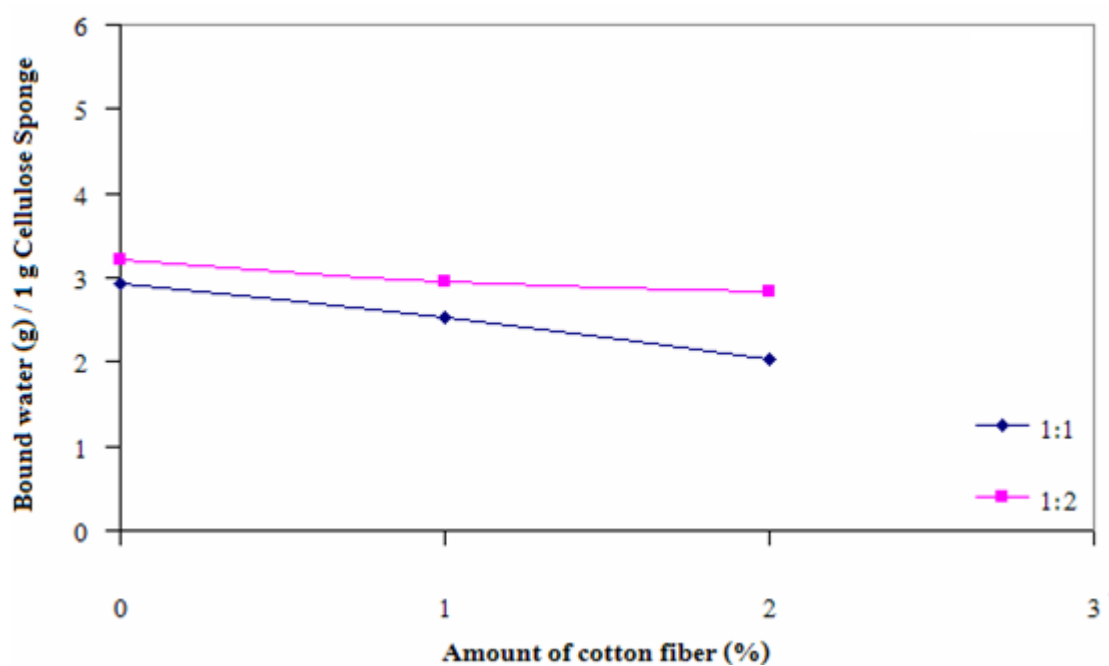
ปริมาณเซลลูโลส (%)	วิสกอสต่อโซเดียมซัลเฟต	ปริมาณเส้นใยฝ้าย (%)	ปริมาณน้ำผุกพัน (กรัมต่อฟองน้ำ 1 กรัม)
3	1:1	0	2.94
		1	2.52
		2	2.04
	1:2	0	3.21
		1	2.96
		2	2.83
4	1:1	0	3.11
		1	2.91
		2	2.76
	1:2	0	3.76
		1	3.52
		2	3.47
5	1:1	0	4.11
		1	3.71
		2	3.56
	1:2	0	4.53
		1	4.24
		2	4.03
6	1:1	0	4.25
		1	4.14
		2	3.89
	1:2	0	5.03
		1	4.74
		2	4.63



ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:1

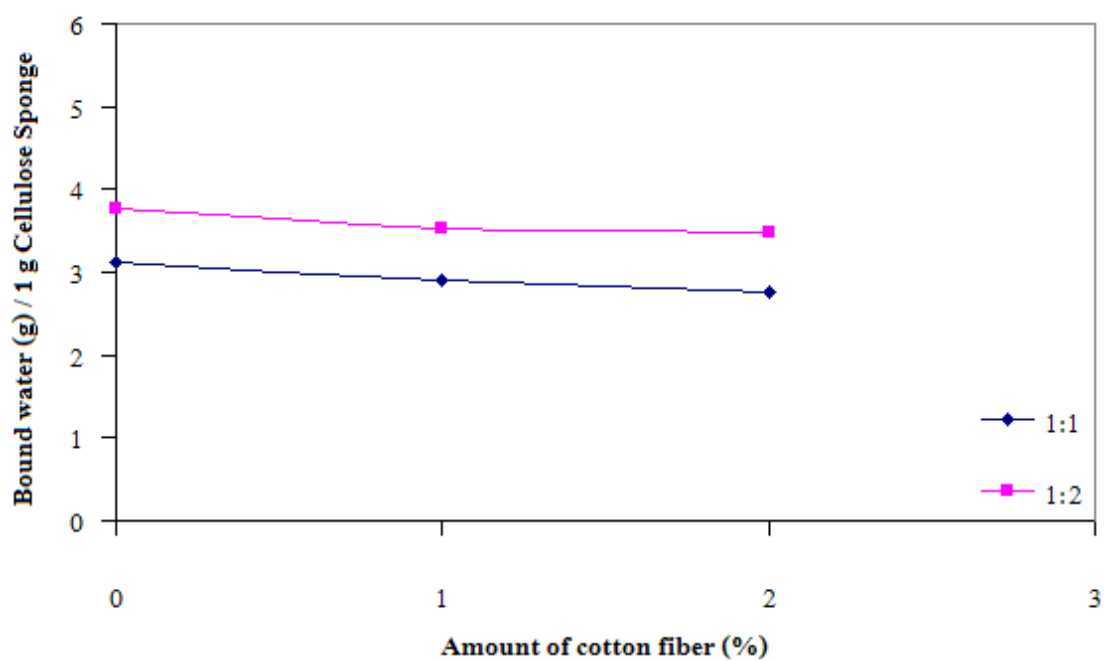


ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2



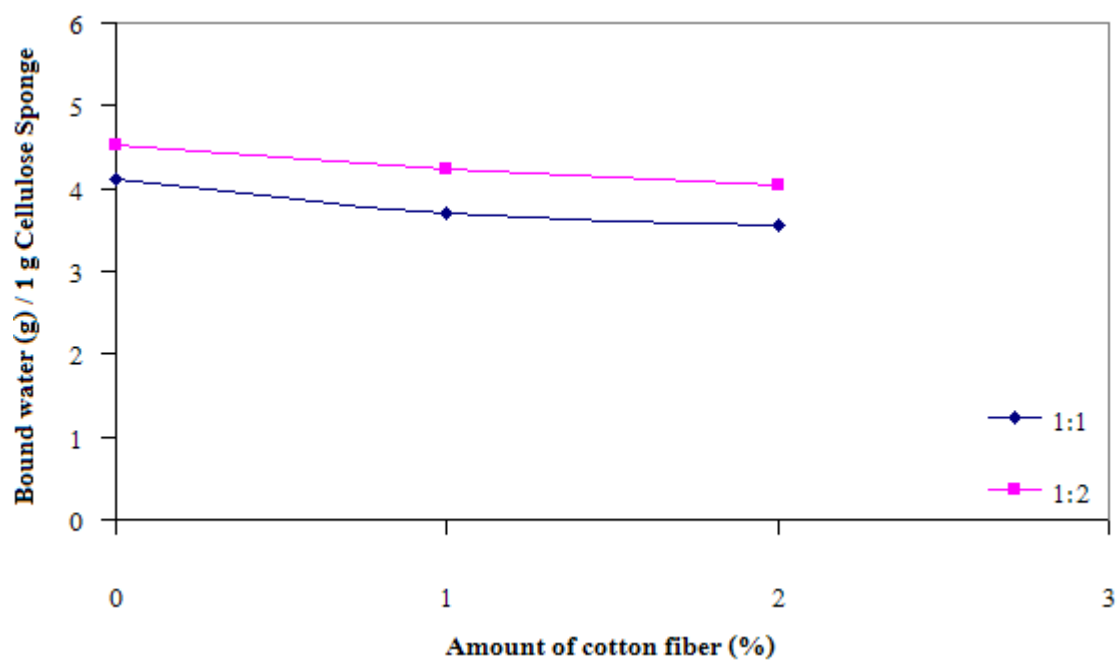
ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ

3



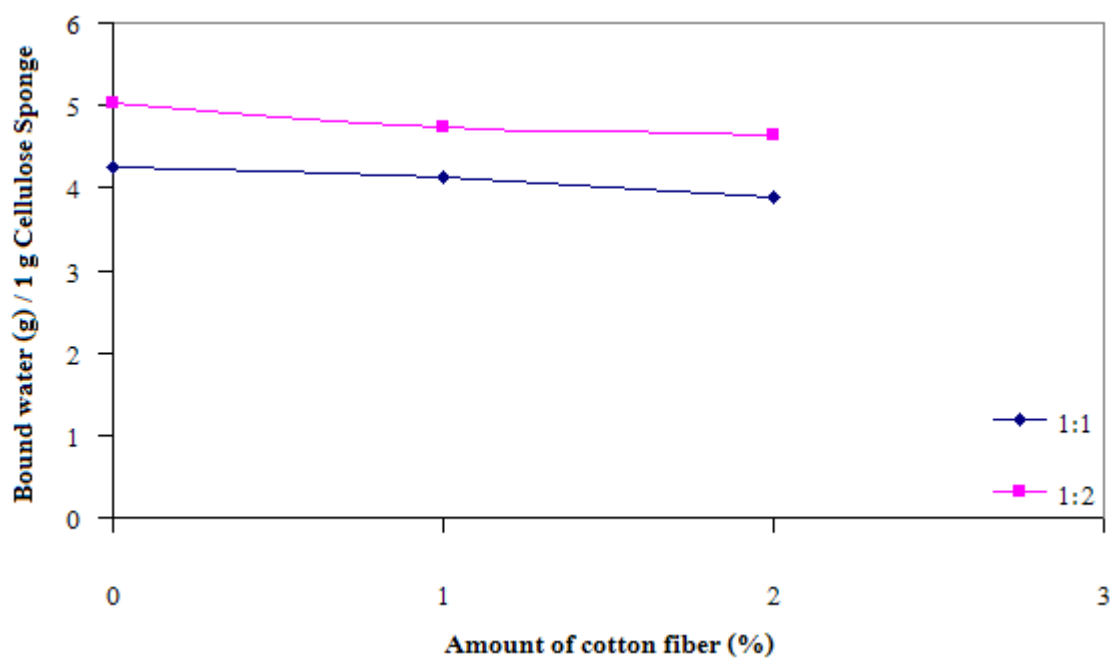
ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ

4



ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ

5



ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผูกพันกับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ

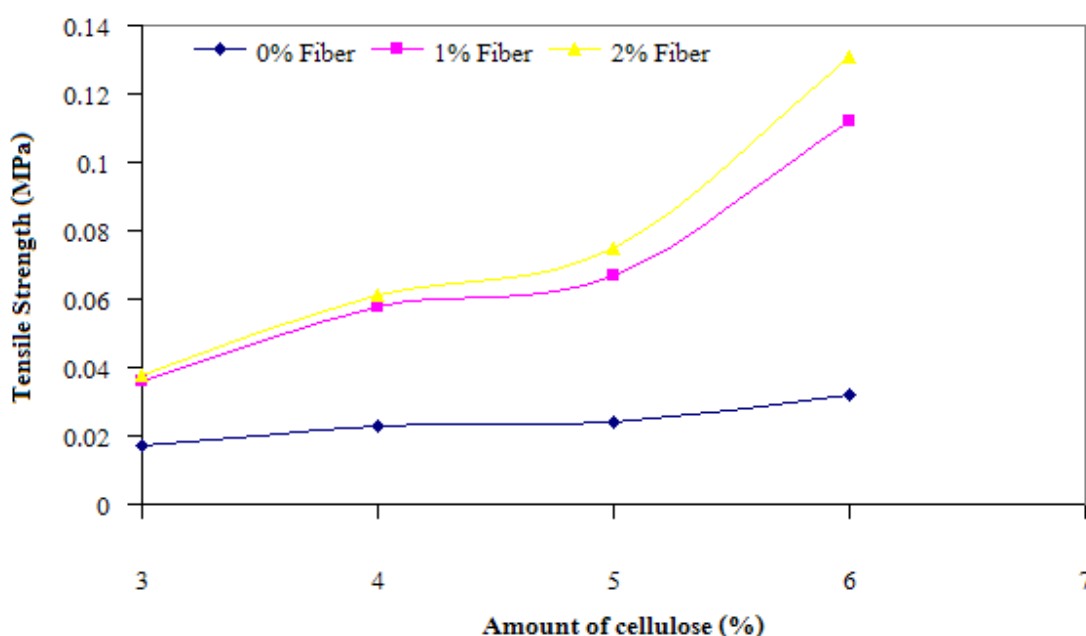
6

4.4 การทนต่อแรงดึง

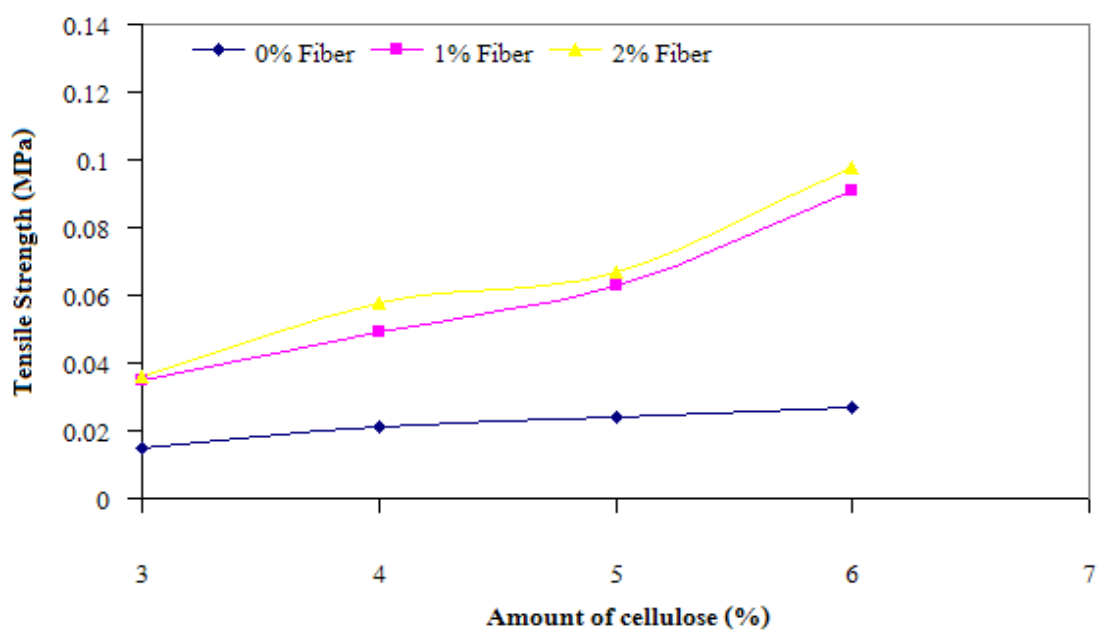
ตารางที่ 14 ผลการทนต่อแรงดึงของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

ปริมาณเซลลูโลส (%)	วิสกอสต่อโซเดียมซัลเฟต	ปริมาณเส้นใยฝ้าย (%)	Tensile Strength (MPa)
3	1:1	0	0.017
		1	0.036
		2	0.038
	1:2	0	0.015
		1	0.035
		2	0.036
4	1:1	0	0.023
		1	0.058
		2	0.061
	1:2	0	0.021
		1	0.049
		2	0.058
5	1:1	0	0.024
		1	0.067
		2	0.075
	1:2	0	0.024
		1	0.063
		2	0.067
6	1:1	0	0.032
		1	0.112
		2	0.131
	1:2	0	0.027
		1	0.091
		2	0.098

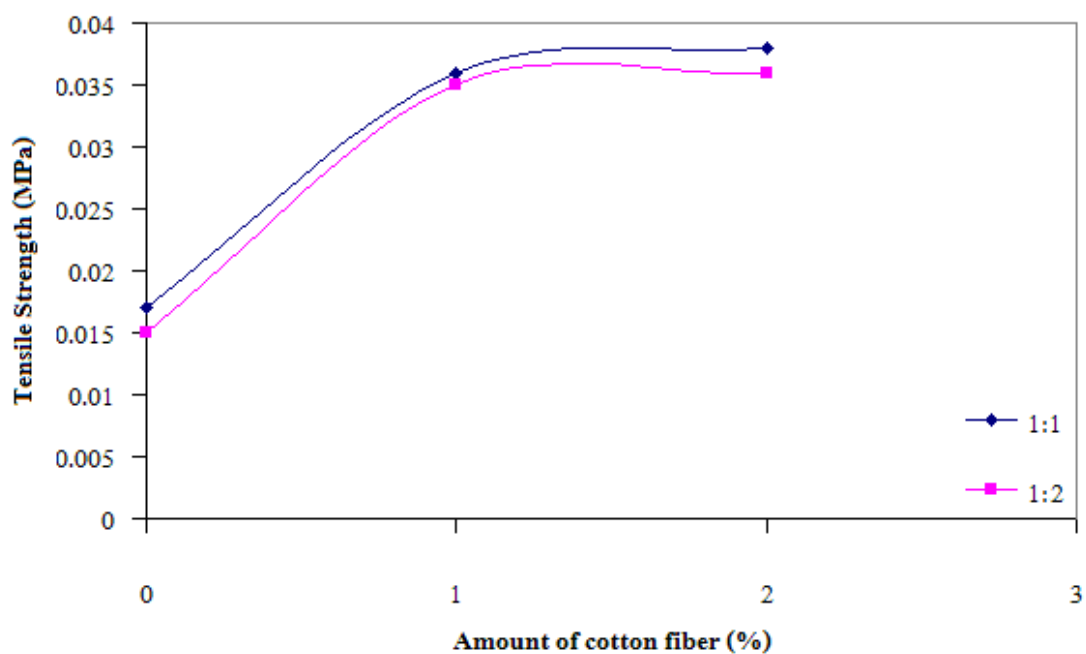
จากตารางที่ 14 พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงของฟองน้ำจะแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณร้อยละของเซลลูโลสในวิสคอสให้มีค่าสูงขึ้นจากร้อยละ 3 ไปยังร้อยละ 6 ดังภาพที่ 45 และ 46 เนื่องมาจากปริมาณเซลลูโลสที่เกิดขึ้นใหม่ขณะทำการรีเจนเนอเรตเกิดขึ้นมากตามปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส จึงส่งผลทำให้มีค่าการทนแรงดึงที่สูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต พบว่าที่อัตราส่วน 1:1 จะให้ค่าการทนต่อแรงดึงที่สูงกว่า 1:2 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากในโครงสร้างของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตจากอัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2 มีปริมาณรูพรุนที่สูงมากกว่าที่อัตราส่วน 1:1 จึงเป็นผลทำให้ฟองน้ำมีค่าการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่จะลดต่ำลง และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณเส้นใยฝ้ายที่มีต่อค่าการทนแรงดึงของฟองน้ำ จะพบว่าเมื่อเส้นใยฝ้ายมีปริมาณสูงขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงของฟองน้ำมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นตามปริมาณที่ใส่เข้าไปด้วย ดังภาพ 47, 48, 49 และ 50 เนื่องจากเส้นใยฝ้ายที่ใส่เข้าไปจะไปยึดเกาะกับเซลลูโลสที่เกิดขึ้นใหม่ทำให้แข็งแรงมากยิ่งขึ้น จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการขึ้นรูปฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติโดยใช้วิสคอสที่มีเซลลูโลสร้อยละ 6 อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:1 และใส่ใยฝ้ายร้อยละ 2 จะให้ค่าการทนต่อแรงดึงสูงสุดคือ 0.131 MPa



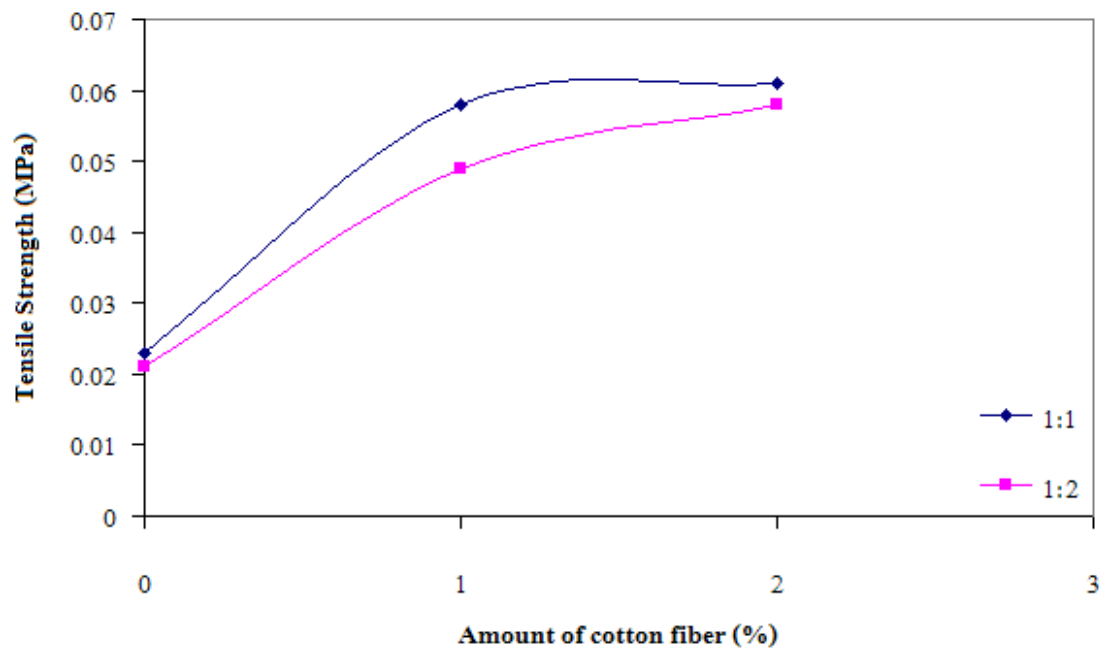
ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:1



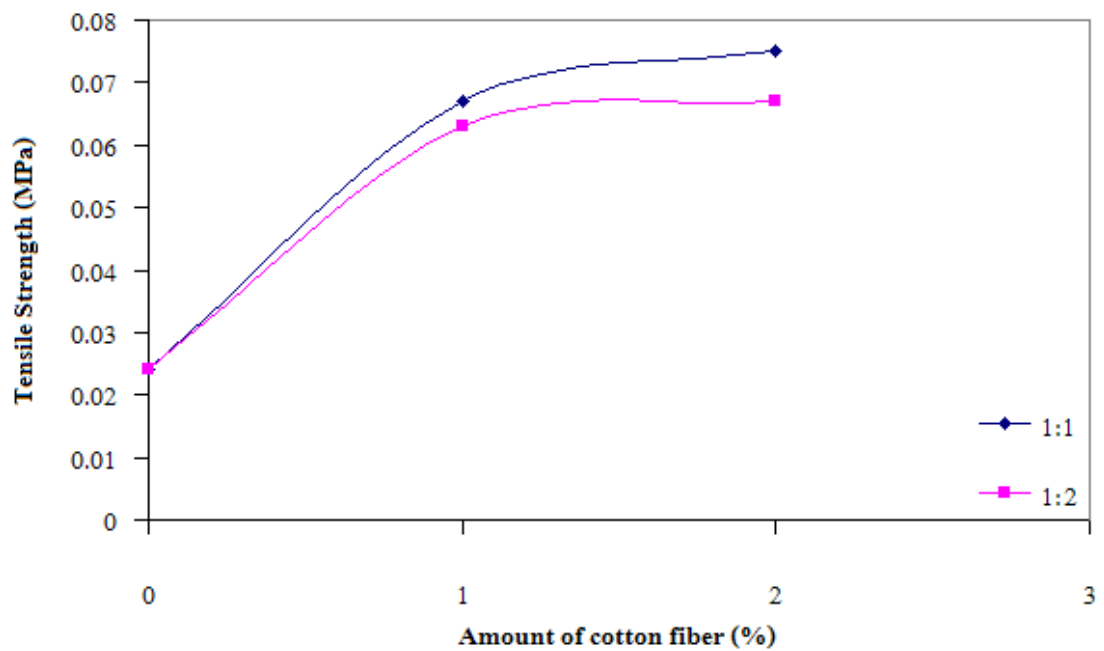
ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเซลลูโลสในวิสคอส ที่อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2



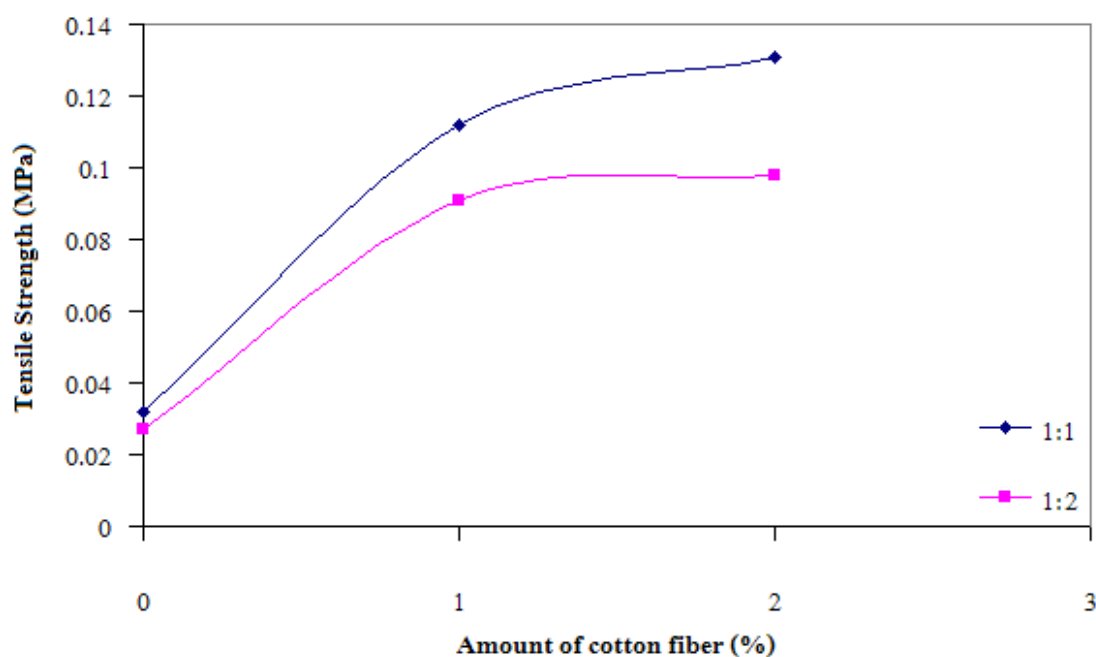
ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 3



ภาพที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลล์ูโลสร้อยละ 4



ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลล์ูโลสร้อยละ 5

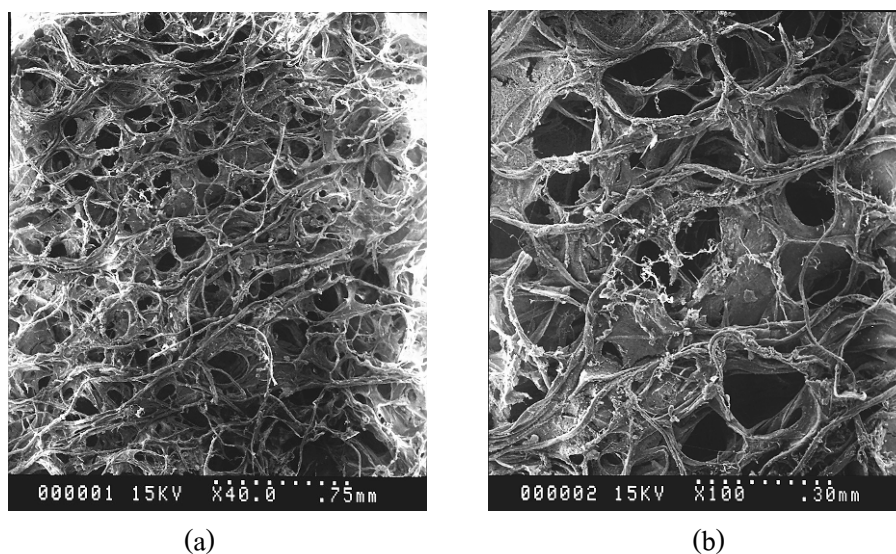


ภาพที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tensile Strength กับปริมาณเส้นใยฝ้าย ที่ปริมาณเซลล์โลสร้อยละ 6

5. การศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

การทดสอบนี้ทำการถ่ายภาพโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น S-2500 เพื่อดูลักษณะทางกายภาพของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ แสดงดังภาพที่ 51

จากภาพพบว่า ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งเกิดจากในขั้นตอนการขึ้นรูป เนื่องจากทำการเติมโซเดียมซัลเฟตเพื่อทำให้เกิดรูพรุน เมื่อขึ้นรูปวิศกอสเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ในขณะที่เซลล์โลสเกิดการรีเจนเนอเรชั่นใหม่ โซเดียมซัลเฟตถูกละลายด้วยกรดซัลฟิวริกกลายเป็นรูพรุน



ภาพที่ 51 ลักษณะทางกายภาพของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้จากวิสคอสที่มีปริมาณ
เซลลูโลสร้อยละ 6 อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต เป็น 1:2 และใส่เส้นใย
ฝ้ายร้อยละ 1 (a) กำลังขยาย 40 เท่า (b) กำลังขยาย 100 เท่า

6. การทดลองปลูกพืชแทนการใช้ดิน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ปลูกพืช โดยจะพิจารณาจากค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและการทนต่อแรงดึงเป็นหลัก โดยสภาวะที่เลือก คือ ผลิตจากวิสคอสที่มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 6 อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต เป็น 1:2 และใส่เส้นใยฝ้ายร้อยละ 1 เนื่องจากฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตจากวิสคอสที่มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 6 และอัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต เป็น 1:2 ทำให้มีค่าปริมาณการดูดซับน้ำมีค่ามากที่สุด และใส่เส้นใยฝ้ายร้อยละ 1 ถึงแม้จะทำให้ปริมาณน้ำที่ดูดซับได้มีค่าลดลง แต่สามารถเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติได้ จากนั้นนำมาทดลองปลูกผักกาดหอมในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติโดยเปรียบเทียบกับการปลูกในดินที่มีขายในท้องตลาดทั่วไป โดยควบคุมปริมาณน้ำที่ให้เท่าๆ กัน พบว่าการปลูกผักกาดหอมลงในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้ และการปลูกลงดิน ผักกาดหอมสามารถเจริญเติบโตได้ดี ดังภาพที่ 52 นอกจากนี้ยังได้ทดลองปลูกถั่วงอก โดยทั่วไปการปลูกถั่วงอกต้องการเพียงแค่น้ำเท่านั้น ซึ่งฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมีความสามารถในการดูดซับน้ำ ดันถั่วงอกจึงเจริญเติบโตได้ดี และจากภาพที่ 53 แสดงให้เห็นว่า รากของต้นถั่วงอกงอกขึ้นและยึดเกาะกับฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติได้



(a)



(b)

ภาพที่ 52 การทดลองปลูกผักกาดหอมในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ และในดิน (a) ต้นผักกาดหอมที่ปลูกลงจนถึงวันที่ 3 (b) ต้นผักกาดหอมที่ปลูกลงจนถึงวันที่ 5



(a)



(b)

ภาพที่ 53 (a), (b) การทดลองปลูกถั่วงอกในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบ ซึ่งจะนำมาผ่านกระบวนการปรับสภาพก่อน แล้วจึงนำมาผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติผ่านกระบวนการเตรียมของผสมชนิด

จากการศึกษาสภาวะในการปรับสภาพฟางข้าวโดยการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการปรับสภาพ ได้แก่ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละของแอลฟาเซลลูโลส พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีผลต่อการเพิ่มร้อยละของแอลฟาเซลลูโลส โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นจะมีผลทำให้แนวโน้มของร้อยละของแอลฟาเซลลูโลสมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาขึ้นจะเป็นการช่วยเพิ่มร้อยละของแอลฟาให้สูงมากขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับน้ำหนักที่หายไปของวัตถุดิบ และจะพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพฟางข้าว คือ การปรับสภาพโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ฟางข้าวที่ได้จากการปรับสภาพมีลักษณะเป็นสีขาว เนื่องจากลิกนินและเฮมิเซลลูโลสถูกกำจัดออกไปแล้ว เมื่อนำมาผลิตเป็นฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ทำให้ได้ฟองน้ำที่มีความแข็งแรง ไม่เปราะหรือแตกหักง่าย

จากการศึกษาคุณสมบัติฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ พบว่าการเพิ่มปริมาณเซลลูโลสจะทำให้ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ การพองตัว ปริมาณน้ำผูกพัน และการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณเส้นใยฝ้าย ทำให้ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ การพองตัว และปริมาณน้ำผูกพันลดลง แต่ทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น และการเพิ่มปริมาณโซเดียมซัลเฟตทำให้ปริมาณน้ำที่ดูดซึมได้ การพองตัว และปริมาณน้ำผูกพันมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น แต่ทำให้การทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลง

การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับการนำมาใช้งาน ซึ่งในการนำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุปลูกพืช จะเลือกสภาวะที่วิสคอสมีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 6 อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟตเป็น 1:2 และใส่เส้นใยฝ้ายร้อยละ 1 ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตขึ้นมานี้ สามารถนำมาใช้ปลูกพืชแทนการใช้ดินได้

ข้อเสนอแนะ

การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับสภาพฟางข้าว ที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงๆ ทำให้น้ำหนักของฟางข้าวในระหว่างกระบวนการปรับสภาพหายไปมาก ดังนั้นอาจทำการปรับสภาพโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ำลง โดยอาจอาศัยปัจจัยอื่นช่วย เช่น เพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา หรือเพิ่มอุณหภูมิ

การผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติในงานวิจัยนี้ผลิตโดยใช้อัตราส่วนระหว่างวิสคอสต่อโซเดียมซัลเฟต เป็น 1:1 และ 1:2 เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือในการผสม หากมีเครื่องมือเหมาะสมอาจใส่โซเดียมซัลเฟตในปริมาณที่มากกว่านี้ เนื่องจากโซเดียมซัลเฟตที่ใส่เข้าไป ทำให้เกิดรูพรุน ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงความแข็งแรงของฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้ด้วย

เนื่องจากในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติไม่มีแร่ธาตุอาหารเหมือนกับในดิน ดังนั้นการปลูกพืชลงในฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติ อาจให้แร่ธาตุอาหารในรูปของน้ำปุ๋ย หรืออาจปลูกพืชโดยนำฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตได้มาตัดเป็นชิ้นๆ เล็ก และผสมกับดิน ซึ่งฟองน้ำเส้นใยธรรมชาตินี้จะช่วยดูดซับน้ำไว้ไม่ให้ระเหยไปอย่างรวดเร็ว

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

นวลแข ปาลิวนิช. 2542. ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มณฑา จันทร์เกตุเลียด. 2542. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. สมาคมคหเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชินูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

ระวีวรรณ แก้วกล้า. 2538. การผลิตเอทานอลจากฟางข้าว. วิทยานิพนธ์. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2543. วิทยาศาสตร์เส้นใย. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Brownell, H.H. and J.N. Saddler. 1987. **Steam Pretreatment of Lignocellulosic Material for Enzymatic Hydrolysis.** Biotechnol. & Bioeng.

Cadoche, L. and P.L. Gerardo. 1989. **Assessment of Size Reduction as A Preliminary Step in the Production of Ethanol from Lignocellulosic** Wastes. Biological Wastes.

David, N., S. Hon and N. Shiraishi. 2000. **Wood and Cellulosic Chemistry.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Fink H.P., Weigel P. and Ganste J. 2001. Structure formation of regenerated cellulose materials from NMMO solution. **Progress in Poly. Sci.** (6): 1473-1524.

Herbert, S. 2006. **Handbook of pulp..** Wiley-Vch, Austria.

Kennedy, J.F., G.O. Phillips and P.A. Williams. 1990. **Cellulose Sources and Exploitation.** Ellis Horwood Limited, England.

Klemm, D., Philipp, Bertram, T. Heinze, U. Heinze. and W. Wagenknecht. 1998.

Comprehensive Cellulose Chemistry., Wiley-Vch, Austria.

Koo, Y.S., Wang, Y.S., You, S.H. and Kim, H.D. 2002. Preparation and Properties of Chemical Cellulose from Ascidian Tunic and Their Regenerated Cellulose Fibers. **Journal of Appl. Poly. Sci.** (85): 1634-1643.

Laskiewicz, B., Wcislo, P., Cuculo, J.A. 1992. Fibers Made From Concentrated Viscose Solutions. **Journal Of Appl. Poly. Sci.** (46): 445-448.

Luukkonen, P. 2001. **Rheological Properties and the State of Water of Microcrystalline Cellulose and Silicified Microcrystalline Cellulose Wet Masses.** public criticism in Auditorium 1 at Viikki Infocentre (Viikinkaari 11A).

Mobarak, F., Nada, A.M., Fahmy, Y. 1982. **Activation of Cellulose Towards Xanthation, Cellulose Chemistry and Technology.** (16): 415-420.

Nissan, A.H., G. K. Hunger. And West . 1986. **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering.** (3): 131-226 ..

O'Connor, Robert T. 1972. **Intrumental Analysis of Cotton Cellulose and Modified Cotton Cellulose.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Rawski, E.D. and C.A. Cole. 1997. Conversion of Old Newspaper and Other Post-consumer Recycled Paper to Regenerated Cellulose. **Journal of Solid Waste Technology and Management** (3): 143-148.

Ryan, C. 2005. **A study of Cellulose Based Biodegradable Foams and Sponges.** Master thesis, Georgia Institute of Technology.

Swatloski, R.P., Spear, S.K., Holbrey, J.D., Rogers, R.D. 2002.. Dissolution of Cellulose with Ionic Liquids. **J. Am. Chem. Soc.** (124): 4974-4975.

ภาคผนวก

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน TAPPI

การหาปริมาณไฮโดรเจนคลอไรต์โดยวิธี Acid Chlorite ของ Browing

ไฮโดรเจนคลอไรต์เป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณสูงกว่าองค์ประกอบอื่นๆ ในวัตถุดิบ และเป็นองค์ประกอบที่นำไปใช้เป็นประโยชน์ได้กว้างขวางที่สุดในอุตสาหกรรม

1. อุปกรณ์และสารเคมี

- 1.1 ผงตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรกและทราน้ำหนักอบแห้งแล้ว
- 1.2 อ่างที่ควบคุมอุณหภูมิ 70 - 80 องศาเซลเซียส
- 1.3 กระจกฟอยล์
- 1.4 โถดูดความชื้น
- 1.5 ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.6 ถ้วยกรองเบอร์ 1
- 1.7 เครื่องปั่นลม พร้อมชุดแยกน้ำจากลม
- 1.8 กรดอะซิติก
- 1.9 โซเดียมคลอไรด์
- 1.10 น้ำแข็ง

2. วิธีการ

2.1 ชั่งผงตัวอย่างลงในกระจกฟอยล์ที่ปราศจากสารแทรกโดยน้ำหนักอบแห้ง 3 กรัม ถ่ายผงเชื้อใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร

2.2 เติมน้ำกลั่นลงในขวดรูปกรวย จำนวน 160 มิลลิลิตร และกรดอะซิติกเข้มข้นจำนวน 0.5 มิลลิลิตรกับโซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัมลงไปด้วยตามลำดับ แล้วใช้ขวดรูปกรวยขนาดเล็กลงมาเอาทางหัวลงปิดปากขวดรูปกรวยที่ใส่ผงตัวอย่างนั้น นำไปตั้งในอ่างที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 70 - 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทำการทดลองในตู้ดูดควันพิษและมีการเขย่าเป็นระยะ จะได้ก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) เกิดขึ้นและมีการทำปฏิกิริยากับลิกนินในตัวอย่าง

2.3 เมื่อครบ 1 ชั่วโมง จะต้องเติมกรดอะซิติกเข้มข้นจำนวน 0.5 มิลลิลิตรกับโซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัมตามลำดับลงในขวดรูปชมภู เขย่าขวดเป็นระยะ ทำเช่นนี้นาน 1 ชั่วโมง และให้ทำในทำนองนี้ต่อไปอีกในชั่วโมงที่ 2, 3 และ 4 หรือจนกว่าผงตัวอย่างจะมีสีขาว

2.4 เมื่อครบกำหนดเวลา นำขวดรูปกรวยไปแช่ในอ่างน้ำแข็งเพื่อให้ก๊าซพิษลดการฟุ้งกระจายลงเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง

2.5 กรองผงเชื้อด้วยถ้วยกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักอบแห้งละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม โดยใช้เครื่องกรองที่มีแรงดูดจากการไหลผ่านของน้ำที่ป้อนมาจากเครื่องปั๊มลมครบชุด ทำให้ก๊าซพิษที่ฟุ้งกระจายออกจากสารละลายจะได้ถูกดูดและละลายไปกับน้ำ

2.6 ล้างผงโซโลเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งมีสีขาว จึงล้างด้วยอะซิโตนและดูดออกให้มากที่สุด

2.7 นำโซโลเซลลูโลสไปผึ่งให้แห้งในบรรยากาศและทำให้แห้งในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและเก็บผงตัวอย่างไว้วิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสต่อไป

2.8 นำถ้วยกรองพร้อมโซโลเซลลูโลสบางส่วนไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียสอย่างน้อย 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก

2.9 นำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโซโลเซลลูโลสเป็นร้อยละ

$$\% \text{ ปริมาณโซโลเซลลูโลส} = 100 (W_1/W_2)$$

W_1 = น้ำหนักอบแห้งของโซโลเซลลูโลส (กรัม)

W_2 = น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่าง (กรัม)

การหาปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสของวัตถุดิบตามมาตรฐาน T203 om-88

ไฮโดรเซลลูโลสในวัตถุดิบสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือแอลฟาเซลลูโลสกับเฮมิเซลลูโลส วัตถุดิบที่มีเซลลูโลสมากเหมาะในการนำไปเตรียมอนุพันธ์ของเซลลูโลส (Cellulose Derivative)

1. อุปกรณ์และสารเคมี

1.1 เครื่องกระจายผงตัวอย่าง

1.2 อ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส

1.3 นาฬิกาจับเวลา

1.4 ปีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

1.5 แท่งแก้วคน

1.6 ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร

1.7 ปีกเกอร์ทรงสูงขนาด 300 มิลลิลิตร

1.8 ถ้วยกรอง เบอร์ 2

1.9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 เตรียมโดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 87.5 กรัมละลายในปีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่น จำนวน 300 มิลลิลิตรซึ่งแช่อยู่ในอ่างน้ำแข็งทำให้มีอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อละลายสมบูรณ์แล้วถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ล้างปีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นและเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

1.10 กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10

2. วิธีการ

2.1 ชั่งไฮโดรเซลลูโลสที่ทราบน้ำหนักอบแห้งแน่นอนแล้ว จำนวน 2 ± 0.1 กรัมโดยน้ำหนักอบแห้งใส่ในปีกเกอร์ทรงสูงขนาด 300 มิลลิลิตร

2.2 เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 จำนวน 75 มิลลิลิตรลงไป และปรับอุณหภูมิของสารละลาย โดยนำไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส

2.3 คนสารละลายด้วยเครื่องกระจายจนเกิดการกระจายอย่างสมบูรณ์ โดยในระหว่างการคนจะมีให้เกิดฟองอากาศเป็นเวลา 5 นาที

2.4 ล้างเครื่องกระจายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 จำนวน 25 มิลลิลิตร

2.5 คนสารละลายด้วยแท่งแก้วและนำไปแช่ไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

2.6 เติมน้ำกลั่นลงในสารละลายจำนวน 100 มิลลิลิตร แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิอีก 30 นาที

2.7 กรองสารละลายด้วยถ้วยกรองเบอร์ 2

2.8 ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่มีความเย็น 20 องศาเซลเซียสจนกระทั่งเป็นกลาง

2.9 ล้างตะกอนต่อไปอีกด้วยกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยให้แช่อยู่นาน 5 นาที จำนวน 40 มิลลิลิตร

2.10 ล้างตะกอนสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นจนน้ำที่ล้างนั้น ไม่มีสภาพเป็นกรด

2.11 นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วจึงนำออกใส่ในโถดูดความชื้น และทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนักของน้ำหนักคงที่ นำผลมาคำนวณหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส

$$\% \text{ ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส} = 100 (W_1/W_2)$$

W_1 = น้ำหนักแอลฟาเซลลูโลสอบแห้ง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่าง (กรัม)

การหาปริมาณเถ้าของวัตถุดิบ ตามมาตรฐาน TAPPI T221 om-93

1. อุปกรณ์และสารเคมี

- 1.1 พงตัวอย่างอย่างน้อย 2 กรัมโดยน้ำหนักอบแห้ง
- 1.2 ถ้วยกระเบื้อง ซิลิกา หรือแพตตินัมพร้อมฝาปิด ขนาด 50 - 100 มิลลิลิตร
- 1.3 เครื่องชั่ง ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม
- 1.4 เตาเผาไฟฟ้า ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ 525 ± 25 องศาเซลเซียส

2. วิธีการ

2.1 ล้างถ้วยกระเบื้องให้สะอาด นำมาอบในตู้อบอุณหภูมิ 100 ± 3 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 30 นาที

2.2 นำถ้วยกระเบื้องมาอบอีกที่อุณหภูมิ 525 ± 25 องศาเซลเซียสในเตาเผา เป็นเวลา 30 - 60 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วนำมาใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น ประมาณ 1 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนักให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม

2.3 ชั่งพงตัวอย่างประมาณ 1 กรัมลงในกระตงกระดาชฟอยล์ แล้วนำไปอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 2 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ จึงชั่งน้ำหนักอบแห้งให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม

2.4 เทพงตัวอย่างใส่ถ้วยกระเบื้อง แล้วชั่งน้ำหนักกระตงกระดาชฟอยล์

2.5 นำถ้วยกระเบื้องพร้อมพงตัวอย่างไปเผาโดยตรงด้วยเปลวไฟจากตะเกียงบุนเซน โดยปิดฝาแน่นไว้แล้วใส่ในเตาเผาพร้อมนำฝาปิดออก โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียสและทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 525 ± 25 องศาเซลเซียสอย่างช้าๆ จนกระทั่งตัวอย่างเป็นถ่านปราศจากเปลวไฟอย่างน้อย 6 ชั่วโมง

2.6 เมื่อครบเวลาและตัวอย่างเผาไหม้สมบูรณ์โดยปราศจากเศษเหลือที่มีสีดำแล้ว นำมาใส่โถดูดความชื้นอุณหภูมิเย็น ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักเถ้าให้ได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม

2.7 เฝ้าไข้และซั้งไข้จนกระทั่งน้ำหนักเฝ้าคงที่ ไม่แตกต่างกันเกิน 0.2 มิลลิกรัม แล้วนำมาหาปริมาณเฝ้าเป็นร้อยละ

$$\% \text{ ปริมาณเฝ้า} = 100 (W_1/W_2)$$

W_1 = น้ำหนักเฝ้าหลังเผา

W_2 = น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุวรรณา ละม้ายอินทร์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 มีนาคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วศ.บ.(วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	สถาบันพัฒนาและวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการพัฒนานักศึกษาและวิจัยด้านวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ADB) และสำนักงานกองทุน สนับสนุนการวิจัย โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี